

EDI de Membrana Enrollada en Espiral— Más Allá de los Métodos Convencionales

por Ing. Jeff Tate

Español

Resumen: La electrodesionización (EDI) ha comprobado ser una tecnología beneficiosa, generando continuamente agua pura o ultrapura sin la necesidad de usar sustancias químicas peligrosas.

La electrodesionización fue inicialmente desarrollada en laboratorios de investigación durante la década de 1950. La EDI ha ganado la aceptación del mercado en los últimos cinco años con la introducción de diseños modulares estilo “placa y marco”. Aunque la tecnología funciona bien, el diseño convencional es costoso, y propenso a fugas e incrustación. La última generación de EDI utiliza un diseño de membrana “enrollada en espiral” y un recipiente de presión de fibra de vidrio, que se asemeja más a las membranas de ósmosis inversa (OI). No solamente es el precio más competitivo, sino que el nuevo diseño elimina las fugas y tolera mejor el agua de alimentación, particularmente la dureza.

Muchas plantas termoeléctricas, fabricantes de productos electrónicos, y compañías farmacéuticas están ahora aprovechando los beneficios continuos, sin el uso de sustancias químicas, que ofrece la EDI. Se calcula que en la actualidad, más de 250,000 galones por minuto (gpm) se encuentran en operación, en más de 400 plantas a nivel mundial. La mayoría de estos sistemas utilizan el diseño de “placa y marco” de primera generación. Sin embargo, la versión “enrollada en espiral” es la tecnología de más rápido crecimiento en el campo de la EDI. Las compañías de tratamiento de agua o “integradores de sistemas”, a nivel mundial, están pasando a utilizar el diseño de espiral debido a su mayor tolerancia del agua de alimentación, mejor rendimiento, menor consumo de electricidad, y menor costo. Muchos integradores de sistemas que compiten en un mercado de desionización (DI) de servicio con margen reducido están pasando a utilizar sistemas de pretratamiento-OI-EDI más lucrativos, que son arrendados.

El proceso de electrodesionización

El proceso convencional de intercambio iónico requiere una regeneración química cuando la resina queda totalmente cargada de iones (exhausta). La inyección de concentraciones masivas de sustancias químicas peligrosas, como el ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, e hidróxido de sodio se utilizan para refrescar la resina con los iones de hidrógeno (H⁺) y oxhidrilo (OH⁻), que tienen menor afinidad, o para “regenerar” la resina. Esto se hace como un proceso intermitente de lote o “batch” y requiere equipo de almacenamiento, manejo, emisión de permisos y neutralización.

La electrodesionización elimina las sustancias químicas regenerando la resina a través de un proceso de “separación del agua”. En vez de aplicar ácido y cáustico a la resina, la electricidad separa continuamente

EDI de Membrana Enrolada em Espiral—Além das Abordagens Convencionais

Português

Resumo: A eletrodeionização (EDI) comprovou ser uma tecnologia benéfica ao gerar água pura ou ultrapura de forma contínua sem a necessidade de produtos químicos perigosos.

A eletrodeionização foi inicialmente desenvolvida nos laboratórios de pesquisa durante a década de 1950. Nos últimos cinco anos, a EDI vem ganhando aceitação no mercado com a introdução de projetos modulares do tipo “placa e quadro”. Embora a tecnologia funcione bem, o projeto convencional é caro e propenso a vazamentos e incrustações. A geração mais atual de EDI utiliza um modelo de membrana “enrolada em espiral” e um vaso de pressão de fibra de vidro mais semelhante às membranas de osmose reversa (OR). Não só o preço é mais competitivo como também o novo projeto elimina os vazamentos e é mais tolerante à água de alimentação, principalmente à dureza.

Muitas usinas de energia, fabricantes de produtos eletrônicos e empresas farmacêuticas agora estão utilizando os benefícios contínuos da ausência de produtos químicos da EDI. Calcula-se que mais de 250.000 galões por minuto (gpm) estão sendo processados atualmente, em mais de 400 instalações no mundo inteiro. A maioria desses sistemas utiliza o modelo de “placa e quadro” de primeira geração. Contudo, a versão “enrolada em espiral” é a tecnologia de crescimento mais rápido no campo de EDI. As empresas de tratamento de água ou “integradoras de sistemas” do mundo inteiro estão recorrendo ao modelo de membrana enrolada em espiral devido à tolerância mais alta em relação à água de alimentação, melhor desempenho, menor consumo de eletricidade e custo mais baixo. Muitas integradoras de sistemas que competem em um mercado de serviços de DI com margem reduzida estão recorrendo aos sistemas arrendados mais lucrativos de pré-tratamento/OR/EDI.

