

## Manual básico de ósmosis inversa en la industria



El mercado de la tecnología de Ósmosis Inversa es de tendencia ascendente. A medida que se ponen en servicio más sistemas, es importante que tanto los profesionales de la calidad del agua como futuros usuarios amplíen su comprensión de esta tecnología. Es por ello, que hemos decidido publicar este manual básico de ósmosis inversa en la industria.

La tecnología de ósmosis inversa es un campo amplio con muchas aplicaciones del mundo real. Las calderas de vapor que usan RO para el agua de compensación obtienen ahorros de energía al reducir la frecuencia de purga, lo que a su vez reduce los costos de los químicos. A lo largo de los años, los sistemas de desionización de lecho separado han sido reemplazados por sistemas de RO, lo que elimina la gestión en el sitio de sustancias químicas ácidas y cáusticas. La ósmosis inversa se ha convertido en un elemento común en restaurantes, laboratorios, hospitales y en una amplia gama de instalaciones de fabricación.

Esta información puede aplicarse en general a todos los sistemas de ósmosis inversa, si bien en cierto pueden acontecer casos en los que nos encontremos con aguas más problemáticas con sus especiales características como contener otras impurezas, como altos niveles de compuestos orgánicos, hierro, manganeso, sulfuro de hidrógeno y otros constituyentes que pueden afectar el rendimiento y la vida de la membrana RO, pero no es alcance de este documento.

RO (Reverse Osmosis) u Ósmosis Inversa es un proceso en el que el agua se alimenta a una membrana semipermeable. En la superficie de la membrana, el agua se separa de su contenido casi total de minerales disueltos. En este punto del proceso, el agua purificada, al pasar a través de la membrana, se captura y se convierte en agua permeada (también conocida como agua producida) y las aguas de rechazo o concentrado se envían al drenaje e incluso parte del mismo, por razones de diseño, pueden recircularse a la aspiración de la bomba de alta presión.

Los Sólidos disueltos totales (TDS) que se encuentran a menudo en el agua consisten principalmente en cationes de calcio, magnesio, sodio y potasio, junto con aniones de cloruro, sulfato, silicato y bicarbonato. También están presentes en el agua pequeñas cantidades de material orgánico, tierra, arcilla, limo, partículas minerales y microbios, junto con múltiples cationes y aniones. También elementos en trazas pueden ser hierro, estroncio, bario, nitrato, plomo, cobre, fluoruro, manganeso y la lista continúa. Un análisis exhaustivo del agua es el mejor comienzo para cualquier proyecto de RO y también sirve como una herramienta útil para diagnosticar problemas con los sistemas que están actualmente en funcionamiento. Ayuda a garantizar que el

pretratamiento se dimensione y se seleccione correctamente y ayuda a establecer pautas para las tasas de permeado y la recuperación general del sistema.

## Pretratamiento

El tratamiento previo para la mayoría de los sistemas de RO se puede dividir en cuatro tipos:

### 1) Control de sedimentos

El prefiltro en sí mismo en un sistema de RO ensamblado en fábrica no debe ser considerado como el único control de sedimentos para el sistema. Se prefiere un filtro de sedimentos de lavado a contracorriente de tipo antracita o zeolita como la primera pieza del equipo en la línea de pretratamiento y también sirve como protección para otras tecnologías de pretratamiento donde hay más sedimentos presentes. Idealmente, el método de control de sedimentos debería seleccionarse para garantizar un valor de índice de densidad de limo (SDI)  $\leq 3$ . SDI. Si no se aborda, los valores de SDI  $> 3$  pueden causar un tapón prematuro de la membrana. El sistema de RO debe bloquearse cuando el filtro de sedimentos se lava a contracorriente para que no haya sedimentos o no haya valores altos de SDI en el agua de alimentación de RO.

### 2) Decloración

Por lo general, se realiza con carbón activado dimensionado a 3.7 gpm (galones por minuto) por pie cúbico de flujo de servicio de carbono. El filtro de carbón debe dimensionarse para satisfacer la demanda del caudal de alimentación del sistema RO, no la tasa de permeado. La velocidad de flujo de alimentación siempre será mayor que la velocidad de permeado. El carbón activado también reduce los compuestos orgánicos; sin embargo, se requieren caudales mucho más bajos para lograr una reducción orgánica. RO debe bloquearse cuando el filtro de carbón se lava a contracorriente para que el agua clorada no dañe las membranas de RO.

