

# ¿Cuánto Tiempo Deben Durar Mis Membranas de OI? Incrustación y Sentido Común

# Quanto Tempo Devem Durar Minhas Membranas de OR? Incrustação e Bom Senso

2<sup>a</sup>  
Parte

por Robert Slovak

Español

**Sumario:** En la primera parte discutimos la manera de definir el rendimiento de una membrana y presentamos un panorama general de dos de los tres factores que afectan el deterioro de dicho rendimiento. Aquí discutimos el tercero—incrustación (fouling) de la membrana—y ofrecemos una aclaración con respecto a las normas de aplicación del fabricante.

Existen dos tipos de contaminantes que afectan la incrustación de membranas—partículas y materia biológica.

La incrustación consiste en la deposición de materia suspendida, coloide y orgánica (incrustación de partículas) y materia biológica, incluyendo microorganismos vivos y muertos (incrustación biológica), en la superficie de la membrana. La variedad de sustancias que caen dentro de esta categoría es extremadamente amplia, incluyendo el cieno, escamas minerales, óxido, vegetación podrida, algas, protozoos, bacteria y floculación; y otros secuestrantes, tales como sustancias químicas anticorrosivas o desinfectantes añadidas a los suministros públicos de agua. En la mayoría de los suministros naturales y públicos de agua tratada, ocurre cierto grado de incrustación que puede resultar hasta en 10% de reducción en el flujo de agua permeada por año—aún con un pretratamiento adecuado. Asimismo, puede tomar meses e incluso años para que esto se haga notar en el rendimiento del sistema de ósmosis inversa (OI), o para que alcance algún tipo de equilibrio que apenas se note. La clave está en cómo minimizar el costo de la incrustación de una manera efectiva.

## Capa divisoria

El fenómeno de la incrustación también es incrementado por el efecto de la capa divisoria, ya que las

Português

**Sumário:** Na primeira parte discutimos como definir desempenho da membrana e oferecemos uma visão geral de dois dos três fatores que afetam uma diminuição desse desempenho. Aqui discutiremos o terceiro—incrustação (fouling) da membrana—e apresentaremos alguns esclarecimentos quanto às diretrizes de aplicação do fabricante.

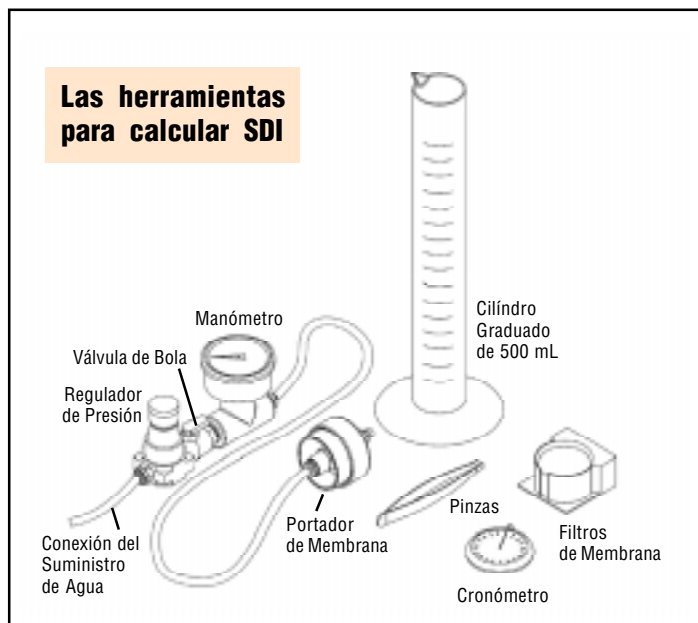
Há dois tipos de contaminantes que afetam a incrustação da membrana—particulados e biológicos.

A incrustação é a deposição de matéria orgânica e coloidal em suspensão (incrustação de particulados) e matéria biológica, inclusive microorganismos vivos e mortos (incrustação biológica) na superfície da membrana. A variedade de substâncias nessa categoria é extremamente grande, incluindo silte, escamas minerais, ferrugem, matéria vegetal em decomposição, algas, protozoários, bactérias e floculação, bem como outros agentes sequestrantes e produtos químicos desinfetantes ou anticorrosão adicionados no abastecimento público de água. Na maioria dos sistemas de abastecimento de água natural e água tratada, existe um certo grau de incrustação, que pode resultar em uma diminuição de até 10% no fluxo de permeado (fluxo) por ano—mesmo com pré-tratamento adequado. Também pode levar meses e até anos para percebermos uma redução no desempenho de um sistema de osmose reversa (OR) ou atingir um certo equilíbrio que seja quase imperceptível. O segredo é saber como minimizar a incrustação de uma maneira econômica.

## Camada limitrofe

O fenômeno da incrustação também aumenta em função do efeito da camada limitrofe, uma vez que as substâncias que se incrustam não são levadas embora

### Las herramientas para calcular SDI



substancias que se incrustan no son transportadas hacia el flujo de la corriente total con la rapidez suficiente (ver las ilustraciones en la primera parte), y por lo tanto, se acumulan en la membrana de la superficie. Piense acerca de lo rápido que se acumula una capa de polvo en un automóvil que acaba de ser pulido. Esto no puede evitarse ni desprenderse a ninguna velocidad. Está atrapado dentro de la capa divisoria, que es relativamente tranquila.