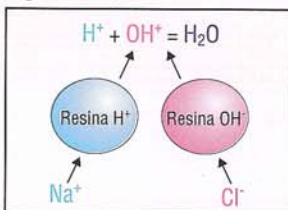
O processo de eletrodeionização

O processo convencional de troca iônica exige a regeneração química quando a resina fica totalmente carregada de íons (esgotada). Utiliza-se a injeção de concentrações maciças de produtos químicos nocivos como ácido sulfúrico, ácido clorídrico e hidróxido de sódio para recuperar a resina com os íons hidrogênio (H⁺) e hidroxila (OH⁻) de menor afinidade, a chamada “regeneração” da resina. Executa-se isso através de um

processo intermitente em “batelada”, que exige equipamentos de armazenamento, manuseio, autorização e neutralização.

A eletrodeionização elimina os produtos químicos ao regenerar a resina através de um processo de “dissociação

Figura 1. Química em DI

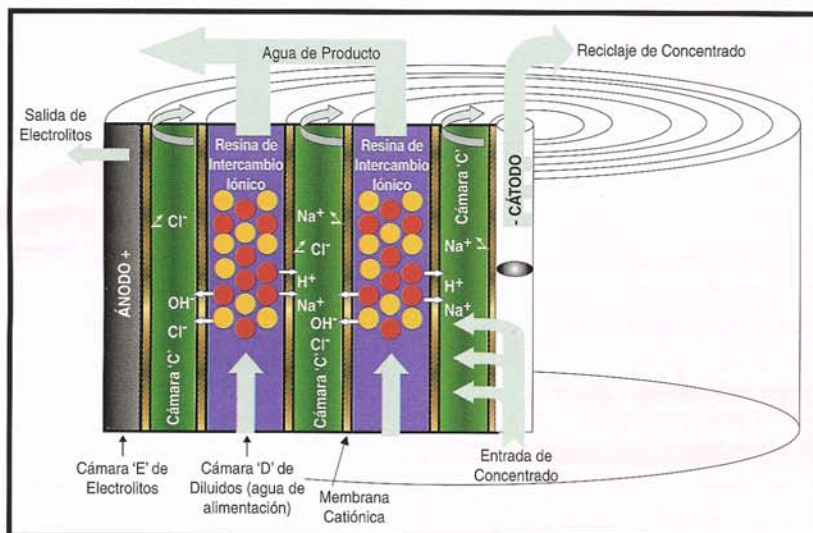


las moléculas de H_2O (o $H-OH$) en iones H^+ y OH^- . Se aplica corriente DC a través de los módulos de EDI usando electrodos. Este proceso provee de tal manera una regeneración continua de la resina.

Además de resinas de intercambio iónico y electrodos, la EDI utiliza membranas de iones selectivos, catiónicas y aniónicas, para formar cámaras alternas de concentrado y diluido. Los dispositivos de EDI consisten en alguna forma de resina mezclada de intercambio iónico que se encuentra separada de la(s) cámara(s) de concentrado por membranas de iones selectivos, catiónicas y aniónicas. Estas membranas están construidas de un material a base de poliestireno que es semejante a la resina. Las membranas solamente permiten el paso de iones con una carga positiva o negativa.

El agua de alimentación entra en el módulo de EDI por la parte inferior y es desviada hacia las cámaras de "D" (de diluido). La corriente diluida fluye verticalmente a través de resinas de intercambio iónico ubicadas entre dos membranas—una membrana aniónica específicamente diseñada para permitir solamente la migración de aniones y una membrana catiónica específicamente diseñada para permitir solamente la migración de cationes.

