



Aquaporin Inside®

Elementos de Membrana de Ósmosis Inversa Industrial

Manual Técnico

Índice

1	Introducción	3	4	Manipulación, Almacenamiento y Preservación	17
2	Operación del Sistema	4	4.1	Introducción	17
2.1	Introducción	4	4.2	Manipulación y Almacenamiento de Nuevas Membranas	17
2.2	Calidad del Agua de Alimentación y Pretratamiento	4	4.3	Almacenamiento de Membranas Usadas	18
2.2.1	Pautas Importantes para Parámetros de Alimentación	4	4.4	Paradas de Corto Plazo del Sistema de OI	18
2.2.2	Prevención de la Incrustación	5	4.5	Paradas de Largo Plazo del Sistema de OI	18
2.2.3	Prevención de la Incrustación Coloidal	5	4.6	Desechado de Membranas Usadas	19
2.2.4	Prevención de la Incrustación Biológica	5	5	Solución de Problemas	20
2.2.5	Prevención de la Incrustación Orgánica	5	5.1	Introducción	20
2.2.6	Prevención de la Degradación Prematura de la Membrana	5	5.2	Evaluación del Sistema	20
2.3	Diseño del Sistema de OI	7	5.2.1	Calibración de Instrumentos	20
2.4	Carga de Elementos	7	5.2.2	Inspección Visual	21
2.4.1	Preparación del Tubo de Presión	7	5.2.3	Localización del Alto Paso de Sales	21
2.4.2	Carga de los Elementos de OI	7	5.2.4	Evaluación de los Elementos de Membrana	21
2.5	Puesta en Marcha y Parada del Sistema	8	5.2.5	Indicadores, Causas y Medidas Correctivas para la Pérdida de Rendimiento	22
2.5.1	Arranque del Sistema	8	6	Aviso y Exención de Responsabilidad	23
2.5.2	Procedimientos de Puesta en Marcha Regular	9	7	Apéndice	24
2.5.3	Consideraciones para la Parada del Sistema	9			
2.6	Monitoreo de la Operación del Sistema	9			
2.7	Normalización de Datos	11			
2.7.1	Tasa de Flujo de Permeado Normalizado	11			
2.7.2	Presión de Impulso Neta	11			
2.7.3	Factor de Corrección de Temperatura	11			
2.7.4	Presión Osmótica Promedio	11			
2.7.5	Promedio de Concentración de Alimentación-Concentrado	11			
2.7.6	Paso de Sal	11			
2.7.7	Sólidos Disueltos Totales (TDS) del Permeado Normalizado	11			
2.8	Precauciones Durante la Operación del Sistema	12			
3	Limpieza	13			
3.1	Introducción	13			
3.2	Protocolo CIP Recomendado para Membranas	14			
3.3	Productos Químicos de Limpieza	15			
3.4	Precauciones de Seguridad Durante el Proceso de Limpieza	16			

1

Introducción

Las membranas de ósmosis inversa (OI) se utilizan comúnmente en sistemas de ingeniería para la concentración o purificación de corrientes de productos, tratamiento y reciclaje de aguas residuales y desalación. Los elementos de membrana industrial Aquaporin Inside® OI (*Aquaporin Inside® Industrial RO Membrane Elements*) son elementos de membrana biomiméticos que incorporan proteínas funcionales de aquaporina. Las aquaporinas son proteínas de canales de agua que se encuentran en todos los organismos vivos, desde plantas hasta humanos, donde son las responsables del rápido transporte de agua a través de las membranas celulares. Las membranas Aquaporin Inside® aprovechan la capacidad natural de transporte selectivo de estas moléculas imitando las membranas celulares incrustando aquaporinas estabilizadas.

El adecuado manejo, operación y mantenimiento de los elementos de membrana industrial Aquaporin Inside® OI y los sistemas en los que están instalados son factores clave para maximizar la disponibilidad y eficiencia a largo plazo del sistema. Estos factores clave deben considerarse desde la fase de diseño y durante toda la fabricación, construcción y puesta en marcha del sistema. Del mismo modo, las membranas de OI requieren un cuidado especializado para mantener su rendimiento a largo plazo.

Este manual de uso cubre las pautas esenciales para el manejo y almacenamiento, operación, mantenimiento y solución de problemas de los elementos de membrana industrial Aquaporin Inside® OI, con el objetivo de maximizar la eficiencia de la membrana y facilitar la operación exitosa del sistema de membrana OI.

2

Operación del Sistema

2.1 Introducción

Para el rendimiento exitoso a largo plazo de un sistema de membranas de OI, se deben seguir los procedimientos adecuados antes, durante y después de la operación del sistema. Éstos incluyen el control de la calidad del agua de alimentación, el diseño de los parámetros de operación del sistema, la carga de elementos, la puesta en marcha y la parada del sistema de OI, entre otros aspectos. Prevenir la incrustación, la obstrucción y la degradación de la membrana debe ser la máxima prioridad al diseñar el sistema, así como en la puesta en marcha y la operación.

Esta sección ofrece las pautas recomendadas para los procedimientos de operación del sistema y las precauciones para facilitar un buen rendimiento a largo plazo del sistema de membranas y los elementos de membrana.

Dado que las especificaciones y los rangos operativos varían para cada modelo específico, consulte también la hoja de datos de su modelo al estudiar los contenidos y pautas en este manual.

2.2 Calidad del Agua de Alimentación y Pretratamiento

La vida útil y eficiencia de los elementos de ósmosis inversa (OI) dependen en gran medida de un pretratamiento adecuado y efectivo del agua de alimentación. Los pasos de pretratamiento incluyen procesos que evitan o minimizan la incrustación, la obstrucción, la degradación y el daño de la membrana. Los pasos necesarios y adecuados de pretratamiento están determinados en gran medida por la fuente de agua de alimentación, la composición del agua de alimentación y la aplicación. A continuación, se ofrece una visión general de los parámetros importantes del

agua de alimentación, los contaminantes comunes y las sales escasamente solubles que forman incrustaciones, así como los pasos necesarios para prevenir la falla prematura de la membrana.

2.2.1 Pautas Importantes para Parámetros de Alimentación

- La turbidez expresa el grado de opacidad del agua de alimentación y es un indicador de su potencial de obstrucción. Se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). La turbidez máxima permitida del agua de alimentación es de 1 NTU.
- El índice de atascamiento (SDI), también conocido como índice de obstrucción (FI), es otro indicador del potencial de obstrucción del agua de alimentación. Se mide por la tasa de taponamiento de un filtro definido durante un período de tiempo definido a una presión definida. El SDI a 15 minutos máximo permitido del agua de alimentación es de 5.
- El aceite y la grasa pueden adsorberse en la superficie de la membrana de OI si están presentes en el agua de alimentación. Los efectos perjudiciales del aceite y la grasa en las membranas de OI dependen de la naturaleza química de estas sustancias orgánicas (saturadas, insaturadas, aromáticas o alifáticas) y también dependen en gran medida de la existencia de grupos funcionales. La concentración máxima permitida de aceite y grasa es de 0,1 mg/L.
- El carbono orgánico total (TOC) y la demanda química de oxígeno (COD) son dos parámetros utilizados para cuantificar la carga orgánica en el agua de alimentación. Un alto contenido orgánico llevará a un aumento de la obstrucción biológica y orgánica de las membranas de OI. El TOC máximo permitido del agua de alimentación es de 3 mg/L. El COD máximo permitido es de 10 mg/L.
- El cloro libre es un agente oxidante fuerte y causa daño irreversible a las membranas de OI. El cloro

libre puede monitorearse utilizando el potencial de oxidación-reducción (ORP). El ORP a pH neutro no debe exceder 300 mV. La concentración máxima permitida de cloro libre es de 0,1 mg/L.

- El aluminio, el manganeso y el hierro férrico pueden causar obstrucción severa en la membrana de OI. La concentración máxima permitida de aluminio, manganeso y hierro férrico es de 0,05 mg/L, respectivamente.

2.2.2 Prevención de la Incrustación

La precipitación en las membranas de OI puede ocurrir si las sales se concentran más allá de su límite de solubilidad. La prevención de la incrustación se puede lograr mediante la adición de ácido, la adición de antiincrustante, el ablandamiento, la limpieza preventiva o el ajuste de los parámetros operativos.

1. La adición de ácido desplaza el equilibrio de las sales, como CaCO_3 , hacia su forma disuelta al reducir el valor de pH. Los ácidos comúnmente utilizados incluyen ácido sulfúrico y ácido clorhídrico. La adición de ácido solo mitiga la incrustación de carbonatos.
2. La adición de antiincrustante mitiga o desacelera la precipitación de sales de solubilidad limitada al prevenir la formación de cristales. Los antiincrustantes comúnmente utilizados incluyen hexametáfosfato de sodio, organofosforados, ácidos poliacrílicos y otros productos comerciales combinados.
3. El ablandamiento elimina los cationes formadores de incrustaciones, como Ca^{2+} o Mg^{2+} , al intercambiarlos principalmente con cationes Na^+ .
4. La limpieza preventiva se puede realizar mediante un simple enjuague con flujo hacia adelante a baja presión o utilizando productos químicos de limpieza.
5. El ajuste de los parámetros operativos puede ayudar a evitar la precipitación de sales de solubilidad limitada al asegurarse de que se mantengan por debajo de sus límites de solubilidad. Esto se puede lograr reduciendo la recuperación del sistema, aumentando la tasa de flujo cruzado del elemento, aumentando la temperatura del agua de alimentación o ajustando el pH del agua de alimentación, dependiendo de la sal.

2.2.3 Prevención de la Incrustación Coloidal

La incrustación coloidal de los elementos de OI puede ocurrir cuando hay materia suspendida o coloidal presente en el sistema. La prevención de la incrustación coloidal se puede lograr mediante filtración con medios filtrantes, filtración por oxidación, microfiltración o ultrafiltración.