En general, la incrustación de membranas es mucho más compleja e impredecible que la formación de escamas (scaling), y existe una mayor variedad de causas. A menudo se requiere el uso amplio de un método de tanteos para resolver el problema. Por esta razón, hay muy poca información disponible en Latinoamérica (en español o en portugués) acerca del análisis y el control de la incrustación. El resultado de esta falta de conocimientos y experiencia es que muchos operadores de OI en Latinoamérica se han acostumbrado a limpiar y reemplazar frecuentemente los costosos elementos de membrana.

### Atención a las partículas

Existen básicamente dos métodos para abordar los problemas de incrustación de partículas (la incrustación biológica será reservada para otro artículo). Uno de estos métodos consiste en aumentar la capacidad de remoción de partículas del sistema de pretratamiento. El método más común utilizado en los sistemas comerciales e industriales ligeros, es una combinación de filtros de elementos múltiples y de cartucho, de alto rendimiento. Sin embargo, la optimización de los prefiltros requiere el uso de un proceso de tanteo bastante tedioso y la habilidad de poder medir el Índice de Densidad de Cieno (SDI\*), como se discute en la siguiente sección. El segundo método consiste en añadirle al agua de alimentación sustancias químicas especiales anti-incrustantes, que dispersan las partículas haciéndolas menos susceptibles a acumularse en la superficie de la membrana.

La incrustación de partículas generalmente se hace notar por una reducción en el flujo—que puede variar desde gradual hasta extremadamente rápida—y, en contraste con lo que ocurre con la formación de escamas, hay un aumento mínimo en el paso de sales. Por lo general, si las sustancias que se incrustan no son removidas a través de la limpieza antes de existir una disminución en el flujo de agua permeada del 10% al 15% (corregido para la presión y temperatura), el rendimiento original no podrá ser completamente restaurado—nuevamente ilustrando la importancia del monitoreo continuo de los parámetros de funcionamiento. De detectarse a tiempo la incrustación, las membranas pueden ser limpiadas efectivamente con soluciones especiales alcalinas de detergentes, que circulan a través de módulos individuales de OI, usando equipo diseñado para este propósito.

Anteriormente mencionamos que los suministros de agua superficial típicamente presentan una baja tendencia hacia la formación de escamas en las membranas de OI. Desafortunadamente, lo opuesto puede decirse sobre la tendencia hacia la incrustación. Los suministros de agua superficial son conocidos por sus altas concentraciones de partículas, cieno, materia orgánica y contenido microbiológico. Las concentraciones de cieno en muchas aguas típicas de Latinoamérica son particularmente altas y deben ser tomadas en cuenta por los diseñadores de sistemas, representantes técnicos del fabricante, y operadores.

Una manera adecuada de concluir esta sección es haciendo mención de las reglas de diseño para los sistemas de membranas de uno de los principales fabricantes de elementos de membranas de OI. Le

com suficiente rapidez no fluxo da corrente geral (ver ilustrações na primeira parte) e, portanto, se acumula na superfície da membrana. Imagine com que rapidez se forma uma camada de poeira em um automóvel recém polido. Não se consegue evitá-la e não se consegue removê-la a nenhuma velocidade. Ela fica retida dentro da relativamente tranquila camada limítrofe.

Em geral, a incrustação da membrana é muito mais complexa e imprevisível do que a formação de escamas (scaling), havendo uma variedade muito maior de causas. Com frequência é necessária muita tentativa e erro para resolver esse problema. Por essa razão, há poucas informações na América Latina (em espanhol ou em português) sobre a análise e controle da incrustação. O resultado dessa falta de conhecimento e experiência é que muitas operadoras de OR na América Latina se acostumaram com a limpeza ou substituição freqüente dos dispendiosos elementos de membrana.

### Atenção aos particulados

Há basicamente dois métodos de se tratar dos problemas de incrustação por particulados (a incrustação biológica ficará para outro artigo). Um deles é melhorar a capacidade de remoção de particulados do sistema de pré-tratamento. A abordagem mais comum dos sistemas comerciais e industriais leves de OR é uma combinação de filtros de cartucho e meios filtrantes múltiplos de alto desempenho. Contudo, a otimização da seleção de pré-filtros requer um processo cansativo de tentativa e erro e a capacidade de medir o Índice de Densidade de Silte (SDI\*), conforme discutido na seção seguinte. O segundo método é adicionar produtos químicos especiais anti-incrustação à água de abastecimento que dispersem os particulados, diminuindo a probabilidade de se aglomerarem na superfície da membrana.

A incrustação por particulado geralmente é indicada por uma redução no fluxo—que pode variar de gradual a extremamente rápida—e, ao contrário da formação de escamas, aumento mínimo da passagem de sal. Em geral, se as substâncias que se incrustam não forem removidas pela limpeza antes de uma diminuição de 10% a 15% no fluxo do permeado (corrigido em termos de pressão e temperatura), não se consegue restaurar totalmente o desempenho original—o que novamente ressalta a importância da monitoração freqüente dos parâmetros operacionais. Se a incrustação for detectada a tempo, pode-se limpar as membranas efetivamente com soluções especiais de detergente alcalino que são circuladas através de módulos de OR individuais utilizando equipamentos destinados para essa finalidade.