Figura 2. El proceso de electrodesionización



Los iones contaminantes que se encuentran disueltos en el agua de alimentación, se ligan a su respectiva resina de intercambio iónico desplazando iones H^+ y OH^- , como sucede en un lecho mixto convencional. Sin embargo, ya que se encuentran dentro del lecho de resina, los iones son atraídos a los electrodos y migran a través de la resina hasta permear la membrana, y entran a las cámaras "C" (de cocentrado). Los iones contaminantes quedan atrapados dentro de la cámara "C" y son arrastrados en la corriente de concentrado. El agua de alimentación continúa pasando a través de las cámaras de diluido y es purificada. El agua de alimentación es recolectada en el orificio de salida de las cámaras "D" y sale del módulo de EDI. Cuando hay múltiples módulos de EDI presentes en un sistema, el flujo entra y sale del sistema a través de colectores.

Un diagrama de flujo típico para el proceso de EDI se muestra en la Figura 3. Para poder reducir la resistencia eléctrica a través de los módulos de EDI, la mayoría de fabricantes de EDI recomiendan reciclar el flujo del concentrado. Los iones contaminantes ingresan en la corriente del contaminante mientras que el flujo pasa a través de las cámaras "C". Dentro de los módulos de EDI, los iones son eliminados del agua de

da água". Em vez de aplicar ácido e soda cáustica à resina, a eletricidade continuamente separa as moléculas de H_2O (ou $H-OH$) em íons H^+ e OH^- . Aplica-se corrente contínua aos módulos de EDI através de eletrodos. Assim, esse processo possibilita uma regeneração contínua da resina.

Além das resinas e eletrodos de troca iônica, a EDI utiliza membranas catiónicas e aniônicas ion-seletivas para formar câmaras alternadas de concentrado e diluído. Os dispositivos de EDI consistem em alguma forma de resina mista de troca iônica separada da(s) câmara(s) de concentrado por membranas catiónicas e aniônicas ion-seletivas. Essas membranas são construídas de material à base de poliestireno semelhante a resina. As membranas permitem a passagem apenas de íons de carga positiva ou negativa.

A água de alimentação entra no módulo de EDI por baixo e é desviada para as câmaras "D" (diluído). A corrente do diluído flui verticalmente através das resinas de troca iônica localizadas entre duas membranas - uma membrana aniônica projetada especificamente para permitir a migração apenas de ânions e uma membrana catiónica projetada especificamente para permitir a migração apenas de cátions.

Os íons dos contaminantes dissolvidos na água de alimentação fixam-se à sua respectiva resina de troca iônica ao deslocar íons H^+ e OH^- , como em um leito misto convencional. Contudo, uma vez dentro do leito de resina, os íons são atraídos para os eletrodos e migram através da resina até permear a membrana e entrar nas câmaras "C" (concentrado). Os íons dos contaminantes são retidos na câmara "C" e removidos pela corrente do concentrado. A água de alimentação continua a passar através das câmaras do diluído e é purificada. Ela é coletada na saída das câmaras "D" e sai do módulo de EDI. Quando houver vários módulos de EDI presentes no sistema, o fluxo entra no sistema e sai dele através dos cabeçotes.

A Figura 3 ilustra um fluxograma típico do processo de EDI. A fim de reduzir a resistência elétrica através dos módulos de EDI, a maioria dos fabricantes de EDI recomendam reciclar o fluxo do concentrado. Os íons dos contaminantes entram na corrente do contaminante à medida que o fluxo passa através das câmaras "C". Dentro dos módulos de EDI, os íons são removidos da água de alimentação e entram na corrente do concentrado. O concentrado sai dos módulos e entra em uma bomba de recirculação, onde a maior parte é enviada de volta para a entrada do concentrado. Uma pequena quantia de água é sangrada continuamente do loop "C" para evitar que a concentração do íon atinja o ponto de precipitação (essa água pode ser reciclada adiante da unidade de OR). A fim de remover quantidades diminutas de gases que se formam sobre os eletrodos, uma fração do fluxo "C" é desviada para os eletrodos. O lavado do eletrodo pode ser recuperado de volta para a entrada da OR se não contiver gases. Uma pequena corrente de reposição da água de alimentação equilibra o fluxo perdido através da sangria do concentrado e lavado do eletrodo.

volta para a entrada do concentrado. Uma pequena quantia de água é sangrada continuamente do loop "C" para evitar que a concentração do íon atinja o ponto de precipitação (essa água pode ser reciclada adiante da unidade de OR). A fim de remover quantidades diminutas de gases que se formam sobre os eletrodos, uma fração do fluxo "C" é desviada para os eletrodos. O lavado do eletrodo pode ser recuperado de volta para a entrada da OR se não contiver gases. Uma pequena corrente de reposição da água de alimentação equilibra o fluxo perdido através da sangria do concentrado e lavado do eletrodo.

