

Factores Primarios que Influyen sobre el Flujo de Permeado en Membranas de OI

Fatores Primários que Influenciam o Fluxo de Permeado em Membranas de OR

por David H. Paul

Español

Resumen: Este artículo cubre información y conceptos requeridos para comprender los factores primarios que determinan el flujo de permeado en un sistema de tratamiento de agua por ósmosis inversa (OI).

El tratamiento de agua por membrana consiste en aplicar agua bajo presión a una membrana sintética, semipermeable, para purificarla por medio de ósmosis inversa. El agua que penetra a través de la membrana está libre de la mayor parte de sólidos totales disueltos (TDS*) y virtualmente toda la materia coloidal, suspendida y microbiológica.

El flujo de permeado—o agua de producto—que pasa a través de una membrana semipermeable, es principalmente una función de la temperatura del agua de alimentación y la *presión neta de impulso* (PNI). PNI es la diferencia entre las dos presiones que actúan sobre ambos lados de la membrana. Dichas presiones se conocen como *presión aplicada* y *presión osmótica*.

Presión aplicada

La presión aplicada es cualquier tipo de presión hidráulica que actúa en cualquier lado de la membrana. En el lado de alimentación de la membrana, la presión aplicada suministra energía para hacer que funcione la OI. Por otra parte, la presión aplicada sobre el lado de permeado de la membrana, es generalmente el resultado de la forma en que está conectado el sistema de OI a los tanques de almacenamiento y a las tuberías de distribución.

Existen dos fuentes de *presión hidráulica* (ver “Conceptos Fundamentales Sobre Presión y Flujo”, 1ª y 2ª Parte, *Agua Latinoamérica*,

Português

Resumo: Este artigo discute informações e conceitos necessários para entender os fatores primários que determinam o fluxo de permeado num sistema de tratamento de água por osmose reversa (OR).

O tratamento de água por membrana envolve a aplicação de água sob pressão a uma membrana sintética semipermeável para purificar a água por meio de osmose reversa. A água que permeia através da membrana está isenta da maioria dos sólidos dissolvidos (TDS*) e de praticamente toda matéria coloidal, microbiológica e em suspensão.

O fluxo de permeado—ou água de produto—através de uma membrana semipermeável é basicamente uma função da temperatura da água de alimentação e da *pressão de impulso líquida*, PIL. A PIL é a diferença entre as duas pressões que agem sobre os dois lados da membrana. As pressões são denominadas *pressão aplicada* e *pressão osmótica*.

Pressão aplicada

A pressão aplicada é qualquer pressão hidráulica que aja sobre qualquer lado da membrana. No lado de alimentação da membrana, a pressão aplicada fornece a energia para a OR funcionar, enquanto que a pressão aplicada no lado do permeado da membrana geralmente é resultado de como o sistema de OR está conectado aos tanques de armazenamento e tubulação de distribuição.

Há duas fontes de *pressão hidráulica* (ver “Conceitos Fundamentais Sobre Pressão e Fluxo”, Parte 1 e 2, *Agua Latinoamérica*, maio/junho 2001 e julho/agosto 2001). A mais básica é a pressão resultante do peso

Figura 1. Módulo de alimentación de OI, conexiones de permeado y concentrado

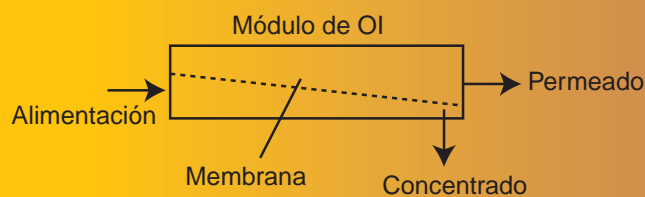
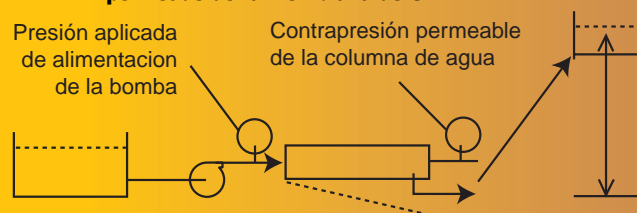