Mencionamos acima que o abastecimento de águas de superfície têm uma baixa tendência à formação de escamas nas membranas de OR. Infelizmente, ocorre exatamente o contrário quanto à tendência à incrustação. Os abastecimentos de água de superfície são conhecidos por suas altas concentrações de particulados, silte, matéria orgânica e teor microbiológico. As concentrações de silte em muitas águas típicas da América Latina são excessivamente altas e devem ser levadas em consideração pelos projetistas de sistemas, representantes técnicos dos fabricantes e operadores.

Uma forma apropriada de terminar esta seção é fazer uma citação das diretrizes de projeto de sistemas de membrana de um dos principais fabricantes de elementos de membrana de OR. Aconselhamos que vocês se lembrem sempre disto: “O fator que mais influencia o projeto do sistema de membrana é a tendência de incrustação da água de alimentação”.

### Medição da incrustação da membrana

Isso nos leva a uma discussão da importância do SDI. Nenhuma das

aconsejamos que se memorice lo siguiente: “El factor que posee la mayor influencia en el diseño del sistema de membranas es la tendencia de incrustación del agua de alimentación.”

### Medida de incrustación de membranas

Esto nos lleva a la discusión de la importancia del SDI. Ninguno de los operadores de los sistemas de OI que visité en Brasil midió alguna vez este importante parámetro—y mucho menos mantuvo un registro de ello. Además, ninguno de ellos entendió su significado. La medición del SDI es la medición más práctica hasta la fecha que se correlaciona con la tendencia de incrustación de las aguas de alimentación. En los suministros de superficie, el SDI es probablemente el parámetro más importante de medición para el operador—antes y después del equipo de pretratamiento. Todas aquellas personas responsables por la especificación, diseño y operación de sistemas de OI, particularmente en los suministros de agua superficial, deberían incorporar esta medición en sus programas de análisis de agua y mantenimiento preventivo.

Desafortunadamente, el SDI debe ser medido en el sitio. A diferencia de otros tipos de análisis de agua, uno no puede obtener una muestra y enviarla a un laboratorio para que sea analizada. Además, debido a la gran variabilidad de suministros de agua superficial (factores de clima y temporada) y al tratamiento inconsistente del agua pública en algunas áreas de Latinoamérica, el análisis del SDI debe llevarse a cabo a lo largo del año—al menos semanalmente y algunas veces diariamente (especialmente para las instalaciones grandes de OI).

La medición tradicional del SDI—ver *Figura 3* (las Figuras 1 y 2 están en la primera parte)—involucra determinar el tiempo requerido para obtener una muestra de 500 mililitros (ml) de agua que pasa a 30 libras por pulgada cuadrada (psi\*) de presión, a través de un filtro de disco de membrana de 0.45 micrómetros (µm) al principio y al final de un período de tiempo de 15 minutos (SDI<sub>15</sub>). El resultado no dimensional para la prueba de 15 minutos puede variar desde 0 hasta 6.7 (o 0 a 10 para la prueba opcional de 10 minutos, SDI<sub>10</sub>, y 0 a 20 para la prueba opcional de 5 minutos, SDI<sub>5</sub>). Los fabricantes de membranas aconsejan firmemente que la medición de SDI<sub>15</sub> sea al menos de 4 o 5, para obtener niveles mínimos de incrustación; y generalmente basan las garantías de sus membranas en este número. Muchos prefieren que SDI<sub>15</sub> sea menor que 2.5 para minimizar la incrustación, pero esto es extremadamente difícil de lograr con filtros convencionales de pretratamiento y de cartucho.

Cálculos:

$$SDI = 100 \times (1 - T_i / T_f) / T_t$$

Donde:

$T_i$  = tiempo que toma obtener la muestra inicial de 500 mL

$T_f$  = tiempo que toma obtener la muestra final de 500 mL

$T_t$  = tiempo total de la prueba (típicamente 15 minutos, pero también se utilizan pruebas de 5 y 10 minutos)

Fuente: Hydranautics

operadoras dos sistemas de OR que visitei no Brasil jamais mediu esse parâmetro essencial—e muito menos manteve registro dele. Além disso, nenhuma delas entendeu seu significado. A medição do SDI é a medição mais prática até agora que se correlaciona com a tendência de incrustação das águas de alimentação. Nos abastecimentos de águas de superfície, o SDI é provavelmente o parâmetro individual mais importante para a operadora medir—antes e depois dos equipamentos de pré-tratamento. Todos os responsáveis pela especificação, projeto ou operação de sistemas de OR, principalmente de abastecimentos de água de superfície, devem incorporar essa medição em sua análise de água e cronogramas de manutenção preventiva.