La inyección química de metabisulfito de sodio también se puede usar para la decloración, inyectada en la práctica a 3 ppm (partes por millón) por cada ppm de cloro libre. Los filtros de sedimento y carbón deben programarse para retrolavarse en diferentes momentos. Esto asegurará que haya disponible un amplio volumen de agua y presión para el lavado a contracorriente de cada filtro. El bloqueo de la RO, para que no pueda funcionar mientras los filtros de sedimento y carbón están en contralavado, garantiza que la bomba de RO no cavitara si estos filtros no tienen una función de bypass automático. Si los filtros tienen una función de bypass automático, entonces el sistema RO debería apagarse independientemente para evitar daños a la membrana por el cloro y los sedimentos.

### 3) Control de incrustación (scaling)

Esto es más comúnmente realizado por los descalcificadores de agua tradicionales. El descalcificador debe ser un sistema doble alternativo, a menos que la demanda de agua de alimentación del RO sea baja, la dureza del agua sea baja, que exista un almacenamiento adecuado de permeado y que el descalcificador pueda bloquear el RO durante la regeneración. La inyección de productos químicos antiscalantes en lugar de descalcificar o ablandar el agua es también un medio popular de control de incrustación. Un análisis de minerales es especialmente importante cuando se usan agentes antiincrustantes químicos porque todos los minerales y metales aún están en el agua de alimentación. Por lo tanto, la recuperación del sistema dependerá de los niveles de estos constituyentes y del rendimiento del químico antiscalante. Sin algún tipo de control de incrustación, una membrana de RO podría incrustarse en cuestión de horas, dependiendo de la química del agua de alimentación y la recuperación del sistema.

#### 4) Control biológico

Un esterilizador ultravioleta (UV), que produce radiación germicida UV de 254 nanómetros y dosis a 30,000 microwatt segundos por cm<sup>2</sup>, es una buena defensa contra los microbios generales. Los microbios pueden formar biopelículas en la superficie de la membrana, lo que reduce la producción de permeado. El sistema UV debe ser prefiltrado con un filtro de cartucho de 5 micrones para maximizar la transmisión de UV en el agua. Si se emplea un descalcificador de agua tradicional como método de control de incrustación para el sistema de RO, entonces el esterilizador UV recibirá el beneficio adicional de la formación de incrustaciones reducidas en la lámpara de cuarzo del UV donde tenemos mayor temperatura, menor solubilidad de sales disueltas. Esto mejorará la transmisión de UV al agua y reducirá los intervalos de limpieza de la camisa de cuarzo, por lo que el sistema UV debe instalarse después del descalcificador de agua. Si se está utilizando un químico antisalante, en lugar del descalcificador de agua tradicional para el control de la incrustación de la membrana, consulte con el fabricante del antincrustante para confirmar que el sistema UV no tendrá un efecto adverso en el rendimiento del químico utilizado.