Figura 2. Presión aplicada en los lados de alimentación y permeado de la membrana de OI



mayo/junio 2001 y julio/agosto 2001). La presión más básica es aquella que resulta del peso (altura o H) de una columna de agua. Este peso es, por supuesto, debido a la gravedad. Por cada 2.3 pies (0.7 metros) de elevación de agua, la presión en la base será más o menos 1 libra por pulgada cuadrada (psi*), o 0.07 bar. Por ejemplo, si un tanque de agua se encuentra a una elevación de 23 pies (7 metros) por encima del suelo, entonces habrá una presión aproximada de 10 psi (0.7 bar) en la tubería al nivel del suelo. (Esta es la razón para tener cisternas de agua elevadas para abastecer agua a un hogar, edificio, o pueblo entero—en cuyo caso las cisternas son tanques colocados a una mayor elevación, o torres de agua).

Por lo general, una fuente de abastecimiento elevada solamente puede abastecer suficiente presión de alimentación para sistemas pequeños de OI de punto de uso (PDU). La presión que se debe a la altura de una columna de agua es más comúnmente asociada con la presión aplicada sobre el lado de permeado de la membrana (algunas veces conocida como *contrapresión*) ya que el sistema de OI puede estar conectado a un tanque elevado. Una segunda fuente de presión hidráulica es la de una bomba. Las bombas convierten la energía mecánica de un motor en presión hidráulica. Esto está típicamente asociado con la presión aplicada sobre el lado de alimentación de la membrana.

Presión osmótica

Osmosis es el proceso natural que resulta en el movimiento de agua a través de una membrana semipermeable, desde el lado diluido (menos iones disueltos) hacia el lado concentrado (más iones disueltos). De tal manera que la ósmosis tiende a igualar la potencia de la solución en ambos lados de la membrana. La fuerza que causa este flujo se conoce como *presión osmótica*. Esta fuerza puede ser explicada de varias maneras. Una forma sencilla de hacerlo es que, como el lado diluido tiene un menor número de iones disueltos, y por lo tanto más agua por unidad de volumen, hay más colisiones de moléculas de agua (presión) con la membrana. Debido a que el agua puede movilizarse libremente a través de la membrana, ésta fluirá naturalmente desde el lado diluido hacia el lado concentrado.

Un ejemplo de ósmosis en el cuerpo humano sería el paso de agua en el estómago de una persona hacia la corriente sanguínea. La sangre tiene un contenido relativamente alto de TDS—varios miles de miligramos por litro (mg/L) de concentración iónica. Cuando una persona toma agua de la llave (generalmente menos de 500 mg/L de concentración iónica), existe un flujo neto de moléculas de agua a través de la membrana gastrointestinal semipermeable desde el lado diluido del estómago hacia el lado concentrado de la corriente sanguínea. Esta es la razón por la que no podemos beber agua de mar (35,000 mg/L de concentración iónica) y sobrevivir. En este caso, el movimiento neto del agua sería desde la relativamente diluida corriente sanguínea, hacia el agua de mar en el estómago, la cual tiene una mayor concentración.

Para las aguas naturales, la regla general consiste en que por cada 100 mg/L de iones disueltos (TDS) la presión osmótica es aproximadamente 1 psi (0.07 bar). Por lo tanto, una solución de 1,000 mg/L, tiene una presión osmótica de aproximadamente 10 psi (0.7 bar). De manera similar, el

(altura ou H) de uma coluna de água. Esse peso é, logicamente, devido à gravidade. Para cada 2.3 pés (0,7 metros) de elevação de água, a pressão na base será de cerca de 1 libra por polegada quadrada (psi), ou 0,07 bar. Por exemplo, se um tanque de água for elevado 23 pés (7 metros) acima do solo, haverá uma pressão de cerca de 10 psi* (0,7 bar) no cano ao nível do solo. (Essa é a razão para as caixas d'água elevadas que fornecem água para casas, prédios ou uma cidade inteira—caso em que são tanques posicionados numa elevação mais alta ou em torres de água.)

Em geral, uma fonte de água elevada só consegue fornecer pressão de alimentação suficiente para pequenos sistemas de OR de ponto de uso (PDU). A pressão devida à altura de uma coluna de água normalmente está mais associada à pressão aplicada no lado do permeado da membrana (às vezes denominada *contrapressão*), uma vez que o sistema de OR pode estar conectado a um tanque elevado. Uma segunda fonte de pressão hidráulica é uma bomba. Uma bomba transforma a energia mecânica de um motor em pressão hidráulica. Esta está tipicamente associada à pressão aplicada no lado de alimentação da membrana.