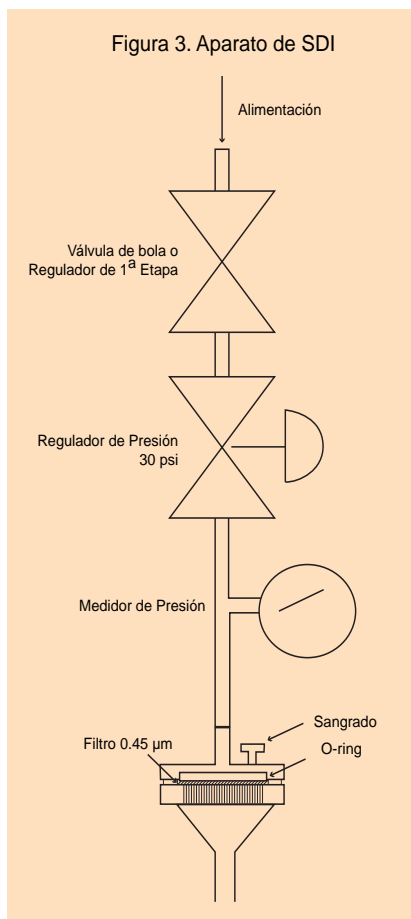
Infelizmente, o SDI deve ser medido no local. Ao contrário da maioria das análises de água, não se consegue coletar uma amostra e enviá-la para análise num laboratório. Além disso, devido à alta variabilidade dos abastecimentos de água de superfície (por motivos meteorológicos e sazonais) e tratamento não uniforme da água de abastecimento público em algumas áreas da América Latina, o teste de SDI deve ser realizado durante todo o ano—no mínimo semanalmente e, às vezes, diariamente (em especial em grandes instalações de OR).

A medição tradicional do ID—ver *Figura 3* (as Figuras 1 e 2 estão na primeira parte)—envolve a determinação do tempo necessário para coletar uma amostra de 500 mililitros (mL) da água que passa, a uma pressão de 30 libras por polegada quadrada (psi\*), através de um disco de filtro de membrana de 0,45 micrômetros (µm) no início e fim de um período de 15 minutos (SDI<sub>15</sub>). O resultado não dimensional para o teste de 15 minutos pode variar de 0 a 6,7 (ou de 0 a 10 para o teste opcional de 10 minutos, SDI<sub>10</sub>, e de 0 a 20 para o teste opcional de 5 minutos, SDI<sub>5</sub>). Os fabricantes de membranas avisam enfaticamente que a medição do SDI<sub>15</sub> deve ser de menos de 4 ou 5 para se obterem níveis mínimos de incrustação e geralmente baseiam a garantia de suas membranas nesse número. Muitos preferem que o SDI<sub>15</sub> seja de menos de 2,5 para minimizar a incrustação, mas isso é muito difícil de se conseguir com o pré-tratamento e filtros de cartucho convencionais.

As medições do SDI do abastecimento municipal de fontes de água de superfície no Brasil simplesmente me surpreenderam. Em 20 anos, nunca medi leituras de SDI tão extremas e constantes. Todas estavam acima de 10 (exigindo o período de 5 minutos) e algumas simplesmente caíam *fora da escala*—não se conseguia determinar um valor porque o filtro de 0,45 µm ficou totalmente obstruído até não apresentar vazão antes de acabar o período de 5 minutos. Essas medições sugerem condições extremamente desafiadoras para as membranas de OR, entretanto nenhuma das operadoras estava ciente da causa de seus problemas—somente de que as membranas tinham de ser limpas ou trocadas com frequência—a um alto custo.

### Como resolver um problema ‘inesperado’

Você já pode ter concluído, com razão, que estamos prestes a resolver nosso problema de diminuição prematura de desempenho da membrana. Ao prestar mais atenção à análise do



Las mediciones del SDI, para aguas municipales de fuentes de agua superficial en Brasil, simplemente me dejaron pasmado. En 20 años, nunca había obtenido resultados tan consistentemente extremos para el SDI. Todos esos resultados estuvieron por encima de 10 (requiriendo el período de 5 minutos) y algunos sencillamente estuvieron *fuera de la escala*—no se pudo determinar ningún valor porque el filtro de 0.45 µm se saturó completamente impidiendo el flujo, antes de transcurrir un período de 5 minutos. Estas mediciones sugirieron condiciones extremadamente desafiantes para las membranas de OI, y sin embargo, ninguno de los operadores estaba al tanto de la causa de los problemas—solamente que las membranas tenían que ser limpiadas o cambiadas frecuentemente—a un alto costo.

### Resolviendo un problema ‘inesperado’

Probablemente usted haya concluido correctamente que vamos en camino a resolver nuestro problema de disminución prematura en el rendimiento de la membrana. Usted puede *comenzar* a controlar este problema, poniéndole mayor atención al análisis del potencial de incrustación para su agua de alimentación y determinando la manera de reducirla.

Sin embargo, estamos a punto de revelar un factor igualmente crítico en nuestra búsqueda de una solución confiable—uno que podría sorprenderle y que la industria de OI ha pasado habitualmente por alto—especialmente los abastecedores de sistemas comerciales y sistemas industriales pequeños (<4 m<sup>3</sup>/hr) pre-construidos. Este es un factor tan crítico que, al no ser abordado, la posibilidad de prevenir la disminución en el rendimiento de la membrana de OI puede convertirse en un esfuerzo en vano. Nos estamos refiriendo a la mala información que prevalece acerca de los parámetros de diseño y funcionamiento del sistema de OI en sí. Prácticamente todos los sistemas de OI que observé en Brasil—los que experimentaban una disminución consistente en el rendimiento de la membrana—estaban funcionando en violación de las normas de aplicación recomendadas para sus membranas de OI.

¿Cómo puede ser esto? Históricamente, mientras los fabricantes de membranas produjeron membranas cada vez más eficientes de poliamida (PA)/de compuesto de película (o TFC<sup>TM\*</sup>), los fabricantes de sistemas de OI usaron (o dieron mal uso de) los datos de prueba de rendimiento de laboratorio, como base para las especificaciones de sus sistemas de OI. No hace mucho tiempo, las membranas de PA de 4x40 pulgadas (también conocidas simplemente como 4040) producían 1,400 galones por día (gpd)—a 200 psi—de agua permeada; pero ahora, ¡tienen la

potencial de incrustación de nossa água de alimentação específica e determinar como reduzi-la, você pode *começar* a controlar o problema.