EDI com membrana enrolada em espiral

As membranas de EDI enroladas em espiral são semelhantes às membranas de OR no sentido de que as membranas e espaçadores são enrolados para formar um elemento cilíndrico (ver Figura 4). O elemento de EDI é fabricado colocando-se um tubo de concentrado de aço inoxidável em uma enroladeira e enrolando-se as membranas e espaçadores em torno do tubo. O elemento é então colocado num vaso de pressão de fibra de vidro, e os espaçadores da câmara de diluído são preenchidos com

Español

alimentación y entran a la corriente de concentrado. El concentrado sale de los módulos e ingresa a una bomba de recirculación, donde la mayor parte es enviada de vuelta al orificio de entrada del concentrado. Una pequeña cantidad de agua es continuamente eliminada del circuito "C" para prevenir que la concentración iónica alcance el punto de precipitación (esta agua puede ser reciclada por delante de la unidad de OI). Para poder eliminar rápidamente cantidades traza de gases que se forman sobre los electrodos, una fracción del flujo "C" es desviada a los electrodos. La eliminación rápida de electrodos puede ser recuperada en el orificio de entrada de OI, si se eliminan los gases. Una pequeña corriente de compensación del agua de alimentación balancea el flujo perdido a través de la eliminación lenta de concentrado y la eliminación rápida del electrodo.

EDI enrollada en espiral

Las membranas de EDI enrolladas en espiral se parecen a las membranas de OI, ya que las membranas y los espaciadores son enrollados para formar un elemento cilíndrico (ver Figura 4). El elemento de EDI es fabricado colocando una tubería de acero inoxidable de concentrado en una máquina para enrollar, y enrollando las membranas y espaciadores alrededor de la tubería. Luego se coloca el elemento en un recipiente de presión de fibra de vidrio y los espaciadores de cámara diluidos se llenan con resina. La unidad es sellada dentro del recipiente de presión. La tubería de acero inoxidable actúa tanto como distribuidor/recolector del concentrado como cátodo. Un ánodo de titanio reviste la parte interior del recipiente de presión de fibra de vidrio y se convierte en el ánodo.

Português

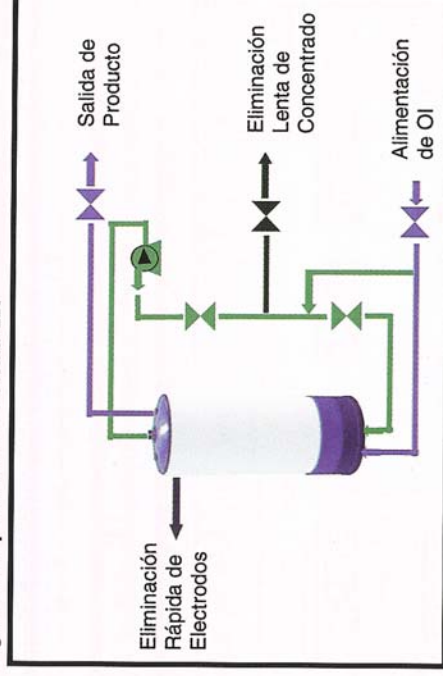
resina. A unidade é selada dentro do vaso de pressão. O tubo de aço inoxidável funciona tanto como distribuidor/coletor de concentrado quanto como catodo. Um anodo de titânio reveste a parte interna do vaso de pressão de fibra de vidro e se torna o anodo.

Custos de EDI

Historicamente, os custos de EDI sempre foram significativamente mais altos do que do seu concorrente de leito misto. Atualmente, o projeto de membrana enrolada em espiral torna a EDI competitiva em termos de custo em todas as vazões, com permeado de OR de até 25 partes por milhão (ppm) nos sólidos totais dissolvidos (STD).