Pressão osmótica

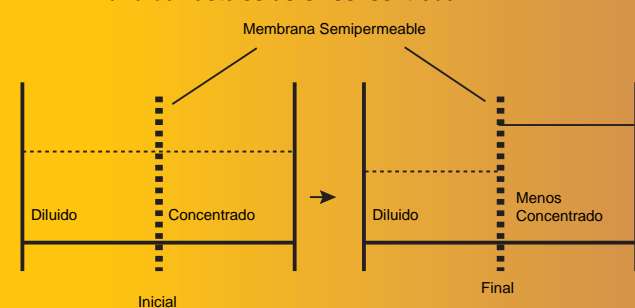
A osmose é o processo natural que resulta no movimento da água através de uma membrana semipermeável do lado diluído (menos íons dissolvidos) para o lado concentrado (mais íons dissolvidos). Assim, a osmose tende a equalizar a concentração da solução nos dois lados de uma membrana. A força que provoca esse fluxo é chamada de *pressão osmótica*. Pode-se explicar essa força de várias formas. Uma explicação simples é que, como o lado diluído possui menos íons dissolvidos e, portanto, mais água por volume unitário, há mais colisões de moléculas de água (pressão) com a membrana. Como a água pode se mover livremente através da membrana, ela naturalmente fluirá do lado diluído para o lado concentrado.

Um exemplo de osmose no corpo humano seria a passagem de água do estômago para a corrente sanguínea de uma pessoa. O sangue tem um nível relativamente alto de TDS—concentração iônica de vários milhares de miligramas por litro (mg/L). Quando uma pessoa bebe água da torneira (geralmente com concentração iônica de menos de 500 mg/L), há um fluxo líquido de moléculas de água através da membrana semipermeável gastrointestinal do lado diluído do estômago para o lado concentrado da corrente sanguínea. É por isso que não conseguimos beber água do mar (concentração iônica de 35.000 mg/L) e sobreviver. O movimento líquido de água seria da corrente sanguínea agora relativamente diluída para a água do mar mais concentrada no estômago.

Para águas naturais, uma regra geral é que para cada 100 mg/L de íons dissolvidos (TDS), a pressão osmótica é de aproximadamente 1 psi (0,07 bar). Portanto, uma solução de 1.000 mg/L possui uma pressão osmótica de aproximadamente 10 psi (0,7 bar). Analogamente, água do mar com 35.000 mg/L de TDS possui uma pressão osmótica de aproximadamente 350 psi (24 bar).

Para que uma membrana de osmose reversa (OR) seja eficaz, é preciso vencer essa pressão osmótica.

Figura 3. Osmosis natural a través de la membrana desde diluida hasta solución concentrada



agua salada con un contenido de 35,000 mg/L de TDS, tiene una presión osmótica de aproximadamente 350 psi (24 bar).

Para que una membrana de OI sea efectiva, tiene que sobreponerse esta presión osmótica.

Presión neta de impulso

La *presión neta de impulso* (PNI) es la diferencia entre la presión aplicada y la presión osmótica que actúan en ambos lados de una membrana semipermeable. Tome en cuenta que la contrapresión, incluyendo la presión de una fuente elevada o un tanque de presión, también es considerada en esta ecuación. A una temperatura dada, el flujo de permeado es directamente proporcional a la PNI. Mientras aumenta la temperatura, la viscosidad del agua disminuye y, por lo tanto, se requiere menos PNI para forzar un volumen dado de agua a través de la membrana.

La Figura 4 ilustra una membrana con dos presiones que actúan sobre ambos lados—el lado del agua de alimentación y el lado del agua de permeado. La ecuación de PNI puede ser escrita de la siguiente manera:

Ecuación 1:

$$PNI = P_{\text{alimentación}} + P_{\text{osmótica (permeado)}} - P_{\text{permeado}} - P_{\text{osmótica (alimentación)}}$$

Donde:

- $P_{\text{alimentación}}$ = La presión aplicada del agua de alimentación
- $P_{\text{osmótica (permeado)}}$ = La presión osmótica de la fracción de permeado
- P_{permeado} = La presión aplicada (contrapresión) del agua de permeado
- $P_{\text{osmótica (alimentación)}}$ = La presión osmótica del agua de alimentación