Entretanto, estamos prestes a revelar um fator igualmente crítico em nossa busca por uma solução confiável—algo que pode surpreendê-lo e que é freqüentemente desprezado pelo setor de OR—, principalmente fornecedores de sistemas comerciais e industriais pré-fabricados de pequeno porte (< 4 m<sup>3</sup>/h). Esse é um fator tão importante que, se não for abordado, inutiliza qualquer esforço para se impedir que a incrustação diminua o desempenho da OR. Referimo-nos às informações errôneas existentes sobre os parâmetros de projeto e operacionais do próprio sistema de OR. Praticamente todos os sistemas que observei no Brasil—os que apresentam diminuição constante do desempenho da membrana—não estavam operando em conformidade com as diretrizes de aplicação recomendadas para suas membranas de OR.

Como assim? Historicamente, à medida que os fabricantes de membranas desenvolviam membranas de poliamida (PA)/compósito de película fina (ou TFC<sup>TM\*</sup>) cada vez mais eficientes, os fabricantes de sistemas de OR usavam (às vezes erroneamente) os dados de desempenho do teste de laboratório como base para as especificações de seus sistemas de OR. Não faz muito tempo que as membranas de PA de 4x40 polegadas (também conhecidas simplesmente como 4040) produziam 1.400 galões de água por dia (gpd)—a 200 psi—de permeado; entretanto, hoje elas conseguem o triplo com a mesma pressão! Sem acusar ninguém, digamos que houve uma exploração não intencional da tecnologia de OR entre os projetistas, fabricantes, vendedores e operadoras de sistemas de OR por ignorância dos critérios relativos ao fenômeno da incrustação. Para ilustrar isso, vejamos alguns dados de especificação típicos de dois fornecedores de seus respectivos elementos de membrana de OR 4x40 (ver *Tabela 1*).

Se você estivesse projetando ou operando um sistema baseado nessas especificações de teste publicadas, você esperaria 3.000 gpd da membrana do fabricante A a 150 psi e 25 °C. Na verdade, a maioria dos sistemas que observei no Brasil, principalmente os de águas de superfície mais quentes, estão operando próximo ou além dessas especificações—e quase todos estão tendo problemas. Então, qual é a mensagem? As especificações de desempenho de teste são apenas isso—elas definem apenas o desempenho em laboratório

**Tabla 1. Especificaciones de rendimiento para la prueba de la membrana de OI**

	Tamaño del elemento	Flujo de agua permeada	Presión de prueba	Temperatura de prueba	Recuperación de agua permeada	PPM NaCl	Area de la membrana	Flujo de prueba
Fab. A	4"x40"	3000 gpd	150 psi	77°F	15%	1500	85 ft <sup>2</sup>	35.3 gfd
Fab. B	4"x40"	2800 gpd	225 psi	77°F	15%	2000	82 ft <sup>2</sup>	34.1 gfd

NOTA: Fab. = Fabricante; gpd = galones por día; 77°F = 25°C; gfd = galones por pie cuadrado (ft<sup>2</sup>) por día

**Tabla 2. Parámetros de funcionamiento recomendados para la membrana de OI**

	Tamaño del elemento	Flujo máx. de alimentación de agua superficial SDI 2-4, SDI 3-5	Flujo máx. de alimentación de agua de pozo SDI <2, SDI <3	Máx. recuperación de agua permeada y concentración mínima
Fab. A	4"x40"	8-14 gfd (680-1190 gpd)	14-18 gfd (1190-1530 gpd)	15% y 3 gpm
Fab. B	4"x40"	21.4 gfd (1755 gpd)	25.7 gfd (2107 gpd)	15-20% y 4 gpm

NOTA: Fab. = Fabricante; gpd = galones por día; gfd = galones por ft<sup>2</sup> por día

em condições operacionais estabelecidas historicamente e não se destinam a representar o desempenho em aplicações do mundo real. Se você quiser conhecer os parâmetros operacionais recomendados para o mundo real, você terá de olhar os “limites de projeto” ou “diretrizes de projeto” do

capacidad de producir tres veces esa cantidad a la misma presión! Sin acusar a nadie, es suficiente decir que ha habido una explotación involuntaria de la tecnología de OI por parte de los diseñadores, fabricantes, vendedores y operadores de sistemas de OI, debido a la ignorancia que existe con respecto a los criterios relacionados con el fenómeno de la incrustación. Para ilustrar este problema, veamos los datos típicos de especificación de dos abastecedores para sus respectivos elementos de membrana de OI 4x40 (ver *Tabla 1*).

Si usted estuviera diseñando u operando un sistema basado en estas especificaciones de prueba publicadas, podría esperar 3,000 gpd para la membrana del fabricante a 150 psi y 25°C. De hecho, la mayoría de los sistemas que he observado en Brasil, especialmente aquellos en aguas superficiales más calientes, se encuentran funcionando cerca o por encima de estas especificaciones—y casi todos están experimentando problemas. Por lo tanto, ¿cuál es el punto? Las especificaciones de rendimiento para la prueba son nada más que eso—solamente definen el rendimiento en el laboratorio bajo condiciones de funcionamiento históricamente establecidas y no tienen la intención de representar el rendimiento en aplicaciones de la vida real. Si desea conocer los parámetros de funcionamiento recomendados para los casos de la vida real, por favor refiérase a las “instrucciones de diseño” o “límites de diseño”. Veamos dichos parámetros para los Fabricantes A y B (ver *Tabla 2*).