1. La filtración con medios filtrantes elimina partículas suspendidas o coloidales depositándolas en la

superficie de los granos del medio filtrante. Los medios filtrantes comúnmente utilizados incluyen arena y antracita.

2. La filtración por oxidación oxida iones, como el hierro divalente o el manganeso, que luego forman hidróxidos coloidales insolubles. Estos se eliminan mediante filtración con medios filtrantes. Los agentes oxidantes comúnmente utilizados incluyen oxígeno o aire.
3. Las membranas de microfiltración y ultrafiltración eliminan la mayoría de la materia suspendida, dependiendo de sus tamaños de poro. La microfiltración con cartucho suele ser el último paso en un sistema de pretratamiento y tiene como objetivo proteger la membrana de OI y la bomba de alta presión de los sólidos suspendidos.

2.2.4 Prevención de la Incrustación Biológica

La incrustación biológica de los elementos de OI puede ocurrir si hay microorganismos, como bacterias, algas, hongos o virus, presentes en el agua de alimentación y forman una biopelícula en la superficie de la membrana. Los microorganismos pueden considerarse materia coloidal y pueden eliminarse como se explicó anteriormente. Sin embargo, a diferencia de la materia no viva, los microorganismos pueden reproducirse si ocurren pequeñas fugas durante el pretratamiento. La prevención de la incrustación biológica se puede lograr mediante la cloración, que inactiva los microorganismos (desinfección). Después de la desinfección, el cloro libre residual debe eliminarse completamente antes de que llegue a la membrana de OI. Los procesos de dechloración se pueden encontrar en la sección de prevención de la degradación de la membrana. En algunos casos, se utilizan biocidas no oxidantes para la prevención de la incrustación biológica.

2.2.5 Prevención de la Incrustación Orgánica

La incrustación orgánica de los elementos de OI puede ocurrir cuando sustancias orgánicas, como sustancias húmicas, proteínas, azúcares, aceites y grasas, se adsorben en la superficie de la membrana. La prevención de la incrustación orgánica se puede lograr mediante la coagulación, ultrafiltración o carbón activado.

2.2.6 Prevención de la Degradación Prematura de la Membrana

La degradación prematura de los elementos de OI puede ocurrir debido a agentes oxidantes (incluido el cloro libre agregado durante el pretratamiento) presentes en el agua de alimentación. La prevención de la degradación prematura de la membrana se puede lograr mediante la prefiltración con carbón activado o la reducción química de los oxidantes mediante la dosificación de agentes reductores, como el metabisulfito de sodio.

Tabla 1: Recomendaciones de límites de diseño y pautas para el sistema.

	Fuente de Alimentación					
	Permeado de OI	Agua de pozo	Municipal (Agua Potable)	Aguas Superficiales	Aguas Superficiales Salobres	Agua residual (efluente secundario)
SDI del Agua de Alimentación (-)	<1	<3	<3	<5	<5	<3
Recuperación Máxima por Elemento (%)	30	19	17	15	15	13
Flujo Máximo por Elemento (GPD)	28	23	20	18	18	16
Flujo Máximo por Elemento (LMH)	48	39	34	31	31	27
Flujo de Diseño Típico del Sistema (GPD)	22	18	16	14	14	12
Flujo de Diseño Típico del Sistema (LMH)	37	30	27	24	24	21
Tipo de Elemento	Tasa Máxima de Flujo de Permeado por Elemento en GPD (m ³ /h)					
4040	2400 (0.38)	2000 (0.32)	1700 (0.27)	1500 (0.24)	1500 (0.24)	1400 (0.22)
4040XL	2600 (0.41)	2100 (0.33)	1800 (0.28)	1600 (0.25)	1600 (0.25)	1500 (0.24)
8040-400	11200 (1.77)	9200 (1.45)	8000 (1.26)	7200 (1.14)	7200 (1.14)	6400 (1.01)
8040-440	12400 (1.96)	10200 (1.61)	8800 (1.39)	8000 (1.26)	8000 (1.26)	7100 (1.12)
Tipo de Elemento	Tasa Máxima de Flujo de Alimentación por Elemento en GPM (m ³ /h)					
4040	16 (3.6)	16 (3.6)	15 (3.4)	14 (3.2)	14 (3.2)	13 (3.0)
4040XL	16 (3.6)	16 (3.6)	15 (3.4)	14 (3.2)	14 (3.2)	13 (3.0)
8040-400	75 (17)	75 (17)	73 (17)	67 (15)	67 (15)	61 (14)
8040-440	75 (17)	75 (17)	73 (17)	67 (15)	67 (15)	61 (14)
Tipo de Elemento	Tasa Mínima de Flujo de Concentrado por Elemento en GPM (m ³ /h)					
4040	2 (0.5)	3 (0.7)	3 (0.7)	4 (0.9)	4 (0.9)	5 (1.1)
4040XL	2 (0.5)	3 (0.7)	3 (0.7)	4 (0.9)	4 (0.9)	5 (1.1)
8040-400	10 (2.3)	13 (3.0)	13 (3.0)	15 (3.4)	15 (3.4)	18 (4.1)
8040-440	10 (2.3)	13 (3.0)	13 (3.0)	15 (3.4)	15 (3.4)	18 (4.1)

Nota importante: Consulte al proveedor de productos químicos antes de determinar la tasa de dosificación y la concentración de cualquier producto químico. La sobredosificación puede generar efectos adversos, incluyendo incrustaciones, obstrucciones y degradación de la membrana. Para instrucciones de limpieza, consulte la sección “Limpieza” (Sección 3).

2.3 Diseño del Sistema de OI

La fuente y calidad del agua de alimentación tienen un impacto significativo en el diseño del sistema de OI debido a su tendencia a causar obstrucción e incrustación. Por ejemplo, el agua de alimentación de alta calidad, como el permeado de OI con un SDI inferior a 1, tiene un potencial de obstrucción significativamente menor que el agua superficial con un SDI de 5. Por lo tanto, el flujo típico promedio para el cual se diseña un sistema depende en gran medida de la fuente de agua. Otros parámetros importantes que deben tenerse en cuenta en el diseño del sistema incluyen la tasa máxima de recuperación, la tasa máxima de flujo de permeado, la tasa máxima de flujo de alimentación y la tasa mínima de flujo de concentrado por elemento. La **Tabla 1** enumera los límites de diseño del sistema recomendados y las pautas como funciones de la calidad de la fuente de agua de alimentación.

2.4 Carga de Elementos

2.4.1 Preparación del Tubo de Presión

Para evitar que el polvo, los escombros u otras materias dañen la membrana de OI, los tubos de presión deben limpiarse a fondo antes de cargar las membranas de OI. El enjuague con agua dulce no es suficiente para limpiar el tubo de presión. Se recomienda usar una bola de esponja envuelta en un paño o toalla y empapada en una solución de glicerina al 50%. La bola de esponja se puede sujetar a una cuerda y empujar o tirar a través del tubo de presión. Asegúrese de que el interior del tubo de presión no se raye o dañe durante la limpieza. Asegúrese de que las tapas de ambos extremos también se laven a fondo.

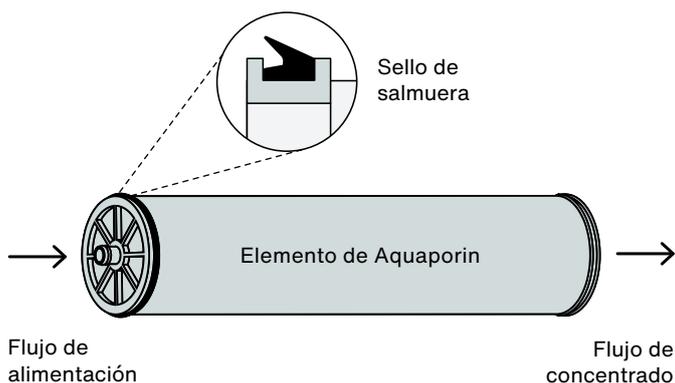


Figura 1: Orientación del sello de salmuera.

2.4.2 Carga de los Elementos de OI

Se deben seguir los siguientes pasos al cargar las membranas de OI:

1. Las membranas de OI se cargan con el sello de salmuera orientado hacia la dirección de la corriente ascendente (**Figura 1**). Es una buena práctica cargar las membranas desde el lado de alimentación, de modo que el primer elemento cargado sea el elemento de cola y el último elemento cargado sea el primer elemento. Durante el proceso, se recomienda mantener las membranas de OI en sus bolsas de plástico hasta que se carguen. Asegúrese de mantener un registro de carga del número de serie de cada elemento, la ubicación del tubo de presión y la posición.
2. Inserte suavemente el primer elemento en dos tercios de su longitud dentro del tubo de presión (**Figura 2**). Lubrique el sello de salmuera a fondo usando lubricantes a base de glicerina o silicona. Asegúrese de que el sello de salmuera se asiente correctamente en la ranura del sello en el dispositivo anti-telescópico.
3. Lubrique las juntas tóricas del conector y deslice el conector en el tubo de permeado del elemento de cola (**Figura 3**). Levante el siguiente elemento e instale el extremo de arrastre en el conector mientras sostiene el elemento anterior en su lugar (**Figura 4**).
4. Empuje los elementos en el tubo de presión hasta que dos tercios del elemento de arrastre estén insertados.
5. Repita los pasos anteriores hasta que todos los elementos estén cargados.
6. Una vez que se haya cargado el último elemento, asegúrese de que el elemento de cola se conecte completamente con el adaptador de permeado de la placa terminal en el lado de salmuera del tubo de presión.
7. Si está disponible, asegúrese de que se instalen conos de soporte de empuje entre la tapa del extremo del tubo de presión y el último elemento para soportarlo en caso de telescopado.
8. Las dimensiones del tubo de presión pueden variar entre los distintos fabricantes debido a diferentes tolerancias y para tener en cuenta las diferencias en las longitudes de las membranas de OI. Por lo tanto, se recomienda agregar calzos en el extremo de

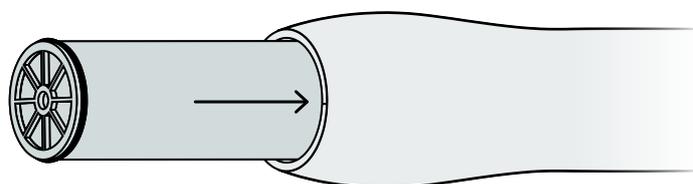


Figura 2: Inserción del primer elemento de OI.