A Tabela 1 detalha o custo típico de capital da EDI de membrana

Figura 3. Esquema de un sistema EDI



Costos de EDI

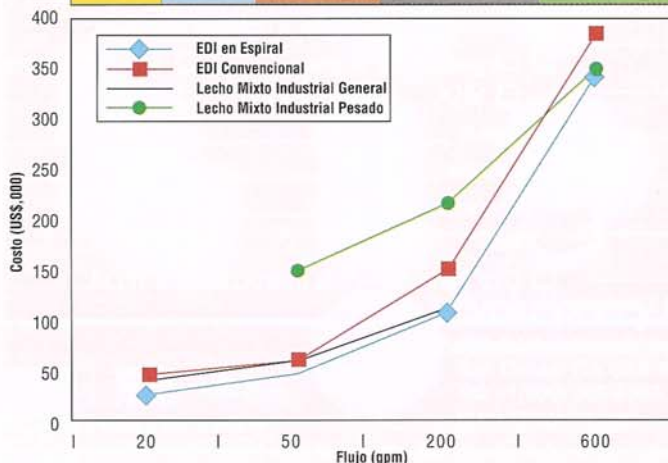
Históricamente, los costos de EDI han sido significativamente más altos que los de su competidor de lecho mixto. Hoy en día, el diseño de espiral hace que la EDI sea de un costo competitivo a todos los niveles de flujo, con el permeado de OI siendo tan alto como 25 partes por millón (ppm) en los sólidos totales disueltos (STD).

La Tabla 1 presenta en detalle el costo capital típico de la EDI en espiral, en comparación con la EDI convencional, al igual que con los lechos mixtos convencionales. Un estudio² investigó los costos de EDI convencional vs. lechos mixtos en el mercado "industrial pesado" por encima de 50 gpm. Los precios de los lechos mixtos en este mercado serán significativamente mayores que el mercado general de tratamiento de agua, basado en los requisitos específicos del usuario tales como trenes dobles, tanques y tuberías revestidos con acero de carbono. Los requisitos generales del mercado industrial solamente requieren un lecho mixto único y recipientes de presión y tuberías de menor grado. La Tabla 1 muestra que la EDI de espiral es consistentemente 30% menos cara que la EDI convencional, y en promedio, 17% menos cara que los lechos mixtos.

Los costos de operación de la electrodesionización incluyen: electricidad, repuestos, agua residual y costos de mano de obra. La EDI en espiral es el único tipo de EDI en el cual la resina puede ser reemplazada, y todos los demás componentes pueden ser usados nuevamente. Esto es importante, ya que la resina típicamente dura aproximadamente cinco años, y las membranas duran 10 años. Con los diseños de placa y marco, la unidad completa debe ser reemplazada por US\$6,000 a US\$10,000 cada cinco años, mientras que con el diseño de espiral puede reemplazarse solamente la resina por aproximadamente US\$1,600 cada 10 años. Además, la EDI en espiral funciona a solamente 160 VDC, mientras que las versiones de placa y marco requieren entre 400 y 600 VDC, resultando en un consumo de electricidad mucho menor. Por lo tanto, los costos de operación son significativamente menores al utilizar EDI en espiral.

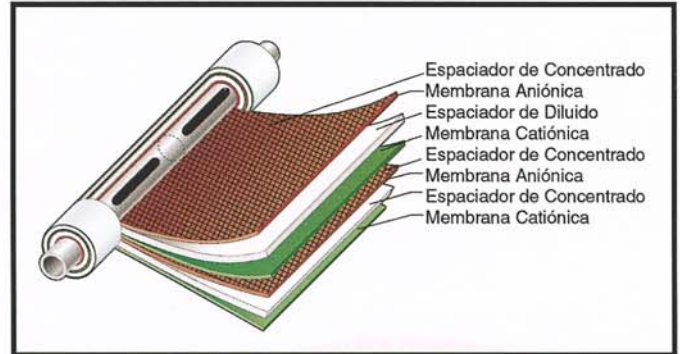
Tabla 1. Costos capitales del usuario (US\$,000)