Mencionemos lo que es más importante aquí y la manera en que usted puede aplicarlo en sus propios sistemas de OI. La primera tabla nos dice que el elemento de membrana 4x40 del Fabricante A, tiene 85 pies cuadrados (ft<sup>2</sup>) de área activa de membrana (un número que vale la

fabricante da membrana. Vejamos esses dados para os Fabricantes A e B (ver *Tabela 2*).

Observemos o que é mais importante aqui e como você pode aplicá-lo aos seus sistemas de OR. A primeira tabela afirma que o elemento de membrana 4x40 do Fabricante A possui 85 pés quadrados (pé<sup>2</sup>) de área de membrana ativa (um número que vale a pena lembrar). A segunda tabela afirma que para alimentação de água de superfície (somente se o SDI<5), a diretriz para o fluxo é de 8 a 14 galões por pé quadrado por dia (gfd\*), ou 680 a 1190 gpd para um único elemento 4x40. Observe como esse parâmetro operacional recomendado é muito mais conservador do que as especificações de desempenho de teste—ele permite cerca de um terço do fluxo de permeado—ou menos! As conseqüências de se ultrapassarem esses parâmetros operacionais recomendados, com base em muitos anos de experiência do setor, são, conforme você já deve ter imaginado, uma diminuição no desempenho da membrana devido à *incrustação*. Quanta mais você transgredir as diretrizes, mais rápida a diminuição do desempenho do fluxo de permeado. Mesmo as diretrizes de fluxo do Fabricante B (1.755 gpd para alimentação de água de superfície), embora significativamente mais altas do que as do Fabricante A, são conservadoras quando comparadas com as especificações de desempenho da membrana (2.800 gpd).

Dando um passo adiante, vale a pena explicar a *faixa* de fluxo (p. ex., 8 a 14 gfd) e por que o fluxo é um parâmetro tão crítico. A faixa de fluxo em cada categoria de água de alimentação reflete as diferenças nos tipos e concentrações de substâncias que se incrustam. Cada tipo de substância que se incrusta possui características singulares que determinam sua

pena memorizar). La segunda tabla nos dice que para la alimentación de agua superficial (solamente si SDI<5) la norma para el flujo es de 8 a 14 galones por pie cuadrado por día (gfd\*), o entre 680 y 1,190 gpd para un solo elemento de 4x40. Observe qué tanto más conservador es este parámetro que las especificaciones de rendimiento de prueba—permite más o menos una tercera parte del flujo de agua permeada—¡o menos! Las consecuencias de exceder estos parámetros de funcionamiento recomendados, basados en varios años de experiencia en la industria, son como puede haberlo adivinado, una disminución en el rendimiento de la membrana debido a la *incrustación*. Mientras más se violen las normas, más rápido disminuirá el rendimiento en el flujo de agua permeada. Aun las normas de flujo del Fabricante B (1,755 gpd para el agua de alimentación de superficie), aunque significativamente más altas que las del Fabricante A, son conservadoras en comparación con las especificaciones de rendimiento de la membrana (2,800 gpd).

Llevando esto un paso más adelante, vale la pena explicar la *amplitud* del flujo (por ejemplo, 8-14 gfd) y por qué dicho flujo es un parámetro tan crítico. La amplitud del flujo en cada categoría de agua de alimentación refleja las diferencias en los tipos y concentraciones de las sustancias que se incrustan. Cada sustancia que se incrusta tiene características únicas que determinan su *tendencia* hacia la incrustación. De manera similar, mientras más alta sea la concentración de materia que se incrusta, más limitado tendrá que ser el valor del flujo. La razón por la cual el flujo es tan crítico puede ser fácilmente explicada a través de la discusión anterior sobre incrustación. El flujo es realmente la velocidad a la que el agua casi pura pasa a través de la membrana, dejando una mayor

*tendência* de incrustação. Analogamente, quanto maior a concentração de substâncias que se incrustam, mais limitado precisa ser o número do fluxo. A razão pela qual o fluxo é tão crítico pode ser explicada pela discussão acima sobre incrustação. O fluxo, na verdade, é a velocidade com que a água quase pura permeia através da membrana, deixando uma concentração maior de incrustação do outro lado da camada limítrofe. Quanta maior a concentração de incrustação, maior a probabilidade de eles aderirem à superfície da membrana. A meta, então, é limitar o fluxo para que fique dentro das diretrizes recomendadas. Em geral, consegue-se isso regulando-se a pressão de alimentação. Como a temperatura da água de alimentação também é um fator significativo na determinação do fluxo, ela também determina a tendência à incrustação.