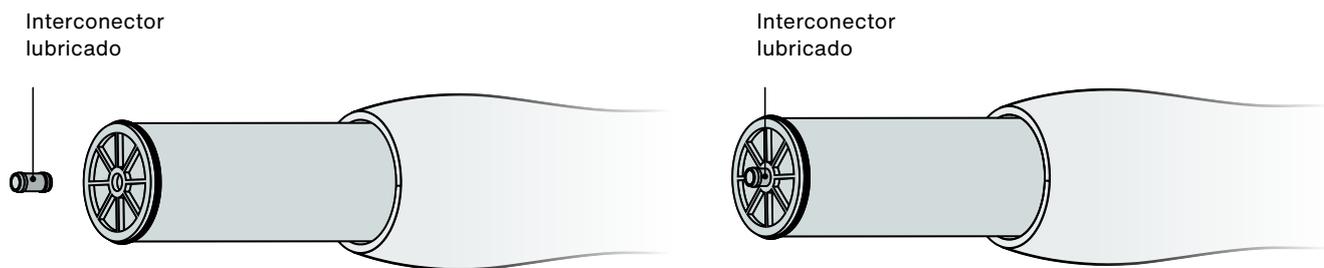


Figura 3: Instalación del interconector lubricado.

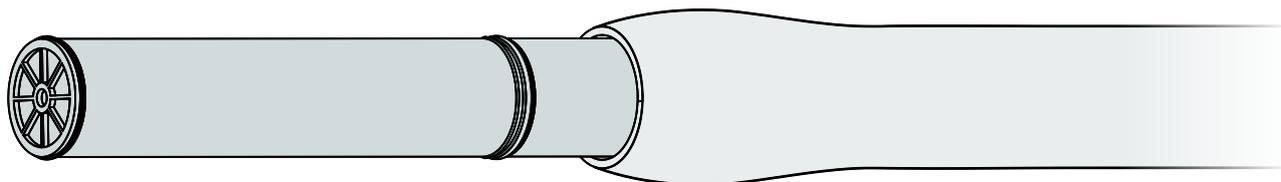


Figura 4: Inserción del siguiente elemento de OI.

alimentación del primer elemento cargado para evitar el movimiento excesivo de la pila de elementos. Esto ayuda a evitar fugas entre los elementos y previene que el conector se desacople.

9. Los tubos de presión y las membranas de OI deben enjuagarse poco después de la carga para evitar la corrosión del tubo de presión por los conservantes de las membranas de OI.

2.5 Puesta en Marcha y Parada del Sistema

2.5.1 Arranque del Sistema

Antes del arranque del sistema, asegúrese de que la calidad del agua de alimentación cumpla con los requisitos de los elementos de OI. En particular, los siguientes elementos deben ser estables: flujo, SDI, turbidez, temperatura, pH, TDS, cloro residual y recuento de bacterias.

Las siguientes partes del sistema de OI deben someterse a una inspección mecánica antes de la puesta en marcha inicial:

- Filtros de medios filtrantes y filtros de cartucho
- Líneas y válvulas de alimentación, concentrado y permeado
- Líneas y válvulas de adición de productos químicos
- Mezcla química en la corriente de alimentación
- Parada de seguridad del sistema de OI
- Protección de alivio de presión
- Eliminación completa del cloro
- Instrumentación para el monitoreo del pretratamiento y de la operación

La siguiente secuencia se recomienda al iniciar la operación inicial:

1. Enjuague a fondo la sección de pretratamiento para eliminar residuos y otros contaminantes para evitar que entren a las membranas de OI.
2. Asegúrese que los parámetros de funcionamiento de las válvulas son correctos. La válvula de control de presión de alimentación y la válvula de control del concentrado deben estar completamente abiertas. La válvula del concentrado puede ser usada para hacer ajustes cuidadosos en la tasa de recuperación una vez que el sistema está en marcha.
3. Enjuague los elementos de OI y los tubos de presión, preferiblemente con agua de permeado o agua de alimentación de alta calidad.
4. Use tasas de flujo bajas al principio para expulsar el aire de los elementos de OI y los tubos de presión a presiones de 30-60 psi (2-4 bar) durante más de 30 minutos. Los sistemas de OI deben presurizarse a una tasa controlada de no más de 10 psi (0,69 bar) por segundo. Si la presurización es demasiado rápida, se producirá daño mecánico en la membrana de OI, incluyendo el agrietamiento del envoltorio y el telescopado del elemento. En todo momento, la caída de presión máxima permitida es de 15 psi (1 bar) por membrana y 60 psi (4 bar) por tubo de presión.
5. Todos los flujos de permeado y concentrado deben drenarse durante el enjuague. En este punto, todas las conexiones de tuberías y válvulas deben verificarse para detectar fugas.
6. Después de que el sistema haya sido enjuagado, cierre la válvula de control de presión de alimentación, asegurándose de que la válvula de control de concentrado permanezca completamente abierta.

7. Abra la válvula de control de presión de alimentación incrementalmente para que la presión de alimentación no exceda 60 psi (4 bar). Luego, inicie la bomba de alta presión.
8. Aumente la presión de alimentación y la tasa de flujo de alimentación a los elementos hasta que se alcance el flujo de concentrado de diseño, sin exceder un aumento de presión de 10 psi (0,69 bar) por segundo. Luego, cierre lentamente la válvula de control de concentrado hasta que la proporción entre el flujo de permeado y el flujo de concentrado se acerque a la proporción de recuperación de diseño.
9. Siga abriendo la válvula de control de presión de alimentación y cerrando la válvula de control de concentrado hasta que se obtengan los flujos de permeado y concentrado de diseño, verificando la presión del sistema para asegurarse de que no exceda el límite superior de diseño.
10. Después de ajustar las dos válvulas, calcule la recuperación del sistema y compárela con el valor de diseño del sistema.
11. Verifique las dosificaciones químicas de ácido, antiincrustante y metabisulfito de sodio. Verifique el pH y la conductividad.
12. Después de permitir que el sistema funcione durante 1 hora, tome la primera lectura de todos los parámetros operativos. Lea la conductividad del permeado de cada tubo de presión e identifique los tubos con algún problema de funcionamiento.
13. Después de 24-48 horas de operación, registre todos los datos de rendimiento de la planta, como presión de alimentación, caída de presión, temperatura, flujos, tasa de recuperación, conductividad, pH y ORP. Tome muestras del agua de alimentación, concentrado y permeado y analice sus composición. Compare el rendimiento del sistema con los valores de diseño. Utilice la información de rendimiento inicial del sistema como referencia para evaluar el rendimiento futuro del sistema. Mida el rendimiento del sistema regularmente durante la primera semana de operación.

2.5.2 Procedimientos de Puesta en Marcha Regular

Después de la puesta en marcha del sistema, se deben seguir los siguientes procedimientos cada vez que se vaya a arrancar el sistema:

1. Verifique que la calidad del agua de alimentación cumpla con las recomendaciones para los elementos de OI utilizados.
2. Enjuague el sistema de OI con agua de alimentación pretratada a baja presión antes de arrancar la bomba de alta presión.
3. Asegúrese de que la válvula de regulación entre la bomba de alta presión y los tubos de OI esté casi cerrada durante el arranque para evitar el golpe de ariete.
4. Aumente gradualmente la presión de alimentación y la tasa de flujo de alimentación a los elementos de OI mientras regula la tasa de flujo de concentrado. Evite

tasas de flujo y presiones diferenciales excesivas a través de los tubos de presión durante la puesta en marcha. En todo momento, la caída de presión máxima permitida es de 15 psi (1 bar) por membrana y 60 psi (4 bar) por tubo de presión.

5. Ajuste los parámetros operativos del sistema de OI a los flujos de permeado y concentrado objetivo. No exceda la recuperación de diseño en ninguna etapa de la operación.
6. Drene el permeado hasta que se obtenga la calidad de agua requerida.

2.5.3 Consideraciones para la Parada del Sistema

Las siguientes acciones deben realizarse cuando se pare el sistema:

1. Enjuague el concentrado durante la parada del sistema de OI con agua de permeado o agua de alimentación de alta calidad a baja presión para eliminar completamente las altas concentraciones de sales de los tubos de presión.
2. Asegúrese de que no haya productos químicos de pretratamiento presentes en el agua utilizada para el enjuague, especialmente antiincrustante.
3. Asegúrese de que todos los elementos de membrana se mantengan húmedos y adecuadamente esterilizados y/o protegidos contra heladas en todo momento durante las paradas. Si la planta se detiene por más de 48 horas, es necesario preservarla químicamente. Consulte la sección "Manipulación, Almacenamiento y Preservación" (Sección 4) para obtener recomendaciones de preservación más detalladas.
4. Asegúrese de que se sigan las pautas de temperatura y pH del agua de preservación durante las paradas.
5. Tenga cuidado de que la presión de retrolavado del permeado nunca exceda 4.5 psi (0.3 bar) cuando el sistema esté parado. Asegúrese de que se instalen válvulas de retención o válvulas de alivio en la línea de permeado de los trenes individuales.