Dada una concentración de TDS en el agua de permeado de 10-20 mg/L para la mayoría de aplicaciones de agua dulce y salobre, la presión osmótica es bastante pequeña (0.1 a 0.2 psi). Por lo tanto, este término es generalmente eliminado de la ecuación, simplificándose de la siguiente manera:

Ecuación 2:

$$PNI = P_{\text{alimentación}} - P_{\text{permeado}} - P_{\text{osmótica (alimentación)}}$$

Pressão de impulso líquida

A *pressão de impulso líquida* (PIL) é a diferença entre as pressões aplicada e osmótica que agem dos dois lados de uma membrana semipermeável. Observe que a contrapressão, inclusive a pressão de uma fonte elevada ou tanque de pressão, também consta dessa equação. A uma determinada temperatura, o fluxo do permeado é diretamente proporcional à PIL. À medida que a temperatura aumenta, a água fica menos viscosa e, portanto, é necessária uma PIL menor para forçar um determinado volume de água através da membrana.

A Figura 4 ilustra uma membrana com duas pressões agindo nos dois lados—no lado da água de alimentação e no lado da água do permeado. Pode-se escrever a equação da PIL como:

Equação 1:

$$PIL = P_{\text{alimentação}} + P_{\text{osmótica (permeado)}} - P_{\text{permeado}} - P_{\text{osmótica (alimentação)}}$$

Onde:

- $P_{\text{alimentação}}$ = A pressão aplicada da água de alimentação
- $P_{\text{osmótica (permeado)}}$ = A pressão osmótica do permeado
- P_{permeado} = A pressão aplicada (contrapressão) da água do permeado
- $P_{\text{osmótica (alimentação)}}$ = A pressão osmótica da água de alimentação

Dada uma concentração de TDS no permeado de 10 a 20 mg/L para a maioria das aplicações de água doce e salobra, a pressão osmótica é pequena (0,1 a 0,2 psi). Portanto, geralmente elimina-se esse termo da equação, que fica simplificada para:

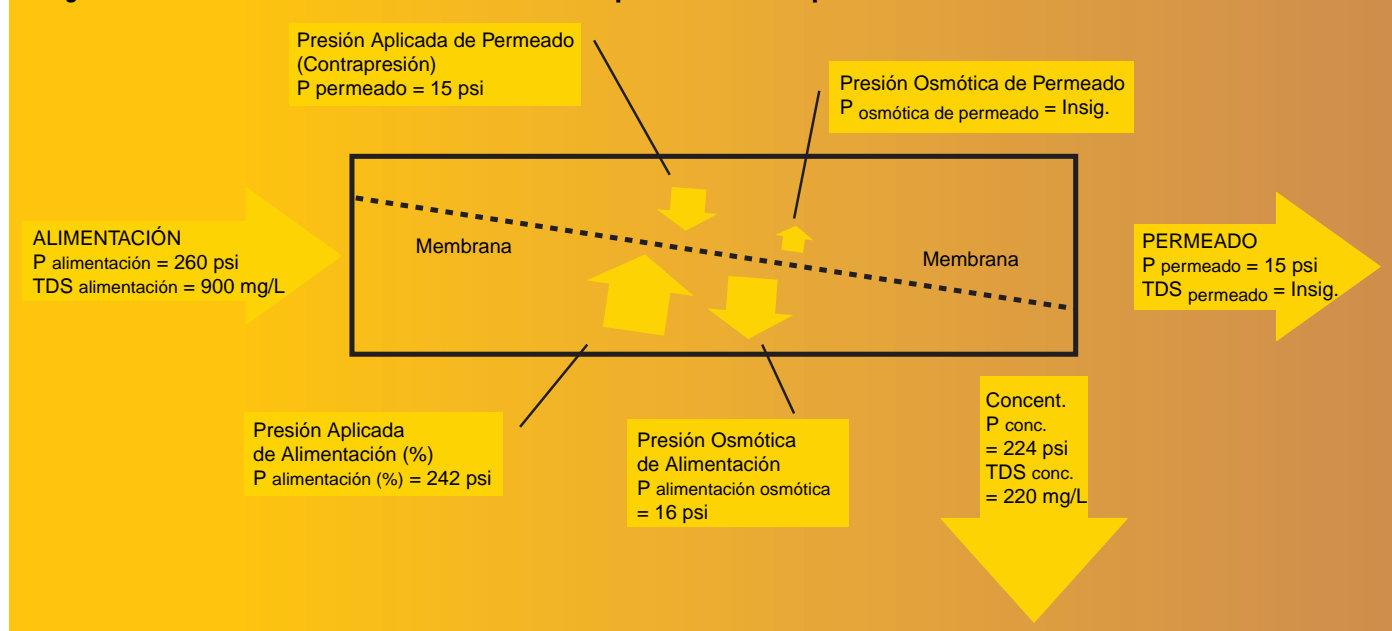
Equação 2:

$$PIL = P_{\text{alimentação}} - P_{\text{permeado}} - P_{\text{osmótica (alimentação)}}$$

Cálculo da PIL para um sistema de OR

Agora que já abordamos a PIL em geral, vejamos como calcular a PIL média de uma unidade operacional de OR. É importante também entender a PIL através de uma unidade de OR para entender a incrustação de uma unidade de OR.

Figura 4. Ilustración de los factores determinantes de la presión neta de impulso



Calculando PNI para un Sistema de OI

Ahora que ya hemos cubierto PNI en general, trataremos de calcular PNI promedio de una unidad de OI. Asimismo es importante comprender PNI a través de una unidad de OI, para poder comprender la incrustación de una unidad de OI.

Continuando con los datos proporcionados en la Figura 4, podemos mostrar un verdadero cálculo para PNI. La presión aplicada del agua de alimentación es 260 psi (18 bar), la concentración del agua de alimentación (TDS) es 900 mg/L, y la temperatura del agua de alimentación es 75°F (24°C). La presión aplicada de permeado (contrapresión) es 15 psi (1 bar), la presión del concentrado es 224 psi (15.4 bar), y la concentración del concentrado (TDS) es 2,220 mg/L.

Basados en la Figura 2, la presión aplicada promedio del agua de alimentación a través de toda la membrana es 242 psi (16.7 bar). Esto se obtiene sumando las presiones del agua de alimentación y del concentrado, y luego dividiendo el resultado entre dos. La concentración promedio de sales (TDS) en el lado del agua de alimentación de la membrana es 1,560 mg/L. Esto se obtiene sumando las concentraciones del agua de alimentación y del concentrado, y luego dividiendo el resultado entre dos. La presión osmótica de 1,560 mg/L es aproximadamente 16 psi (1.1 bar). La contrapresión de permeabilidad es 15 psi (1 bar). La PNI total de la unidad se expresa a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 3:

$$\begin{aligned}
 \text{PNI} &= P_{\text{alimentación}} - P_{\text{permeado}} - P_{\text{osmótica (alimentación)}} \\
 &= 242 \text{ psi} - 15 \text{ psi} - 16 \text{ psi} \\
 &\quad (16.7 \text{ bar}) - (1 \text{ bar}) - (1.1 \text{ bar}) \\
 &= 211 \text{ psi} \\
 &\quad (14.6 \text{ bar})
 \end{aligned}$$

Em continuação aos dados fornecidos na Figura 4, podemos mostrar um cálculo real da PIL. A pressão aplicada da água de alimentação é de 260 psi (18 bar), a concentração da água de alimentação (TDS) é de 900 mg/L e a temperatura da água de alimentação é de 75 °F (24 °C). A pressão aplicada do permeado (contrapressão) é de 15 psi (1 bar), a pressão do concentrado é de 224 psi (15,4 bar), e a concentração do concentrado (TDS) é de 2.200 mg/L.

Da Figura 2, a pressão aplicada média da água de alimentação através de toda a membrana é de 242 psi (16,7 bar). Obtém-se isso somando-se as pressões da água de alimentação e do concentrado e então dividindo-se o resultado por dois. A concentração média de sal (TDS) no lado da água de alimentação da membrana é de 1.560 mg/L. Obtém-se isso somando-se as concentrações de sal da água de alimentação e do concentrado e então dividindo-se o resultado por dois. A pressão osmótica da 1.560 mg/L é de cerca de 16 psi (1,1 bar). A contrapressão do permeado é de 15 psi (1 bar). A PIL geral da unidade então fica assim:

Equação 3:

$$\begin{aligned}
 \text{PIL} &= P_{\text{alimentação}} - P_{\text{permeado}} - P_{\text{osmótica (alimentação)}} \\
 &= 242 \text{ psi} - 15 \text{ psi} - 16 \text{ psi} \\
 &\quad (16,7 \text{ bar}) - (1 \text{ bar}) - (1,1 \text{ bar}) \\
 &= 211 \text{ psi} \\
 &\quad (14,6 \text{ bar})
 \end{aligned}$$

Basados en el ejemplo anterior, podemos concluir lo siguiente:

- Si disminuye la PNI, disminuirá el flujo de permeado.
- Si aumenta la PNI, aumentará el flujo de permeado.
- Si disminuye la temperatura del agua de alimentación, se requerirá más PNI para hacer que pase una cantidad dada de agua de permeado a través de la membrana.
- Si aumenta la temperatura del agua de alimentación, se requerirá menos PNI para hacer que pase una cantidad dada de agua de permeado a través de la membrana.

Otros datos importantes con respecto a PNI son lo siguientes:

- De existir formación de escamas o incrustación biológica, se requiere una mayor PNI para sobreponer la resistencia del flujo a través del material que causa las escamas o las incrustaciones.
- Si la membrana es dañada por ataques químicos o por rasgaduras o rompimientos mecánicos, se requiere una menor PNI para hacer que pase una cantidad dada de agua de permeado a través de la membrana.
- La PNI es mayor en el primer elemento (o los primeros elementos) de la unidad de OI. PNI es menor en el último elemento (o los últimos elementos) de la unidad de OI. Esto se debe a que la presión de alimentación es mayor y la concentración de sales (contrapresión osmótica) en el primer elemento (o los primeros elementos) de una unidad de OI, y la presión de alimentación es menor y la concentración de sales es mayor en el último elemento (o los últimos elementos). Utilizaremos esta información en un artículo futuro en el cual se discutirá la incrustación versus el flujo de permeado.

Conclusión

Estos son algunos de los conceptos fundamentales que necesita comprender para poder aplicar la tecnología de ósmosis inversa de manera adecuada a cualquier proyecto que lo requiera. Otro factor del que debe estar consciente, es la forma en que la presión a nivel del mar versus la presión en la cima de una montaña, es decir, la presión absoluta, puede afectar el rendimiento del sistema. Para un repaso de dicho concepto, nuevamente consulte “Conceptos Fundamentales sobre Presión y Flujo”, 1ª y 2ª Parte, en las dos primeras ediciones de *Agua Latinoamérica*.

* Por sus siglas en inglés

Do exemplo acima podem-se tirar as seguintes conclusões:

- Se a PIL diminuir, o fluxo do permeado diminuirá.
- Se a PIL aumentar, o fluxo de permeado aumentará.
- Se a temperatura da água de alimentação diminuir, será necessária mais PIL para forçar uma determinada quantia de permeado através da membrana.
- Se a temperatura da água de alimentação aumentar, será necessária menos PIL para forçar uma determinada quantia de permeado através da membrana.

Recuperação vs. Eficiência em OR

Define-se RECUPERAÇÃO como a porcentagem da água de entrada (alimentação) que passa pela membrana e se torna água de permeado (produto). Para um sistema de OR de PDU, essa definição se baseia na medição sem o tanque de armazenamento. Em outras palavras, não há contrapressão na membrana.

Define-se EFICIÊNCIA como a porcentagem de água de entrada (alimentação) que está disponível ao usuário como água de permeado (produto) quando houver, instalado, um tanque de armazenamento pressurizado. Uma vez que a contrapressão no tanque de armazenamento varia com a quantidade de permeado no tanque, bem como a carga inicial de ar no tanque, o número de eficiência se baseia numa contrapressão que se aproxima de um padrão de uso típico.

Lembre-se de que a eficiência somente se aplica (neste caso) a sistemas que usam tanques de armazenamento com balões de ar. Esses balões de ar podem ocasionalmente precisar ser recarregados para fornecer a contrapressão exigida para levar água à torneira.

E recuperação não necessariamente significa que a relação entre água processada como água de produto e o concentrado de dejetos é a mesma para os sistemas de OR nos PDU que incluem um tanque de armazenamento para armazenar a água tratada antes de chegar à torneira. Em alguns casos, a eficiência de um sistema pode ser dramaticamente diferente da recuperação, ou seja, 1:9, 1:12 ou 1:15, em vez de 1:2, 1:3 ou 1:5.