### Conselho pragmático

Se a discussão acima foi demasiadamente acadêmica para aplicar aos seus próprios problemas de desempenho de OR, então vejamos uma abordagem mais prática. Digamos que você seja responsável pela operação de um sistema de OR com três elementos de membrana 4x40 em série. A água de alimentação é municipal e captada de um rio. A TDS\* da água de alimentação é 85 miligramas por litro (mg/L) e a temperatura da água é de 23 °C. O pré-tratamento inclui um filtro de areia de retrolavagem, um filtro de carvão de retrolavagem e dois filtros de sedimento de cartucho em série, um de 10 µm e outro de 5 µm (valor nominal). A recuperação de OR foi ajustada para 60% e a rejeição em 98%. Quando o sistema foi inicialmente instalado, o fluxo de permeado era de 7.500 gpd (5,2 galões por minuto, ou gpm) a 120 psi. Em menos de dois meses, o fluxo de

concentración de materia que se incrusta, en la capa divisoria. Mientras mayor sea la concentración de materia que se incrusta, mayor será la probabilidad de que ésta se adhiera a la superficie de la membrana. Entonces, la meta es limitar el flujo dentro de las especificaciones recomendadas. Generalmente, esto se logra regulando la presión de alimentación. Debido a que la temperatura del agua de alimentación también es un factor significativo para determinar el flujo, esto también determina la tendencia hacia la incrustación.

### Consejo pragmático

Si la discusión anterior fue demasiado académica para poder aplicarla a sus propios problemas de rendimiento de OI, exploremos un enfoque más práctico. Digamos que usted es responsable de operar un sistema de OI con tres elementos en serie de membrana 4x40. El agua de alimentación es de la ciudad, la cual usa un río como fuente de abastecimiento. El contenido de sólidos totales disueltos (TDS\*) del agua de alimentación, es de 85 miligramos por litro (mg/L), y la temperatura del agua es de 23°C. El pretratamiento incluye un filtro de arena para retrolavado, un filtro de carbón para retrolavado, y dos filtros de cartucho de sedimento en serie, uno de 10 µm y otro de 5 µm (clasificación nominal). La recuperación de OI está fijada a 60% y el rechazo a 98%. Cuando se instaló inicialmente el sistema, el flujo de agua permeada era de 7,500 gpd (5.2 galones por minuto, o gpm) a 120 psi. El rechazo se mantuvo igual. Usted limpia las membranas de acuerdo a las especificaciones del fabricante y recupera el flujo de agua permeada a una tasa solamente un poco por encima de los 5.0 gpm. Cuarenticinco días más tarde, el flujo de agua permeada nuevamente ha disminuido a 4.2 gpm. Usted limpia las membranas una vez más,

permeado caiu 20%, para 6000 gpd (4,2 gpm) a 120 psi. A rejeição continuou a mesma. Você limpa as membranas segundo as recomendações do fornecedor e recupera a vazão do permeado para um pouco mais de 5,0 gpm. Quarenta e cinco dias depois o fluxo do permeado volta para 4,2 gpm. Você limpa as membranas novamente, recuperando o fluxo de permeado de 5,0 gpm.

Antes de ligar o sistema, você lê este artigo e determina o que pode haver de errado com os parâmetros operacionais do seu sistema. Primeiro, você consegue uma cópia das diretrizes operacionais do fabricante da membrana (o que pode não ser fácil, mas tente a Internet se tudo o mais falhar; o site da empresa geralmente fornece uma abundância de dados desse tipo). Você percebe que está operando as membranas de OR muito além das diretrizes do fabricante. Para as membranas 4x40 (85 pés quadrados de área) e o tipo de água de alimentação que você tem, o fluxo máximo recomendado é de 14 gfd, ou cerca de 1.190 gpd por elemento. Você percebe que o seu sistema de três membranas deveria operar como um sistema de 3.570 gpd (2,5 gpm ou menos!) em vez de um sistema de 7.500 gpd (5,2 gpm)!

Você percebe que deveria medir o SDI já que ele deveria estar abaixo de 4, mas você não possui o equipamento e não sabe onde obtê-lo. Como medida preventiva, você substitui os cartuchos de pré-filtro existentes por um de 5 µm seguido de outro de 1 µm (nominal). O sistema de OR está pronto para operar. Você olha os medidores e abaixa a pressão de alimentação de OR para cerca de 60 psi para fazer o fluxo de permeado baixar para 2,5 gpm! Três meses mais tarde o fluxo se mantém em 2,5 gpm, embora você tenha tido de trocar os pré-filtros a cada 45 dias—mesmo assim uma medida preventiva eficiente em termos de custo. O

recuperando el flujo de agua permeada a 5.0 gpm.

Antes de poner en marcha el sistema, usted lee este artículo y determina lo que podría estar mal con los parámetros de operación de su sistema. Primero, obtiene una copia de las instrucciones de operación del fabricante de membranas (lo cual puede no ser algo fácil, pero, de fracasar todo lo demás, consulte la Internet; el sitio web de la compañía a menudo contiene una pléthora de este tipo de datos). Usted se da cuenta de que está operando las membranas de OI muy por encima de las especificaciones del fabricante. Para las membranas de 4x40 (85 ft<sup>2</sup> de área de superficie) y el tipo de agua que usted tiene el flujo máximo recomendado es de 14 gfd o más o menos 1,190 gpd por elemento. Usted se da cuenta de que su sistema de tres membranas debería estar funcionando como un sistema de 3,570 gpd (2.5 gpm ¡o menos!), ¡y no como un sistema de 7,500 gpd (5.2 gpm)!