2.6 Monitoreo de la Operación del Sistema

El monitoreo y la recopilación de todos los datos relevantes durante la operación de la OI son necesarios para asegurar un rendimiento confiable y de alta calidad. Además, los registros bien documentados son fundamentales para la solución de problemas y la gestión de quejas. La **Tabla 2** ofrece una visión general de los datos esenciales que deben registrarse durante la operación de la OI. La **Tabla 3** ofrece una visión general de los parámetros típicos del análisis del agua. Tenga en cuenta que ambas tablas sirven como guías para los operadores del sistema de OI. La selección de datos y su frecuencia de registro, así como la selección específica de iones para el análisis, siempre deben adaptarse a la aplicación específica y sus requisitos.

Tabla 2: Resumen de los datos esenciales que deben registrarse durante la operación de OI.

Parámetros	Monitorea en línea	Diario	Periódica-mente	Sistema de alarmas y seguridad
Fecha y hora de registro de datos		X		
Horas totales de operación		X		
Número de tubos en operación		X		
Conductividad de alimentación	X	X		
pH de alimentación	X	X		X
Temperatura de alimentación	X	X		X
Presión de alimentación	X	X		X
Concentración de cloro libre en alimentación	X	X		X
Dosificación de antiincrustante en alimentación		X		X
Indicador de SDI15			X	X
Turbidez de alimentación (NTU)			X	X
Dureza de alimentación			X	
Composición de alimentación			X	
Conductividad del concentrado	X	X		
pH del concentrado	X	X		
Tasa de flujo del concentrado	X	X		X
Presión del concentrado de cada etapa	X	X		
Conductividad total del permeado	X	X		X
Tasa de flujo total del permeado	X	X		X
Presión del permeado		X		X
Conductividad del permeado de cada tubo de presión			X	
Concentración individual de iones en el permeado			X	
Caída de presión de cada etapa		X		X
Tasa total de recuperación		X		X
Tasa de recuperación de cada etapa			X	

Tabla 3: Resumen de los parámetros típicos del análisis del agua.

Parámetros		Esencial	Opcional
Conductividad		X	
pH		X	
Temperatura		X	
Cloro libre		X	
Sólidos disueltos totales	TDS	X	
Demanda química de oxígeno	COD		X
Demanda biológica de oxígeno	BOD		X
Carbono orgánico total	TOC		X
Cloruro	Cl ⁻		X
Nitrato	NO ₃ ⁻		X
Bicarbonato	HCO ₃ ⁻		X
Sulfato	SO ₄ ²⁻		X
Fosfato	PO ₄ ³⁻		X
Fluoruro	F ⁻		X
Sodio	Na ⁺		X
Potasio	K ⁺		X
Amonio	NH ₄ ⁺		X
Calcio	Ca ²⁺		X
Magnesio	Mg ²⁺		X
Estroncio	Sr ²⁺		X
Bario	Ba ²⁺		X
Ion de hierro	Fe ²⁺		X
Manganeso	Mn ²⁺		X
Silicato	SiO ₂		X
Ácido silícico	SiO ₃ ⁻		X
Dióxido de carbono	CO ₂		X
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S		X

2.7 Normalización de Datos

El rendimiento de un sistema de OI variará dependiendo de las características del agua de alimentación y las condiciones operativas, como TDS, temperatura, presión o proporción de recuperación. Para determinar si el rendimiento alterado del sistema se debe a un cambio en el agua de alimentación o en las condiciones operativas, o si es causado por una disminución real del rendimiento de la membrana debido, por ejemplo, a la obstrucción de la membrana, los datos operativos deben tomarse a intervalos regulares y luego normalizarse a condiciones de referencia. Se recomienda encarecidamente la normalización para la tasa de flujo del permeado medido y los TDS del permeado o el paso de sales, ya que permite la detección temprana de posibles problemas para que se puedan iniciar acciones correctivas. La condición de referencia puede ser el rendimiento inicial o de diseño del sistema de OI. A continuación, se presentan las ecuaciones de normalización de datos.

2.7.1 Tasa de Flujo de Permeado Normalizado

$$Q_N \text{ (GPD)} = Q_{op} \cdot \frac{NDP_{ref}}{NDP_{op}} \cdot \frac{TCF_{op}}{TCF_{ref}}$$

- $Q_N \text{ (GPD)}$ = Tasa de flujo de permeado normalizada
- $Q_{op} \text{ (GPD)}$ = Tasa de flujo de permeado en la condición operativa
- $NDP_{ref} \text{ (psi)}$ = Presión de impulso neta en la condición de referencia
- $NDP_{op} \text{ (psi)}$ = Presión de impulso neta en la condición operativa
- $TCF_{op} \text{ (-)}$ = Factor de corrección de temperatura en la condición operativa
- $TCF_{ref} \text{ (-)}$ = Factor de corrección de temperatura en la condición de referencia

2.7.2 Presión de Impulso Neta

$$NDP \text{ (psi)} = P_F - \frac{\Delta P}{2} - P_p - \pi$$

- $NDP \text{ (psi)}$ = Presión de impulso neta
- $P_F \text{ (psi)}$ = Presión de alimentación
- $\Delta P \text{ (psi)}$ = Presión diferencial alimentación-concentrado
- $P_p \text{ (psi)}$ = Presión del permeado
- $\pi \text{ (psi)}$ = Presión osmótica promedio

2.7.3 Factor de Corrección de Temperatura

$$TCF \text{ (-)} = \exp \left[2903 \cdot \left(\frac{1}{273 + T} - \frac{1}{298} \right) \right]$$

- $TCF \text{ (-)}$ = Factor de corrección de temperatura
- $T \text{ (°C)}$ = temperatura en grados Celsius

Los detalles completos para los Factores de Corrección de Temperatura (TCF) para los Elementos de Membrana Industrial de Ósmosis Inversa Aquaporin Inside® se encuentran en el Apéndice.

2.7.4 Presión Osmótica Promedio

$$\pi \text{ (psi)} = \frac{(C_{FC} - C_p)}{795}$$

- $\pi \text{ (psi)}$ = Presión osmótica promedio
- $C_{FC} \text{ (ppm)}$ = Concentración promedio de alimentación-concentrado
- $C_p \text{ (ppm)}$ = Concentración del permeado

2.7.5 Promedio de Concentración de Alimentación-Concentrado

$$C_{FC} \text{ (ppm)} = C_F \cdot \frac{\ln \frac{1}{1 - Y}}{Y}$$

- $C_{FC} \text{ (ppm)}$ = Concentración promedio de alimentación-concentrado
- $C_F \text{ (ppm)}$ = Concentración de alimentación
- $Y \text{ (-)}$ = Tasa de recuperación

2.7.6 Paso de Sal

$$SP \text{ (-)} = \frac{C_p}{C_{FC}}$$

- $SP \text{ (-)}$ = Paso de sal
- $C_p \text{ (ppm)}$ = Concentración del permeado
- $C_{FC} \text{ (ppm)}$ = Concentración promedio de alimentación-concentrado

2.7.7 Sólidos Disueltos Totales (TDS) del Permeado Normalizado

$$C_{P_n} \text{ (ppm)} = C_{P_{op}} \cdot \frac{NDP_{op}}{NDP_{ref}} \cdot \frac{C_{FC_{ref}}}{C_{FC_{op}}}$$

- $C_{P_n} \text{ (ppm)}$ = Concentración del permeado normalizada
- $C_{P_{op}} \text{ (ppm)}$ = Concentración del permeado en la condición operativa
- $NDP_{ref} \text{ (psi)}$ = Presión de impulso neta en la condición de referencia
- $NDP_{op} \text{ (psi)}$ = Presión de impulso neta en la condición operativa
- $C_{FC_{ref}} \text{ (ppm)}$ = Concentración promedio alimentación-concentrado en la condición de referencia
- $C_{FC_{op}} \text{ (ppm)}$ = Concentración promedio alimentación-concentrado en la condición operativa

2.8 Precauciones Durante la Operación del Sistema

- **CLORO LIBRE:** Cualquier agente oxidante, como el cloro libre, debe eliminarse del agua de alimentación antes de que entre en contacto con la membrana de OI. Incluso concentraciones muy bajas en la corriente de alimentación generarán un daño irreversible a la membrana de OI debido a la oxidación. Se debe implementar un pretratamiento y un monitoreo adecuado del agua de alimentación.
- **MATERIA PARTICULADA:** Cualquier materia particulada debe eliminarse del agua de alimentación antes de que entre en contacto con la membrana de OI. La materia particulada puede acumularse en la superficie de la membrana de OI y causar daños mecánicos o bloquear el canal de alimentación de las membranas de OI. Se debe implementar un pretratamiento y un monitoreo adecuado del agua de alimentación.
- **LUBRICACIÓN:** Se deben evitar estrictamente los lubricantes que contengan hidrocarburos, como los lubricantes a base de petróleo o aceite vegetal, al lubricar las juntas tóricas de los adaptadores y los sellos de salmuera. Estos lubricantes dañarán los tubos y los interconectores de la membrana de OI. Los lubricantes adecuados incluyen la glicerina y los lubricantes a base de silicona.
- **ALTA TEMPERATURA Y PRESIÓN:** Se debe evitar la operación fuera de los límites de temperatura y presión indicados en las especificaciones del fabricante para prevenir daños en la membrana y asegurar un rendimiento óptimo del sistema.

3

Limpieza

3.1 Introducción

La superficie de una membrana de OI está sujeta a la incrustación por sólidos suspendidos, coloides, precipitados, materia orgánica y biológica. Se requiere el pretratamiento del agua de alimentación antes del proceso de OI para prevenir las incrustaciones tanto como sea posible. La naturaleza e intensidad de las incrustaciones dependen de varios factores, como la calidad del agua de alimentación, la tasa de recuperación del sistema y las condiciones operativas.