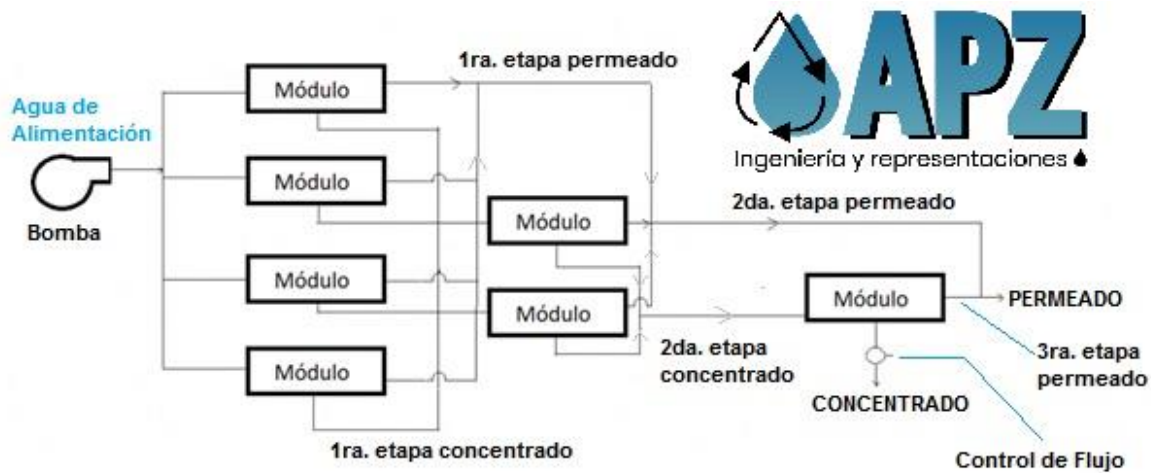
#### Recuperación porcentual

Se pone mucho énfasis en el porcentaje de recuperación en el que opera el RO. Si se alimenta una RO de 1.000 litros/hora y se envía 500 l/h para drenar (rechazar) y 500 l/h al tanque de agua permeada, esto se conoce como recuperación del 50 por ciento. El porcentaje de recuperación de un RO se puede calcular por:

Permeado (unidades de caudal, ej. Litros/hora) / Alimentación (unidades de caudal, ej. Litros/hora) x 100 = % de recuperación

Si una RO está produciendo un permeado de 6.500 l/h y un rechazo de 3.500 l/h (6.500 + 3.500 = 10.000), entonces el flujo de alimentación es de 10.000 l/h. Por lo tanto, la recuperación es 6.500 / 10.000 x 100 = 65%. La recuperación es importante porque todas las sales disueltas en el agua tienen una limitación en cuanto a qué tan alto pueden concentrarse en las membranas y permanecer disueltas. La química del agua en un sistema de RO cambia desde el extremo de alimentación de la membrana hasta el extremo de rechazo. **Las aguas residuales de un sistema de RO tienen un TDS más alto que el agua de alimentación del sistema.** La diferencia en el TDS entre el agua de alimentación y el agua de drenaje está directamente relacionada con la tasa de recuperación en la que opera la RO.

Por ejemplo, si se suministra agua a una RO con un TDS de 500 ppm y está operando a una recuperación del 50 por ciento, el flujo de desechos tendrá un TDS de 1,000 ppm. Esto es atendiendo al factor de concentración definido como  $F = 1/(1-R)$ , en este caso  $1/(1-0,5) = 2$ . Con una recuperación del 60 por ciento, el TDS de aguas residuales será de 1,250;  $F=1/(1-0,6)=2,5$ ;  $1,250 = 2,5 \times 500$  ppm y 2,000 ppm con una recuperación del 75 por ciento;  $F=1/(1-0,75)=4$ ;  $2.000 = 4 \times 500$  ppm. Un sistema de RO tendrá una mayor probabilidad de cometer fallas o incrustación a altas tasas de recuperación. A medida que aumenta el TDS del agua en las membranas, los minerales menos solubles comenzarán a formar escamas de minerales precipitados en la superficie de la membrana.



La figura muestra una trayectoria de flujo típica a través de un sistema de RO comercial en varias etapas. Este tipo particular de configuración se conoce como una matriz 4: 2: 1. Una bomba de alta presión alimenta las primeras cuatro carcadas de membrana en paralelo. El agua residual de estos cuatro alojamientos de membrana proporciona el agua de alimentación para la segunda etapa, que consiste en dos alojamientos de membrana alimentados en paralelo. El agua residual generada por estos dos alojamientos de membrana de la segunda etapa proporciona el agua de alimentación a la última o tercera etapa. El agua rechazada que sale de la membrana de la tercera etapa tiene el TDS más alto. Debido a que la (s) membrana (s) en la tercera etapa final están sujetas a la mayor cantidad de agua con TDS, es más probable que se incrusten primero y es la más rápida de incrustarse en caso de que el tratamiento previo, ya sea un descalcificador o un agente químico antiincrustante deja de funcionar o no se mantiene adecuadamente.