Flujo (gpm)	EDI en Espiral	EDI Convencional	Lecho Mixto Industrial General	Lecho Mixto Industrial Pesado
20	25	45	40	
50	45	60	62	151
200	107	150	112	216
600	342	385		352



enrolada em espiral em comparação com a EDI convencional e com os leitos mistos convencionais. Um estudo² analisou os custos da EDI convencional em comparação com os leitos mistos no mercado "industrial pesado" acima de 50 gpm. Os preços dos leitos mistos nesse mercado serão significativamente mais altos do que no mercado geral de tratamento de água, com base nos requisitos específicos do usuário, tais como sistemas duplos, tubulações e tanques revestidos com aço-carbono. Os requisitos do mercado industrial geral exigem somente um leito misto simples e tubulação e vasos de pressão de classificação mais baixa. A Tabela 1 mostra que a EDI de membrana enrolada em espiral é normalmente 30 % mais barata do que a EDI convencional, e em média 17 % mais barata do que os leitos mistos.

Figura 4: Membrana EDI enrolada em espiral



Os custos operacionais da eletrodeionização incluem: custos de eletricidade, reposições, águas servidas e mão-de-obra. A EDI de membrana enrolada em espiral é o único tipo em que se pode substituir a resina e reutilizar todos os outros componentes. Isso é um fator importante, já que a resina geralmente dura cerca de cinco anos, e as membranas duram 10 anos. Com os modelos de placa e quadro, a unidade inteira deve ser substituída a um custo entre US\$ 6.000 e US\$ 10.000 a cada cinco anos, enquanto que no projeto de membranas enroladas em espiral pode-se substituir apenas a resina por aproximadamente US\$ 500 a cada cinco anos, e as membranas a um custo aproximado de US\$ 1.600 a cada 10 anos. Além disso, a EDI de membrana enrolada em espiral funciona a somente 160 VCC, enquanto que as versões de placa e quadro exigem de 400 VCC a 600 VCC, resultando, assim, em um consumo de energia elétrica muito mais baixo. Portanto, os custos operacionais são significativamente mais baixos quando se utiliza a EDI de membrana enrolada em espiral.

O preço competitivo da EDI amplia as oportunidades para os integradores de sistemas. Muitas empresas de tratamento de água estão sendo pressionadas pelos baixos preços de mercado da DI de troca de serviço. Quando financiado em dois a cinco anos, esses integradores de sistemas podem aproveitar e arrendar um sistema composto de filtros de pré-tratamento, OR e EDI. A monitoração remota ou visitas de serviço são opcionais oferecidos aos usuários finais.

Projeto e operação do sistema

Independentemente do modelo ou fabricante de EDI, um fator essencial é que o pré-tratamento seja projetado e operado adequadamente. Cada fabricante de EDI detalha seus requisitos de água de alimentação. Especificamente, deve-se projetar a OR para fornecer à EDI ânions intercambiáveis totais (AIT), CO₂, dureza, sílica, pH e temperatura

El precio competitivo de EDI amplía las oportunidades para los integradores de sistemas. Muchas compañías de tratamiento de agua están siendo presionadas por los precios reducidos del mercado para DI de intercambio de servicio. Al ser financiados a lo largo de dos a cinco años, estos integradores de sistemas pueden beneficiarse arrendando un sistema que consista de filtros de pretratamiento, OI y EDI. El monitoreo remoto o las visitas de servicio son opciones que se ofrecen a los usuarios.

Diseño y operación del sistema

Sin importar el estilo ni el fabricante de EDI, es imperativo que el pretratamiento sea diseñado y operado adecuadamente. Cada fabricante de EDI detalla sus requisitos de agua de alimentación. Específicamente, la OI debe ser diseñada para proporcionarle a la EDI aniones totales intercambiables (ATI), CO_2 , dureza, sílice, pH y temperatura como se especifique. Otros requisitos del agua de alimentación, tales como el carbón orgánico total (COT), metales pesados, cloro libre, etc., se encuentran fácilmente dentro de las normas típicas de producción de OI.

La dureza y el silicio son dos parámetros que ocasionarán rápidamente la formación de escamas en la unidad de EDI. La EDI convencional se encuentra típicamente limitada a 0.5 ppm como CaCO_3 , pero el diseño en espiral puede funcionar con una formación reducida de escamas, tan alta como 2.0 ppm como CaCO_3 . Es crítico mantener una recuperación apropiada del sistema, de lo contrario ocurrirá una formación rápida de escamas. El sílice está típicamente limitado a 0.5 ppm; sin embargo, éste puede ser más alto sin la presencia de dureza.