Para asegurar una larga vida útil de la membrana y un rendimiento óptimo de la misma, se requiere la limpieza periódica de la membrana. La limpieza en el lugar (CIP) de la membrana debe realizarse cuando las membranas de OI muestren evidencia de incrustación, antes de una parada prolongada o como mantenimiento rutinario programado. La incrustación de las membranas se puede apreciar por una disminución del rendimiento, es decir, una disminución del caudal del permeado y/o un mayor paso de sales. Otro efecto secundario de la incrustación es un aumento de la caída de presión entre el lado de alimentación y el de concentrado. Para evitar la pérdida permanente de rendimiento y el daño a la membrana, el CIP de la membrana debe realizarse a más tardar cuando ocurra una o más de las siguientes situaciones:

- El caudal de permeado normalizado ha disminuido un 10% desde la puesta en marcha o desde la última limpieza.
- El paso de sales normalizado ha aumentado un 10% desde la puesta en marcha o desde la última limpieza.
- La caída de presión normalizada desde la alimentación hasta el concentrado ha aumentado un 15% desde la puesta en marcha o desde la última limpieza.

El CIP de la membrana se puede realizar de manera muy efectiva debido a la alta estabilidad de pH y tolerancia a la temperatura de la membrana industrial Aquaporin Inside® OI. La elección del protocolo CIP de la membrana y de los productos químicos del CIP debe adaptarse al problema específico de la incrustación. Tenga en cuenta que una elección incorrecta puede empeorar la situación. Por lo tanto, el tipo de incrustación en la superficie de la membrana debe determinarse antes de la limpieza, por ejemplo, a través del análisis de datos de rendimiento, el análisis de las características y los incrustantes del agua de alimentación, la referencia a limpiezas anteriores, etc.

3.2 Protocolo CIP Recomendado para Membranas

Los elementos de la membrana de OI se pueden limpiar en el lugar en los tubos de presión mediante la inmersión y circulación de la solución de limpieza a través del lado de alta presión de la membrana. Los procedimientos de limpieza de OI pueden variar según la aplicación y la situación. El CIP estándar recomendado para la membrana consiste en una limpieza alcalina seguida de una limpieza ácida. El siguiente protocolo CIP debe seguirse para cada solución de limpieza.

1. Antes de introducir cualquier solución de limpieza, se recomienda enjuagar las membranas con agua limpia para desplazar cualquier solución de alimentación/salmuera. El agua de enjuague debe ser permeado de OI o agua desionizada. Las tasas de flujo de enjuague deben ser la mitad de las tasas de flujo de limpieza enumeradas en la **Tabla 4**.
2. Prepare la solución de limpieza y ajuste la temperatura y el pH a los valores objetivo. Los límites de temperatura y pH se muestran en la **Tabla 5**. Las soluciones de limpieza genéricas recomendadas se muestran en la **Tabla 6**.
3. Bombee la solución de limpieza en los tubos de presión a bajas tasas de flujo de alimentación y presiones. La tasa de flujo debe ser la mitad de las tasas de flujo de limpieza enumeradas en la **Tabla 4**. La presión debe ser lo suficientemente baja como para que idealmente no se produzca permeado. Deseche el concentrado, según sea necesario, para evitar la dilución de la solución de limpieza o reajuste el pH y la temperatura a los valores objetivo.
4. Después de que el agua limpia o el agua de proceso se haya desplazado, circule la solución de limpieza a tasas de flujo y presiones de alimentación según la **Tabla 4**. Si es necesario, reajuste el pH y la temperatura a los valores objetivo. El pH y la temperatura de la solución de limpieza deben monitorearse, controlarse y mantenerse por debajo de los valores máximos permitidos durante todo el ciclo de limpieza. Una limpieza estándar consiste en 30 minutos de circulación.
5. Después de la circulación, se recomienda detener la bomba y permitir que la membrana se remoje en la solución de limpieza. El tiempo de remojo puede variar de 30 minutos a 8 horas. Una limpieza estándar consiste en 30 minutos de remojo. Un período de remojo extendido es beneficioso para la incrustación difícil o excesiva. Durante los períodos de remojo largos, circule la solución de limpieza lentamente a aproximadamente 1/10 de las tasas de flujo indicadas en la **Tabla 4** o en intervalos para monitorear y controlar la temperatura y el pH objetivo.
6. Después del remojo, se recomienda circular durante otros 30 minutos. La temperatura y el pH deben monitorearse y controlarse.
7. Después del ciclo de limpieza, se recomienda enjuagar la membrana con permeado de OI o agua desionizada a una temperatura mínima de 20 °C para eliminar la solución de limpieza y las incrustaciones restantes.
8. Se puede comenzar una segunda limpieza con una solución de limpieza diferente en este punto, si es necesario. De lo contrario, enjuague las membranas durante al menos 30 minutos con el permeado dirigido al drenaje o hasta que el permeado esté claro y el pH del permeado se haya normalizado.

Tabla 4: Tasas de flujo de alimentación durante la limpieza en circulación.

Diámetro del Elemento	Presión de alimentación	Tasa de Flujo de Alimentación por Tubo de presión	
		[GPM]	[LPM]
[pulgadas]	[bar]		
4	1-4	9-12	34-45
8	1-4	36-48	136-182

Tabla 5: Rangos de temperatura y límites de pH durante la limpieza.

Rango de Temperatura	> 45 °C	>35 - 45 °C	>25 - 35 °C	≤ 25 °C
Límite de pH para CIP	Contacte a Aquaporin para asistencia	pH 2.0 - 10.5	pH 1.0 - 11.0	pH 1.0 - 12.0

3.3 Productos Químicos de Limpieza

Elegir los productos químicos de limpieza correctos es importante ya que la limpieza excesiva y frecuente de la membrana acortará su vida útil, y a veces una elección incorrecta de productos químicos de limpieza puede empeorar la situación de incrustación. La limpieza de la membrana será más efectiva si se adapta al problema específico de incrustación. Por lo tanto, el tipo de incrustantes debe determinarse antes de la limpieza. La **Tabla 6** enumera los productos químicos de limpieza recomendados dependiendo del tipo de incrustantes.

Generalmente, los limpiadores alcalinos se usan para eliminar la incrustación orgánica, incluyendo la materia biológica, mientras que los limpiadores ácidos se usan para eliminar los precipitados inorgánicos, incluyendo el hierro. Si las membranas sufren de precipitación inorgánica e incrustación orgánica, se recomienda comenzar con la limpieza alcalina. La limpieza ácida

solo debe realizarse una vez que toda la incrustación orgánica, coloidal y biológica haya sido eliminada, ya que los limpiadores ácidos pueden reaccionar con la materia orgánica y empeorar el problema de la incrustación. No debe utilizarse ácido sulfúrico para la limpieza debido al riesgo de precipitación de sulfato de calcio. Debe utilizarse permeado de OI o agua desionizada para la preparación de soluciones de limpieza.

Frecuentemente se utilizan productos químicos de limpieza especializados en la industria. La mayoría de ellos son compatibles con las membranas de Aquaporin en pruebas a corto plazo. Para la compatibilidad a largo plazo, por favor contacte al proveedor de productos químicos de limpieza y a Aquaporin para asistencia. En cualquier caso, asegúrese de que no se excedan los límites de temperatura y pH dados.

Tabla 6: Soluciones de limpieza recomendadas y alternativas.

Incrustante	Solución de limpieza	Alternativa 1	Alternativa 2
Incrustación de carbonatos	0.2% en peso de HCl, pH 1-2, máx. 35 °C	2.0% en peso de ácido cítrico	0.5% en peso de H ₃ PO ₄ pH 1-2, máx. 25 °C
Incrustación de hierro	1.0% en peso de Na ₂ S ₂ O ₄ pH 5, máx. 30 °C	2.0% en peso de ácido cítrico	0.5% en peso de H ₃ PO ₄ pH 1-2, máx. 25 °C
Incrustación de sulfatos	0.1% en peso de NaOH + 1.0% en peso de Na ₄ EDTA pH 12, máx. 25 °C	-	-
Incrustación biológica	0.1% en peso de NaOH pH 12, máx. 25 °C	0.1% en peso de NaOH + 1.0% en peso de Na ₄ EDTA pH 12, máx. 25 °C	-
Incrustación de sílice	0.1% en peso de NaOH pH 12, máx. 25 °C	-	-
Incrustación orgánica	Paso 1: 0.1% en peso de NaOH pH 12, máx. 25 °C Paso 2: 0.2% en peso de HCl pH 2, máx. 45 °C	Paso 1: 0.1% en peso de NaOH + 1.0% en peso de Na ₄ EDTA pH 12, máx. 25 °C Paso 2: 0.2% en peso de HCl pH 2, máx. 45 °C	-

3.4 Precauciones de Seguridad Durante el Proceso de Limpieza.

Cuando se utilizan productos químicos de limpieza, siga las prácticas de seguridad aceptadas. Consulte al fabricante del producto químico para obtener información detallada sobre la seguridad, el manejo y la eliminación.

Respete los límites de temperatura y pH indicados en la **Tabla 5**. Para limpiezas que requieran condiciones que excedan estos límites, por favor contacte a Aquaporin para asistencia. Use las condiciones de limpieza menos agresivas posibles. Esto incluye los parámetros de limpieza de pH, temperatura y tiempo de contacto. Esto optimizará la vida útil de la membrana.

Enjuague completamente la primera solución de limpieza del elemento antes de introducir la siguiente solución.

Después de la limpieza, los elementos deben enjuagarse preferiblemente con permeado o agua desionizada y a un flujo y presión reducidos para enjuagar la mayor parte de la solución de limpieza de los elementos antes de reanudar las presiones y flujos normales de operación. Además, el permeado debe dirigirse al drenaje durante al menos 30 minutos o hasta que el agua esté clara, ya que los productos químicos de limpieza estarán presentes en el lado del permeado.