—Peter S. Cartwright

Recuperación vs. Eficiencia de OI

RECUPERACION se define como el porcentaje de agua que entra (de alimentación), que pasa a través de la membrana y se convierte en agua de permeado (de producto). Para un sistema de ósmosis inversa de punto de uso (PDU), esta definición está basada en mediciones que no incluyen el tanque de almacenamiento. En otras palabras, no existe contrapresión sobre la membrana.

EFICIENCIA se define como el porcentaje de agua que entra (de alimentación), que está disponible al usuario como agua de permeado (de producto), al estar instalado un tanque de almacenamiento presurizado. Debido a que la contrapresión en el tanque de almacenamiento varía con la cantidad de agua de permeado en el tanque, al igual que la carga inicial de aire en el tanque, la figura de eficiencia está basada en una contrapresión que se aproxima a un patrón de uso típico.

Tome en cuenta que la eficiencia solamente se aplica (en este caso) a los sistemas que utilizan tanques de almacenamiento con vejigas de aire. Estas vejigas de aire pueden necesitar ser recargadas ocasionalmente para proporcionar la contrapresión necesaria para llevar agua a la llave.

Además, recuperación no necesariamente significa que la proporción de agua procesada como agua de producto vs. concentrado de residuos es igual para aquellos sistemas de OI de PDU que incluyen un tanque de almacenamiento para almacenar agua tratada antes de su envío a una llave. En algunos casos, la eficiencia de un sistema puede diferir dramáticamente de la recuperación, es decir, 1:9, 1:12 o 1:15 en lugar de 1:2, 1:3 o 1:5.

—Peter S. Cartwright

Reconocimientos

El autor desea agradecer al Sr. Robert Slovak, Aroman Inc., Incline Village, Nevada, y al Sr. Peter S. Cartwright, Cartwright, Olsen & Associates, Mineapolis, Minnesota, por sus opiniones y sugerencias para este artículo.

Acerca del Autor

David H. Paul es presidente, director ejecutivo y fundador de David H. Paul Inc., en Farmington, Nuevo México, EE.UU. El Sr. Paul, quien posee licenciatura y maestría en biología y microbiología, tiene más de 25 años de experiencia en la industria de tratamiento de agua, como practicante, investigador, consultor técnico, e instructor. Es autor de más de 100 artículos publicados acerca del tratamiento de membranas y ha presentado seminarios en conferencias alrededor del mundo. Sus clientes incluyen compañías de "Fortune 100" al igual que conglomerados internacionales. Los programas de tratamiento de agua en Arizona Western College y San Juan College se llevan a cabo en asociación con DHP Inc. Contacto: +1(505) 326-3431 o +1(877) 711-4347, +1(505) 327-2934 (fax), info@dhptraining.com, www.dhptraining.com

Outros fatos importantes referentes à PIL:

- Se houver formação de escamas ou incrustação, será necessária mais PIL para vencer a resistência ao fluxo através do material escamante ou incrustador.
- Se a membrana for danificada por ataque químico ou rasgos ou rupturas mecânicas, será necessária menos PIL para forçar uma determinada quantia de permeado através da membrana.
- A PIL é mais alta no(s) primeiro(s) elemento(s) de uma unidade de OR. A PIL é mais baixa no(s) último(s) elemento(s) de uma unidade de OR. Isso ocorre porque a pressão de alimentação é mais alta e a concentração de sal (contrapressão osmótica) é mais baixa no(s) primeiro(s) elemento(s) de uma unidade de OR e a pressão de alimentação é mais baixa e a concentração de sal é mais alta no(s) último(s) elemento(s). Utilizaremos essas informações num artigo futuro que discutirá a incrustação em função da velocidade de fluxo do permeado.

Conclusão.

Esses são alguns dos fundamentos que é preciso entender a fim de aplicar-se apropriadamente a tecnologia de osmose reversa a qualquer projeto a ser realizado. Outro fator que talvez seja preciso ter em mente é como a pressão ao nível do mar vs. a elevadas altitudes, ou seja, pressão absoluta, pode afetar o desempenho do sistema. Para uma revisão desse conceito, novamente, consulte "Conceitos Fundamentais sobre Pressão e Fluxo", Partes 1 e 2, nas duas primeiras edições de *Água Latinoamérica*.

** Por suas siglas em inglês.*