Conclusión

Los sistemas de EDI tradicionalmente requieren muy poco mantenimiento al utilizarse un diseño apropiado. Se recomienda anotar varias veces por semana datos tales como los flujos, las presiones y las características eléctricas. A través del tiempo dichos datos pueden indicar cuando es necesaria la limpieza debida a la posible formación de escamas o incrustación. La limpieza en el sitio puede restaurar el funcionamiento, si se advierte a tiempo. En caso de ocurrir una incrustación irreversible, la EDI convencional requiere el cambio del módulo completo, o paquetes de celdas. Cualquiera de las dos maneras es cara. Con EDI en espiral, la resina y/o las membranas pueden ser fácilmente reemplazadas, reduciendo aún más los costos de operación. Las configuraciones de resina pueden asimismo ser ajustadas para permitir el cambio en la calidad del agua de alimentación o un cambio en los requisitos de calidad del producto. ♦

Referencias

1. Tate, J., "Add Polish to High-Purity Water with EDI", *Water Technology*, Agosto 2000.
2. Edmonds, C., and E. Salem, "Demineralization: An Economic Comparison Between EDI and Mixed-Bed Ion Exchange", *Ultrapure Water*, Noviembre 1998.

Acerca del Autor

Jeff Tate es gerente general para Omexell Inc. Cuenta con más de diez años de experiencia en ventas, mercadeo e ingeniería de tratamiento de agua y sistemas de manejo de fluidos. Anteriormente, trabajó como gerente de ventas de General Electric para las Américas, donde desarrolló el mercado para la electrodesionización (EDI). Se tituló en ingeniería mecánica de Drexel University y obtuvo su maestría en Temple University. El Sr. Tate ha publicado varios artículos y ha presentado numerosos seminarios sobre el tratamiento de agua y EDI. Contacto: +1(215) 631-7035 o JTate@OmexGroup.com

conforme as especificações. Outros requisitos da água de alimentação, tais como carbono orgânico total (COT), metais pesados, cloro livre, etc., enquadram-se perfeitamente nas diretrizes do processo típico de OR.

A dureza e a sílica são dois parâmetros que rapidamente provocarão incrustação na unidade de EDI. A EDI convencional normalmente se limita a 0,5 ppm como CaCO_3 , mas o projeto de membranas enroladas em espiral pode operar com pouca incrustação de até 2,0 ppm como CaCO_3 . É importante que se mantenha a recuperação apropriada do sistema, caso contrário a incrustação se desenvolve rapidamente. A sílica normalmente se limita a 0,5 ppm, porém pode ser mais alta sem a presença da dureza.

Conclusão

Os sistemas de EDI tradicionalmente exigem muito pouca manutenção em um sistema corretamente projetado. Recomenda-se o registro de dados como vazões, pressões e características elétricas várias vezes por semana. Com o tempo, esses dados podem indicar quando é necessária a limpeza por causa de possíveis incrustações. A limpeza no local pode recuperar a função se realizada a tempo. Na hipótese de incrustação irreversível, a EDI convencional exige a substituição completa do módulo ou dos conjuntos de células. Qualquer dessas alternativas é cara. Com uma EDI de membrana enrolada em espiral, pode-se facilmente substituir a resina e/ou membranas, reduzindo ainda mais os custos operacionais. Pode-se também ajustar as configurações da resina para acomodar mudanças nas qualidades da água de alimentação ou mudança nos requisitos de qualidade do produto. ♦

Agua Latinoamérica
le invita a participar

Noticiero y Gotitas

Publique los avisos de su empresa, noticias e información de interés. Se aceptan:

- Cambios de domicilio y expansiones
- Noticias empresariales, contratos y avisos
- Certificaciones, promociones, menciones honoríficas y condecoraciones
- Nuevas tecnologías y mercadotecnia
- Información regulatoria

Calendario de Agua

Mantenga a nuestros lectores informados sobre exposiciones, convenciones, conferencias, seminarios y simposios para la industria de tratamiento del agua.

Para enviarlos:
Fax: +1(520) 323-7412
info@agualatinoamerica.com