Los flujos de limpieza y enjuague generalmente deben ser en la misma dirección que el flujo normal de alimentación para evitar el posible telescopado de la membrana y el daño de la misma.

4

Manipulación, Almacenamiento y Preservación

4.1 Introducción

Los elementos de membrana industrial Aquaporin Inside® de ósmosis inversa deben manejarse de tal manera que se prevenga el crecimiento biológico y el cambio en el rendimiento de la membrana durante el almacenamiento, el envío o las paradas del sistema. Los elementos deben almacenarse y enviarse preferiblemente fuera de los tubos de presión y cargarse en los tubos de presión justo antes de la puesta en marcha. Se necesita la preservación de los elementos para el almacenamiento a largo plazo de membranas nuevas y usadas, y para la parada del sistema por un tiempo superior a 48 horas.

4.2 Manipulación y Almacenamiento de Nuevas Membranas

Las nuevas membranas se envían en condiciones secas o como membranas húmedas y preservadas. Los elementos de membrana húmedos se preservan en una solución de almacenamiento estándar que contiene un 1% en peso de metabisulfito de sodio (SMBS) de calidad alimentaria. La solución de almacenamiento previene el crecimiento biológico durante el almacenamiento y envío de las membranas. Se recomienda enjuagar las membranas antes de su uso para eliminar el conservante residual en el flujo del producto. Para mantener un buen rendimiento de las membranas, almacene y maneje las membranas siguiendo las siguientes pautas:

- Almacene las membranas en un lugar fresco y seco dentro de un rango de temperatura de 5 °C a 35 °C (41 °F a 95 °F). Evite el almacenamiento a la luz solar directa.
- Durante el transporte, las membranas no deben exponerse a temperaturas bajo cero (0 °C o 32 °F) ni a temperaturas superiores a 40 °C (104 °F). Si la duración del transporte es superior a 2 meses, la temperatura no debe exceder los 35 °C (95 °F).

- Si se espera que la temperatura ambiente en el área de almacenamiento de las membranas descienda por debajo del punto de congelación (0 °C o 32 °F), se deben tomar medidas para mantener los elementos de membrana a una temperatura superior al punto de congelación. No permita que los elementos de membrana se congelen.
- No apile más de 5 capas de cajas de cartón al reapilar desde el embalaje originalmente entregado (embalaje de exportación).
- Mantenga siempre el embalaje original de las membranas secas para preservar su integridad estructural.
- Para evitar daños, maneje cada membrana con cuidado. Evite dejar caer la membrana. Para minimizar el potencial de contaminación, maneje la membrana con las manos limpias o con guantes. Tome precauciones para mantener el exterior de la membrana limpio.
- Las membranas húmedas se envían en bolsas de plástico selladas e impermeables al oxígeno y en cajas de cartón resistentes. Abra las cajas de las membranas solo justo antes de la instalación de las membranas.
- Almacene y envíe las membranas tal y como están empaquetados por Aquaporin y cargue las membranas en los tubos de presión solo antes de la puesta en marcha.

Precaución: Evite el contacto directo con la piel y los ojos con la solución de almacenamiento y el revestimiento de fibra de vidrio de la membrana. Use guantes de goma y gafas de seguridad durante la manipulación.

4.3 Almacenamiento de Membranas Usadas

Cualquier membrana que haya sido utilizada y retirada del tubo de presión para almacenamiento o envío debe preservarse en una solución de preservación de la siguiente manera:

1. Utilizando agua ablandada de buena calidad (preferiblemente permeado de OI), prepare la solución de preservación con 1% en peso de SMBS de calidad alimentaria.
2. Remoje las membranas durante aproximadamente 1 hora en la solución de almacenamiento, manteniéndolas en posición vertical para que el aire atrapado pueda escapar. Deje que el exceso de conservante gotee y luego selle la membrana en una bolsa de plástico con barrera de oxígeno. Selle y etiquete la(s) bolsa(s), indicando la fecha de embalaje y los detalles de la solución de almacenamiento. Recomendamos reutilizar la bolsa original o bolsas de repuesto originales suministradas por nosotros. No llene la bolsa de plástico con la solución de preservación: la humedad en el elemento es suficiente, y las bolsas con fugas pueden crear un problema durante el transporte.
3. Las condiciones de almacenamiento para membranas usadas y reempaquetadas son las mismas que para los elementos de membrana nuevos explicadas anteriormente en la sección "Manipulación y Almacenamiento de Nuevas Membranas".
4. Las membranas preservadas deben inspeccionarse visualmente cada tres meses en busca de crecimiento biológico. Cuando la solución de preservación no parezca clara, o después de seis meses, la membrana debe retirarse de la bolsa, remojarse en una solución de preservación fresca y reempaquetarse.
5. El pH de la solución de preservación nunca debe bajar de pH 3. Puede ocurrir una disminución del pH cuando el bisulfito se oxida a ácido sulfúrico. Por lo tanto, el pH de la solución de preservación de bisulfito debe revisarse al menos cada 3 meses. La re-preservación es obligatoria cuando el pH es 3 o inferior.
6. Use guantes protectores y mangas para evitar el contacto prolongado con la piel al trabajar con la solución de preservación.

4.4 Paradas de Corto Plazo del Sistema de OI

Una parada de corto plazo se refiere al período en el que una planta de OI permanece fuera de operación por menos de 48 horas con las membranas instaladas. El procedimiento para el almacenamiento de las membranas durante una parada de corto plazo es el siguiente:

1. Enjuague los elementos de membrana con agua de alimentación pretratada a baja presión (0.1 - 0.2 MPa) durante 10 - 20 minutos. La válvula de venteo debe mantenerse abierta para asegurar la salida de cualquier gas que pueda estar presente en el sistema.
2. Después del enjuague, el tubo de presión se llena con agua de alimentación pretratada.
3. Cierre la válvula de venteo.

4.5 Paradas de Largo Plazo del Sistema de OI

Una parada de largo plazo se refiere al período en el que una planta de OI permanece fuera de operación por más de 48 horas con las membranas instaladas. Dependiendo del historial operativo previo de la planta, en casi todos los casos será necesario limpiar las membranas en su lugar (CIP) antes de la parada y la preservación. Esto se aplica a los casos en los que se sabe o se asume que las membranas se han ensuciado. Prepare cada tren de OI de la siguiente manera:

1. Limpie las membranas en su lugar (CIP). Consulte la sección "Limpieza" (Sección 3) para obtener todos los detalles.
2. Sumerja completamente las membranas en los tubos de presión en una solución de 1.0 - 1.5% de SMBS de calidad alimentaria, sacando el aire fuera de los tubos de presión. Use la técnica de desbordamiento: circule la solución de SMBS de tal manera que el aire dentro del sistema se minimice después de que la recirculación se haya completado. Después de llenar el tubo de presión, se debe permitir que la solución de SMBS desborde a través de una abertura ubicada más alta que el extremo superior del tubo de presión más alto que se esté llenando.
3. Cuando la sección de OI esté llena con la solución de SMBS, cierre las válvulas para retener la solución de SMBS en la sección de OI. Cualquier contacto con oxígeno oxidará el SMBS y anulará las propiedades del conservante.
4. Repita los pasos 2 y 3 con una solución de preservación fresca cada 30 días si la temperatura es inferior a 27 °C (80 °F). Si la temperatura es superior a 27 °C (80 °F), revise el pH una vez por semana. Cuando el valor de pH descienda a 3 o menos, cambie la solución de preservación.

5. Durante el período de parada, la planta debe mantenerse libre de heladas y la temperatura no debe exceder los 45 °C (113 °F).
6. Cuando el sistema de OI esté listo para volver a estar en servicio, enjuague el sistema durante aproximadamente una hora usando agua de alimentación a baja presión con la válvula de descarga del permeado abierta para drenar; luego enjuáguelo a alta presión durante 5 a 10 minutos con la válvula de descarga del permeado abierta para drenar. Antes de devolver el sistema de OI al servicio, verifique si hay SMBS residual en el permeado, por ejemplo, mediante la medición de la conductividad eléctrica o los TDS. La conductividad eléctrica o los TDS deben estar en niveles normales.

4.6 Desechado de Membranas Usadas

Los elementos de membrana usados pueden ser desechados como residuos municipales, siempre y cuando:

1. No se contenga solución de preservación u otro líquido peligroso en la membrana, y
2. No se hayan depositado sustancias peligrosas, como metales pesados, contaminantes orgánicos, material radiactivo, etc., en la superficie de la membrana y dentro de las membranas durante la operación. Tenga en cuenta esto cuando las membranas se hayan utilizado para el tratamiento de aguas residuales o la eliminación de contaminantes.

5

Solución de Problemas

5.1 Introducción

Esta guía contiene técnicas útiles para la solución de problemas en sistemas de ósmosis inversa (OI). El objetivo de la solución de problemas en los sistemas de OI es identificar irregularidades en el sistema de membranas e investigar los modos de fallos del sistema de membranas, con la intención de eventualmente restaurar el rendimiento de la membrana.

A pesar del pretratamiento y la atención a la hidráulica del sistema, la mayoría de los sistemas de OI eventualmente mostrarán una degradación en el rendimiento debido al envejecimiento y ensuciamiento de las membranas. Esta degradación del rendimiento se manifiesta como una pérdida lenta y continua del flujo de permeado, aumento del paso de sales al permeado o aumento de la caída de presión.