Usted se da cuenta de que debería medir el SDI, ya que debería ser menos de 4, pero no posee el equipo para hacerlo ni sabe dónde conseguirlo. Como medida de prevención, usted reemplaza los cartuchos de prefiltro existentes, con uno de 5 µm seguido por uno de 1 µm (valor nominal). El sistema de OI está listo para funcionar. Usted observa los indicadores de medida y disminuye la presión de alimentación de OI a más o menos 60 psi, ¡para reducir el flujo de agua permeada a 2.5 gpm! Tres meses más tarde el flujo se mantiene en 2.5 gpm aunque ha tenido que reemplazar los prefiltros cada 45 días—aún así, ésta es una medida preventiva económica. Esto impresionó a su jefe (¡pero no lo dejó contento!) y decide llenar una orden de compra para obtener un instrumento para medir el SDI.

## Conclusión

Por lo tanto, ¿cuánto tiempo deben durar mis membranas? En pocas palabras, deberían durar mucho más tiempo de lo que usted se imagina, al dárseles la consideración y el cuidado adecuado como factores que afectan su funcionamiento óptimo.

Hemos proporcionado los antecedentes sobre las causas del deterioro en el rendimiento de las membranas de OI, especialmente en el agua de superficie, y hemos identificado los factores más críticos y la manera de medirlos. En un artículo futuro discutiremos un enfoque práctico detallado para controlar este problema y optimizar su selección de equipo de pretratamiento. Mientras más efectivamente pueda minimizar las sustancias que se incrustan y lograr bajos niveles de SDI, mayor será el tiempo que sus membranas de OI le proporcionarán el rendimiento deseado.s

\* Por sus siglas en inglés

seu chefe fica impressionado (mas não contente!) e faz o pedido de compra de um instrumento de teste de SDI.

## Conclusão

Então, quanto tempo deveriam durar as minhas membranas? A resposta curta é muito mais longa do que você pensa, se formos considerar devidamente os fatores que afetam a operação otimizada.

Nós fornecemos informações de fundo sobre as causas da diminuição do desempenho das membranas de OR, principalmente com água de superfície, e identificamos os fatores mais críticos e como medi-los. Num artigo posterior, discutiremos uma abordagem prática detalhada sobre como controlar esse problema através da otimização da sua escolha de equipamentos de pré-tratamento. Quanta maior a eficácia ao minimizar os contaminantes e atingir baixos níveis de SDI, maior será o tempo em que as suas membranas de OR fornecerão o desempenho desejado.s

\* Por suas siglas em inglês

### Acerca del Autor

Robert Slovak es presidente de AROMAN Inc., una compañía de consultoría en tratamiento de agua en los Estados Unidos. A la misma vez, es director de Aqualar Water Solutions en Brasil. También es el director técnico de *Agua Latinoamérica*. Miembro de la Water Quality Association, Slovak es autor del manual *Application Guide to Point-of-Use Reverse Osmosis Systems*. Contacto: robertslovak@aol.com

### Reconocimiento

El autor quiere agradecer a Jorge Grella, de Idenor Ingeniería SRL, de Buenos Aires, Argentina, por sus contribuciones a este artículo. Contacto: +54(11) 4752-8026, jorgegrella@hotmail.com

## Incrustación y Escamas... ¿Cuál es cuál?

Dos términos utilizados en la industria del tratamiento de agua que ocasionalmente causan confusión en español y portugués son “incrustación” y “escamas”. Con frecuencia se encuentra la palabra “incrustación” para referirse a las “escamas”. Además, para amplificar la confusión, con mayor frecuencia vemos estos términos utilizados en inglés, “fouling” y “scaling”, para describir el fenómeno. Las escamas son una capa o precipitado—por lo general una estructura cristalina que forma un sólido suspendido—que se deposita en una superficie y con frecuencia involucra contaminantes como calcio o magnesio. El uso de las palabras “fouling”, “ensuciamiento” o “incrustación” a veces varía según la aplicación de tratamiento de agua. En la filtración o intercambio iónico (suavización, acondicionamiento o desionización), se considera la acumulación de materias indeseables en un filtro o lecho de intercambio iónico causando que se tapen los poros de la superficie que inhibe o limita la operación apropiada del sistema de tratamiento de agua. En ósmosis inversa (OI) u otros procesos de separación por membranas como nanofiltración, ultrafiltración y microfiltración, la incrustación es cuando una membrana absorbe, o se cubre de solutos y/o precipitados (partículas como sólidos suspendidos) en el curso de alimentación resultando en una disminución del rendimiento de la membrana al reducir el flujo y/o afectando el rechazo de solutos. Cuando esto involucra crecimiento biológico se le refiere más específicamente como “biofouling” o “ensuciamiento biológico” y puede resultar en que los microorganismos acumulados crezcan hacia adentro y a través de la membrana. A una sobreabundancia de contaminantes como hierro o manganeso en forma de precipitación que se absorben y/o adsorben por un medio, inhibiendo el desempeño del sistema, también se le llama “incrustación” o “fouling” porque son más difíciles de removerse de una resina de intercambio iónico o de limpiarse en una membrana de OI.

En portugués, la palabra “incrustações” con frecuencia se utiliza para todo tipo de depósitos en membranas, pero técnicamente lo más correcto y utilizado por profesionales es: scaling—depósitos minerales; colloidal fouling—incrustação coloidal; chemical fouling—incrustação química; organic fouling—incrustação orgânica; biological fouling—incrustação biológica.