En un sistema de RO bien diseñado, cada membrana convierte un máximo del **15 por ciento** del agua que se alimenta en el permeado. El otro 85 por ciento se convierte en el agua de reposición de la siguiente membrana o, si no hay otras membranas presentes, se envía una parte del agua para drenar, mientras que la parte restante se devuelve al lado de succión de la bomba de alimentación. Reciclar una parte de las aguas residuales y volver a introducirla nuevamente en el lado de succión de la bomba de alimentación es un concepto conocido como reciclaje o recirculación interna de rechazo. Esto ahorra una gran cantidad de agua, pero aumenta el TDS del agua de alimentación a la membrana porque el agua de alimentación cruda ahora se está mezclando con aguas rechazadas de TDS más altas.

### Porcentaje de rechazo iónico

Al confirmar el rechazo iónico de una membrana, recuerde que el TDS del agua de alimentación no es el TDS del agua proveniente del descalcificador y del filtro de carbón activo, sino el TDS del agua después de la mezcla del rechazo reciclado con el agua de alimentación. Dependiendo del diseño del sistema, un sistema de RO de membrana única que se alimenta con agua de TDS de 500 ppm que funciona con una recuperación del 50 por ciento con reciclaje de rechazo podría tener un TDS de agua de alimentación de membrana mezclada de 750 ppm. Para calcular el rechazo iónico de una membrana, siga esta fórmula:

**[\(Agua de alimentación de membrana TDS – TDS de agua permeada\) / Agua de alimentación de membrana TDS x 100 =% de rechazo iónico](#)**

Cuando compruebe el porcentaje de rechazo iónico de una membrana con respecto a la hoja de datos del producto de la membrana, recuerde que las pruebas de los fabricantes de membranas se realizan bajo parámetros muy específicos o condiciones estándar: El pH, la temperatura, la presión del agua de alimentación, el TDS del agua de alimentación y el tipo de iones (generalmente cloruro de sodio) generalmente se anotan siempre en la hoja de datos del producto porque cada uno de estos afecta el rechazo iónico. Diferentes iones tienen diferentes valores de rechazo.

El pH afecta el rechazo iónico de muchos iones.

La temperatura, la presión del agua de alimentación y el TDS afectan la velocidad de flujo o gpd por pie cuadrado del material de membrana de una membrana.

Por ejemplo, puede observar que un sistema de RO hace que el agua del TDS sea menor con una presión de alimentación más alta en la membrana que con las presiones de agua de alimentación más bajas. Esto se debe a que la tasa de migración de la sal iónica a través de una membrana es bastante constante; sin embargo, la mayor presión del agua de alimentación a la membrana hace que se cree más agua purificada, lo que diluye los iones inevitables en el permeado a un nivel más bajo, lo que causa un TDS total de permeado inferior. Esto tiene un impacto directo en el porcentaje de rechazo iónico de una membrana, por lo que los fabricantes de membranas han establecido condiciones de prueba estándar para eliminar estas variables.

### Tasas de flujo, el famoso “flux” (GFD o l/mh)

La tasa de flujo de una membrana de RO es la cantidad de agua permeada que produce la membrana por pie cuadrado de material de membrana por día (generalmente expresada como gfd o galones por pie cuadrado por día). Por ejemplo, las membranas comunes de 4 x 40 tienen una superficie total de pies cuadrados de 87 pies cuadrados. Por lo general, se clasifican como membranas de 1,800 gpd. Para calcular la tasa de flujo gfd de esta membrana, divida los galones por día por la cantidad cuadrada:  $1,800 / 87 = 20$ . Para pasar de GFD a l/mh, multiplique por 1,7.

Imagine que esta membrana está siendo operada a 20 gfd o 34 l/mh. Las tasas de flujo de la membrana están limitadas por el SDI del agua de alimentación. SDI es la característica de taponamiento del filtro del agua debido a los sedimentos microfinos. Todas las aguas tienen diferentes SDI. El agua de pozo por lo general tiene menores SDI y las aguas superficiales por lo general tienen más alta, pero no siempre. Un agua permeada tiene una SDI extremadamente baja. Una SDI de uno es mejor que una SDI de tres. Por encima de un DSDI de tres, es más probable que se produzcan incrustaciones de partículas en las membranas a altas tasas de flujo. Si eso sucede, reduzca la velocidad de flujo de la RO a 16-17 GFD, disminuyendo la presión del agua de alimentación a la (s) membrana (s) y produciendo menos permeado. En un sistema de RO comercial de múltiples etapas, como el descrito en la figura anterior, no todas las membranas producen la misma cantidad de agua permeada.