Si uno de estos tres parámetros, o una combinación de ellos, se desvía lentamente del valor normalizado, puede indicar un ensuciamiento e incrustación normales, que posiblemente se puedan eliminar mediante una limpieza adecuada de la membrana. Sin embargo, una disminución rápida y/o repentina del rendimiento indica una operación defectuosa del sistema y/o operación fuera de los criterios de diseño originales del sistema (por ejemplo, un cambio en la calidad del agua de alimentación, cambio de productos químicos de pretratamiento, etc.). En estos casos, es esencial que se tomen las medidas correctivas adecuadas lo antes posible, ya que cualquier retraso disminuye la posibilidad de restaurar el rendimiento del sistema y puede llevar a otros problemas.

Un requisito previo para la detección temprana de problemas potenciales es el mantenimiento constante de registros y la normalización del rendimiento, incluyendo la calibración adecuada de todos los instrumentos. Sin lecturas precisas, puede no ser posible detectar un problema temprano e identificar la causa raíz.

Después de que se ha detectado el problema, el siguiente paso es localizar el problema e identificar las causas. Esto se puede hacer utilizando los datos en la hoja de registro de mantenimiento de registros o mediciones en línea adicionales. Si los datos no son suficientes para determinar las causas, uno o más elementos de membrana deben ser retirados del sistema y analizados utilizando métodos no destructivos o destructivos.

5.2 Evaluación del Sistema

5.2.1 Calibración de Instrumentos

La calibración de instrumentos es lo primero que se debe verificar durante la solución de problemas, ya que una instrumentación incorrecta puede llevar a una falsa alarma o hacer que se pase por alto un aumento real en el paso de sales

Los medidores de TDS en línea deben verificarse midiendo manualmente el TDS de la alimentación y del permeado con un medidor de TDS calibrado. Si los valores no coinciden, recalibre el medidor en línea de acuerdo con las instrucciones del fabricante. También se debe inspeccionar la sonda para asegurar un montaje adecuado y asegurarse de que el material residual acumulado no esté interfiriendo con la lectura.

Los manómetros mecánicos deben verificarse utilizando un manómetro calibrado. Esto se puede montar con un conector rápido. Los sensores de presión electrónicos tienen el potencial de una mayor precisión. Sin embargo, están sujetos a deriva del sensor y daños resultantes de la vibración de las bombas de alta presión. Para reducir los efectos de la vibración, el sensor puede montarse de manera remota y conectarse a la tubería de alta presión con una longitud de tubo de acero inoxidable o nailon de alta presión.

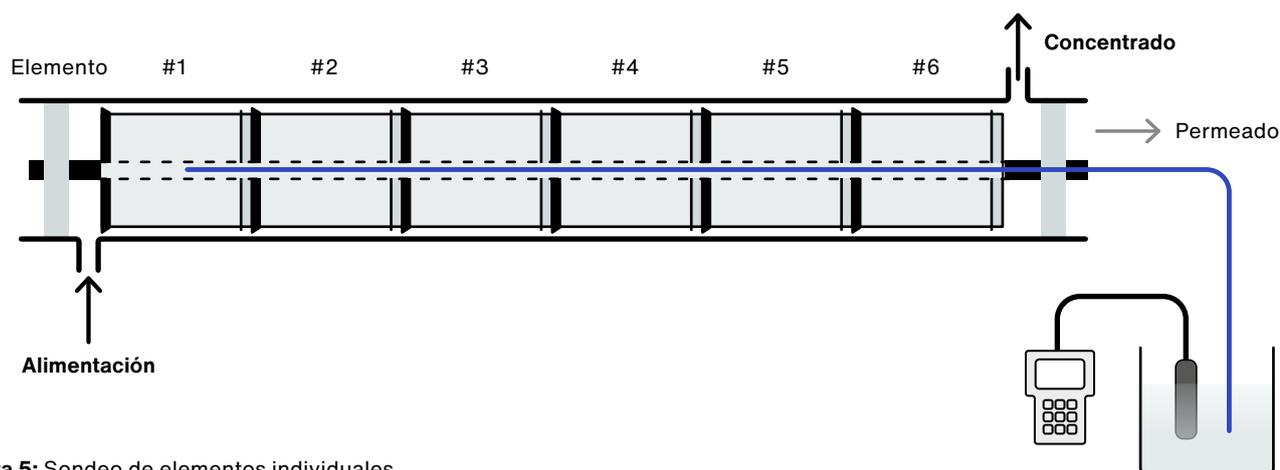


Figura 5: Sondeo de elementos individuales.

Los medidores de pH deben verificarse y, si es necesario, calibrarse utilizando soluciones tampón con un pH conocido. Las lecturas de temperatura deben verificarse con un termómetro preciso.

5.2.2 Inspección Visual

Después de la validación y calibración de los instrumentos, una inspección visual del sistema es una herramienta útil para la solución de problemas.

La limpieza general del sistema de OI debe investigarse. El moho y el crecimiento biológico en tanques y tuberías son indicadores de bioincrustación. Una superficie húmeda y resbaladiza en el lado de alimentación de un tubo de presión indica crecimiento de biopelículas. El lado del concentrado de los tubos de presión puede mostrar signos de incrustaciones. Las juntas tóricas rasgadas, dañadas o mal colocadas deben reemplazarse inmediatamente.

La eficiencia de los agentes de limpieza puede indicar la presencia de ensuciamiento (es decir, si una solución de limpieza contiene altas cantidades de contaminantes cuando sale del sistema de OI, es muy probable que haya ensuciamiento dentro del sistema). Para establecer el tipo de contaminante presente, analice y compare muestras de la solución de limpieza antes y después de la limpieza en el lugar (CIP). Consulte la sección "Limpieza" (Sección 3) para obtener todos los detalles.

5.2.3 Localización del Alto Paso de Sales

Si un sistema de OI presenta un alto paso de sales en el permeado, es importante localizar la fuente. Una disminución en el rechazo de sales puede ser uniforme en todo el sistema, o podría estar limitada al inicio o al final del sistema. Podría ser una falla general de la planta, o podría estar limitada a uno o unos pocos tubos de presión o elementos individuales.

Para localizar el alto paso de sales, se debe perfilar el sistema de OI. Esto requiere que se verifiquen los valores de TDS, conductividad y otros parámetros de calidad relevantes en todos los tubos de forma individual. En un sistema bien diseñado, habrá un puerto de muestreo ubicado en la corriente de permeado de cada tubo de presión donde se puedan tomar muestras. Se debe tener cuidado durante el muestreo para evitar mezclar la muestra de permeado con el permeado de otros tubos. Todas las muestras de permeado deben ser probadas con un medidor de TDS o conductividad para determinar su concentración de sólidos disueltos. Las muestras de permeado de todos los tubos de presión en la misma etapa deben dar lecturas en el mismo rango. Además, se debe medir la concentración de alimentación en cada etapa. Los valores resultantes del paso de sales pueden luego asignarse a las etapas y a los tubos individuales, respectivamente.

Si un tubo de presión muestra un TDS de permeado significativamente más alto que los otros tubos en la misma etapa, entonces este tubo de presión debe ser sondeado (ver Figura 5). El sondeo implica la inserción de un tubo de plástico (aproximadamente 1/4" para un módulo de 8") en toda la longitud del tubo de permeado. El sondeo desviaré agua de la corriente de permeado de ese tubo cuando el sistema de OI opere en condiciones normales de operación. Se debe permitir que transcurran unos minutos para enjuagar el tubo y permitir que el sistema de OI se equilibre. Luego, el TDS de la muestra de permeado del tubo puede medirse manualmente. Esta medición debe reflejar el TDS del permeado que está siendo producido por el elemento de OI en esa ubicación.

5.2.4 Evaluación de los Elementos de Membrana

Si se desconocen las causas de la pérdida de rendimiento de la planta, o si deben confirmarse, se deben analizar uno o más elementos en el sistema de forma individual. Los elementos que deben analizarse son aquellos que muestran un aumento en su perfil de conductividad.

Cuando hay una falla general en la planta, se debe seleccionar una membrana del extremo delantero o una membrana del extremo trasero, dependiendo de dónde se localice el problema. Los problemas típicos del extremo delantero se deben a ensuciamiento; los problemas típicos del extremo trasero provienen de la incrustación. Los tubos/membranas con estos problemas generalmente muestran una baja tasa de flujo de permeado y, a veces, un alto paso de sal debido a un ensuciamiento y/o incrustación severa.

Cuando no se puede localizar el problema, se debe tomar un elemento de ambos extremos del sistema.

Si se encuentra un alto paso de sales solo en uno o unos pocos elementos en uno o unos pocos tubos de presión, es muy probable que el elemento(s) tenga daños mecánicos, como perforaciones en la superficie de la membrana, fallos en la línea de pegamento, una membrana central agrietada o juntas tóricas dañadas, incluyendo sellos de salmuera.

Las juntas tóricas y los sellos de salmuera dañados se pueden verificar fácilmente inspeccionando visualmente los elementos fallidos. Las membranas dañadas y los fallos en la línea de pegamento solo pueden verificarse visualmente tras una autopsia de los elementos. Alternativamente, los daños físicos se pueden verificar realizando una prueba de colorante junto con una prueba de rechazo de sal/flujo utilizando una pequeña línea de prueba que contenga azul de metileno o rodamina B. Si

se detecta el colorante visual o espectroscópicamente en el permeado, indica que hay daños considerables en la membrana o en la línea de pegamento. Luego se puede realizar una autopsia al elemento para evaluar la causa del daño.

Si el daño en la membrana ha sido causado por productos químicos, como cloro o ácido concentrado, ocurrirá un alto paso de sales junto con una tasa de flujo de permeado mayor de lo normal, generalmente en todos los elementos del primer arreglo. Si la alta dosificación de productos químicos en el sistema no se corrige de inmediato, las membranas en el segundo arreglo también se dañarán.

5.2.5 Indicadores, Causas y Medidas Correctivas para la Pérdida de Rendimiento

Las posibles causas de la disminución del rendimiento del sistema de OI pueden diagnosticarse a través de los indicadores de rendimiento del sistema. La tasa de flujo de permeado normalizada, el paso de sal normalizado y la caída de presión son los tres indicadores principales para identificar la causa de la pérdida de rendimiento de la membrana.

La matriz de solución de problemas en la **Tabla 7** muestra las tendencias en los datos de rendimiento normalizados, sus causas y las medidas correctivas, así como los lugares donde comúnmente ocurren.

Tabla 7: Solución de problemas del sistema de OI

Flujo de permeado	Paso de sal	Caída de presión	Causa	Medida correctiva	Ubicación usual
Aumenta	Aumenta*	Estable	Daño por oxidación	Reemplazar elemento	1ª etapa
Aumenta	Aumenta*	Estable	Fuga en la membrana	Reemplazar elemento	Aleatoria
Aumenta	Aumenta*	Estable	Fuga en la junta tórica	Reemplazar junta tórica	Aleatoria
Aumenta	Aumenta*	Estable	Fuga en el tubo de producto	Reemplazar elemento	Aleatoria
Disminuye*	Aumenta	Aumenta	Incrustaciones	Limpieza	Control de incrustaciones
Disminuye*	Aumenta	Aumenta	Ensuciamiento coloidal	Limpieza	Mejorar pretratamiento
Disminuye	Estable	Aumenta*	Bioincrustación	Limpieza	Mejorar pretratamiento
Disminuye*	Estable	Estable	Ensuciamiento orgánico	Limpieza	Mejorar pretratamiento
Disminuye*	Disminuye	Estable	Compactación	Reemplazar elemento	Todas las etapas

*Síntoma principal

6

Aviso y Exención de Responsabilidad

La información proporcionada en esta literatura se ofrece de buena fe y solo con fines informativos. Los datos e información contenidos en este documento se basan en datos técnicos y pruebas que creemos que son confiables. Aquaporin no asume ninguna obligación o responsabilidad por la información presentada en este documento. Aquaporin no puede controlar las condiciones de diseño y operación y, en consecuencia, no asumirá ninguna responsabilidad por los resultados obtenidos o los daños incurridos mediante la aplicación de la información aquí proporcionada. No se incurre en ninguna responsabilidad, garantía o aval de rendimiento final del producto por la información contenida en este documento; todas las garantías implícitas de comerciabilidad o idoneidad para un propósito particular están excluidas. Se advierte a los clientes que juzguen y confirmen las opiniones, resultados y datos aquí proporcionados según su experiencia.

Las modificaciones técnicas de los productos o la tecnología de producción pueden requerir un cambio en la información proporcionada a continuación sin previo aviso. Por favor, verifique que la versión del manual que tiene a mano esté actualizada y consulte la última versión disponible del Manual Técnico de Elementos de Membrana Industrial Aquaporin Inside® (*Aquaporin Inside® Industrial RO Membrane Elements Technical Manual*).

7 Apéndice

A continuación, se muestran los detalles completos para los Factores de Corrección de Temperatura (TCF) para los Elementos de Membrana Industrial Aquaporin Inside®.

Tabla 8: Factores de Corrección de Temperatura (TCF) para los Elementos de Membrana Industrial Aquaporin Inside®

T (°C)	TCF														
5.0	2.070	9.0	1.755	13.0	1.514	17.0	1.276	21.0	1.140	25.0	1.000	29.0	0.900	33.0	0.809
5.1	2.059	9.1	1.749	13.1	1.505	17.1	1.271	21.1	1.136	25.1	0.998	29.1	0.898	33.1	0.806
5.2	2.051	9.2	1.741	13.2	1.500	17.2	1.266	21.2	1.133	25.2	0.994	29.2	0.895	33.2	0.804
5.3	2.044	9.3	1.734	13.3	1.495	17.3	1.263	21.3	1.131	25.3	0.991	29.3	0.893	33.3	0.801
5.4	2.035	9.4	1.727	13.4	1.486	17.4	1.261	21.4	1.129	25.4	0.988	29.4	0.891	33.4	0.798
5.5	2.028	9.5	1.720	13.5	1.483	17.5	1.259	21.5	1.126	25.5	0.986	29.5	0.888	33.5	0.795
5.6	2.020	9.6	1.714	13.6	1.477	17.6	1.255	21.6	1.123	25.6	0.983	29.6	0.886	33.6	0.793
5.7	2.011	9.7	1.707	13.7	1.469	17.7	1.250	21.7	1.120	25.7	0.981	29.7	0.883	33.7	0.790
5.8	2.003	9.8	1.700	13.8	1.460	17.8	1.246	21.8	1.115	25.8	0.979	29.8	0.880	33.8	0.787
5.9	1.996	9.9	1.693	13.9	1.454	17.9	1.241	21.9	1.111	25.9	0.976	29.9	0.878	33.9	0.785
6.0	1.989	10.0	1.686	14.0	1.448	18.0	1.237	22.0	1.109	26.0	0.974	30.0	0.875	34.0	0.782
6.1	1.980	10.1	1.678	14.1	1.440	18.1	1.235	22.1	1.104	26.1	0.971	30.1	0.873	34.1	0.780
6.2	1.974	10.2	1.671	14.2	1.435	18.2	1.232	22.2	1.100	26.2	0.968	30.2	0.871	34.2	0.777
6.3	1.966	10.3	1.666	14.3	1.430	18.3	1.228	22.3	1.095	26.3	0.966	30.3	0.869	34.3	0.775
6.4	1.955	10.4	1.662	14.4	1.422	18.4	1.225	22.4	1.091	26.4	0.962	30.4	0.867	34.4	0.772
6.5	1.949	10.5	1.658	14.5	1.416	18.5	1.223	22.5	1.089	26.5	0.961	30.5	0.865	34.5	0.770
6.6	1.942	10.6	1.650	14.6	1.411	18.6	1.220	22.6	1.086	26.6	0.958	30.6	0.863	34.6	0.767
6.7	1.935	10.7	1.644	14.7	1.406	18.7	1.215	22.7	1.082	26.7	0.955	30.7	0.860	34.7	0.765
6.8	1.927	10.8	1.639	14.8	1.402	18.8	1.213	22.8	1.078	26.8	0.953	30.8	0.859	34.8	0.762
6.9	1.919	10.9	1.709	14.9	1.396	18.9	1.211	22.9	1.074	26.9	0.951	30.9	0.856	34.9	0.758
7.0	1.910	11.0	1.633	15.0	1.392	19.0	1.207	23.0	1.071	27.0	0.948	31.0	0.854	35.0	0.756
7.1	1.902	11.1	1.625	15.1	1.388	19.1	1.202	23.1	1.069	27.1	0.945	31.1	0.851	35.1	0.754
7.2	1.896	11.2	1.619	15.2	1.381	19.2	1.200	23.2	1.066	27.2	0.943	31.2	0.849	35.2	0.751
7.3	1.889	11.3	1.612	15.3	1.375	19.3	1.195	23.3	1.062	27.3	0.941	31.3	0.846	35.3	0.749
7.4	1.878	11.4	1.605	15.4	1.371	19.4	1.191	23.4	1.059	27.4	0.939	31.4	0.844	35.4	0.744
7.5	1.869	11.5	1.599	15.5	1.366	19.5	1.189	23.5	1.054	27.5	0.936	31.5	0.842	35.5	0.742
7.6	1.862	11.6	1.593	15.6	1.359	19.6	1.186	23.6	1.051	27.6	0.934	31.6	0.840	35.6	0.740
7.7	1.855	11.7	1.589	15.7	1.351	19.7	1.184	23.7	1.047	27.7	0.931	31.7	0.838	35.7	0.737
7.8	1.849	11.8	1.583	15.8	1.345	19.8	1.180	23.8	1.044	27.8	0.928	31.8	0.836	35.8	0.733
7.9	1.841	11.9	1.578	15.9	1.338	19.9	1.175	23.9	1.040	27.9	0.926	31.9	0.834	35.9	0.730
8.0	1.835	12.0	1.574	16.0	1.332	20.0	1.173	24.0	1.036	28.0	0.924	32.0	0.832	36.0	0.728
8.1	1.827	12.1	1.566	16.1	1.328	20.1	1.171	24.1	1.033	28.1	0.921	32.1	0.829	36.1	0.725
8.2	1.819	12.2	1.559	16.2	1.320	20.2	1.168	24.2	1.029	28.2	0.918	32.2	0.827	36.2	0.722
8.3	1.813	12.3	1.553	16.3	1.314	20.3	1.163	24.3	1.025	28.3	0.915	32.3	0.824	36.3	0.718
8.4	1.806	12.4	1.548	16.4	1.308	20.4	1.160	24.4	1.022	28.4	0.913	32.4	0.822	36.4	0.714
8.5	1.800	12.5	1.543	16.5	1.302	20.5	1.157	24.5	1.018	28.5	0.910	32.5	0.820	36.5	0.712
8.6	1.794	12.6	1.539	16.6	1.297	20.6	1.153	24.6	1.015	28.6	0.908	32.6	0.817	36.6	0.710
8.7	1.788	12.7	1.531	16.7	1.291	20.7	1.151	24.7	1.011	28.7	0.907	32.7	0.815	36.7	0.706
8.8	1.769	12.8	1.525	16.8	1.386	20.8	1.147	24.8	1.007	28.8	0.904	32.8	0.813	36.8	0.704
8.9	1.761	12.9	1.520	16.9	1.281	20.9	1.143	24.9	1.003	28.9	0.902	32.9	0.811	36.9	0.700

Aquaporin A/S
Nymøllevej 78
2800 Kongens Lyngby
Denmark

Teléfono: +45 8230 3082
sales@aquaporin.com
aquaporin.com

Aquaporin Inside®