La presión del agua de alimentación a las membranas es más alta en la primera etapa, más baja en la segunda etapa y más baja en la tercera etapa final. Esto se debe a que en cada etapa se produce una pérdida de presión de alimentación de la membrana. El TDS del agua de alimentación de membrana en la primera etapa es más bajo que el TDS del agua de alimentación de membrana en la segunda y tercera etapas porque la segunda etapa se alimenta con agua rechazada de la primera etapa y la tercera etapa se alimenta con agua de rechazo desde la segunda etapa escenario. Estas dos características operativas de los sistemas de RO de múltiples etapas dan como resultado membranas de la primera etapa que funcionan a una tasa de flujo más alta que las segundas dos etapas. Dependiendo del diseño del sistema, las incrustaciones de partículas pueden desarrollarse en las membranas de la primera etapa antes de la segunda y la tercera debido a la mayor tasa de flujo.

### Autopsia de membrana

Las membranas se pueden limpiar siguiendo las pautas de los fabricantes de productos químicos de limpieza o de membrana. Como regla general, si las membranas requieren hasta un 15 por ciento más de presión de alimentación para producir la misma cantidad de permeado que cuando eran nuevas o hasta un 15 por ciento menos de permeado a la misma presión de alimentación y temperatura que cuando estaban nuevos, se pueden limpiar. Ignorar estos porcentajes de referencia puede significar que las membranas pueden no responder bien a la limpieza.

La **autopsia de una membrana** es útil para determinar qué está causando problemas de incrustaciones. Sigo un procedimiento simple que puede ser muy revelador. Comience por hacer un corte superficial en la envoltura exterior de la membrana de arriba a abajo. Retire la cinta o la envoltura de fibra de vidrio. De nuevo, haga un corte superficial de arriba a abajo, esta vez a través de la primera capa de la membrana. La membrana ahora debería desenrollarse como un rollo de toallas de papel. Mira lo que está en la superficie de la membrana. En este punto, dados los resultados del análisis del agua, puede comenzar a sacar algunas conclusiones. El rojo puede indicar la presencia de hierro o arcilla, o ambos. Gris a negro podría indicar manganeso (gris también podría significar limo). Fino, polvo suelto podría ser limo. La arena dura (con una textura apelmazada, parecida al papel de lija) es escama. Secar una sección de la membrana con la incrustación, raspar una muestra y poner ácido clorhídrico en ella. Si hace espuma, posiblemente sea algún tipo de carbonato de calcio o magnesio; esto podría significar que el ablandador o el producto químico de tratamiento previo antical no funciona correctamente.

Si la incrustación se parece a los cristales de azúcar y no hace espuma cuando se aplica ácido clorhídrico, puede ser basada en sulfato de calcio. Todavía se requiere calcio para hacer esta forma de incrustación, por lo que el descalcificador aún podría ser el problema. Recolecte más de esta incrustación y empápele durante la noche en una pequeña cantidad de agua desionizada. Al día siguiente, realice una prueba de dureza en el agua desionizada que tenía la escala empapada para ver si el contenido de dureza se elevó por encima del nivel original del agua desionizada. Esto indica y confirma que la incrustación de dureza está presente. ¿Está la membrana viscosa? Deje que la membrana se caliente a temperatura ambiente y huelo. ¿Tiene un olor a pescado? El ensuciamiento microbiológico podría ser el problema.

Con cada una de estas pruebas, repase el tratamiento previo responsable de abordar ese problema. ¿Está funcionando correctamente? ¿es el tamaño adecuado? Luego puede hacer los ajustes adecuados o agregar el componente que podría faltar. Identificar la naturaleza del ensuciamiento también ayudará a seleccionar el producto de limpieza adecuado para las membranas. **No se trata de limpiar por limpiar...existe una causa y un orden a seguir.**

[Mayor información ¡contáctenos!](#)