

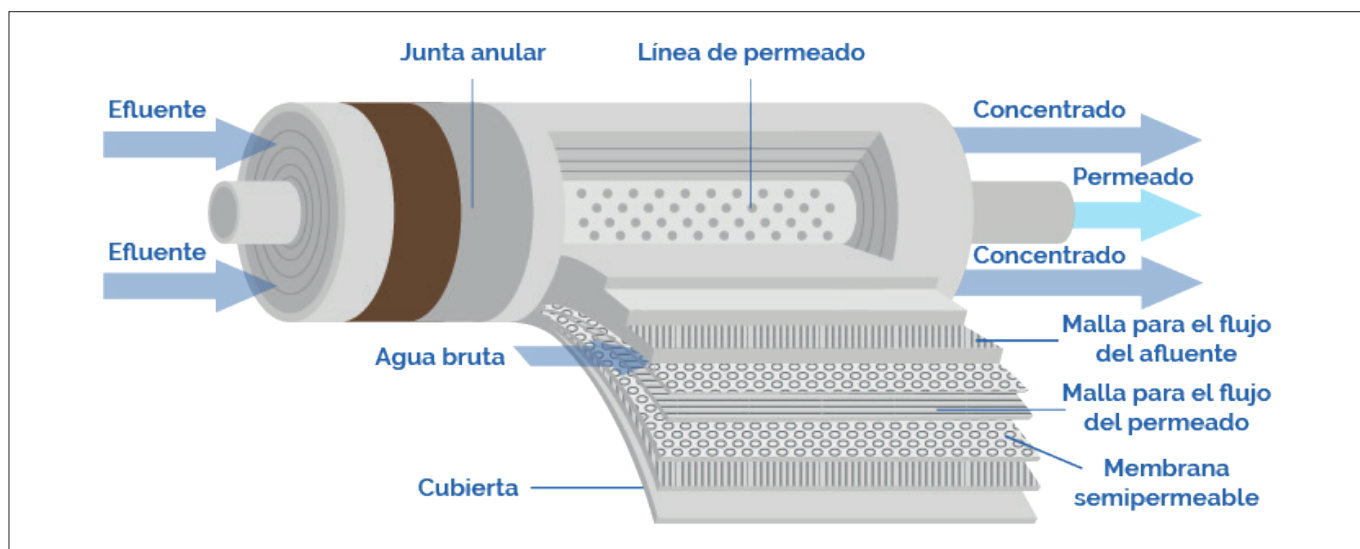


Imagen No. 1

Normalización de datos para el monitoreo del desempeño de sistemas de ósmosis inversa en la industria farmacéutica

La ósmosis inversa (OI) es una tecnología de purificación de agua que separa contaminantes disueltos mediante el uso de membranas semipermeables que permiten el paso selectivo del agua mientras retienen sólidos disueltos. Debido a su alta eficiencia en la remoción de sales, compuestos orgánicos y otros contaminantes, la ósmosis inversa se ha convertido en la tecnología de preferencia para la producción de agua purificada en la industria farmacéutica.

ING. MIGUEL A. PÉREZ COLÓN
FARMA GROUP INTERNACIONAL

Asimismo, esta tecnología es ampliamente utilizada en sectores como generación de energía, industria de semiconductores, biotecnología, dispositivos médicos, minería y bebidas.

Normalización de datos en sistemas de ósmosis inversa

El rendimiento de las membranas en un sistema de ósmosis inversa está influenciado por variaciones en los sólidos disueltos totales (TDS) del agua de alimentación, la presión de operación, la temperatura y la tasa de recuperación del sistema. Estas variaciones pueden dificultar la evaluación precisa del desempeño del sistema si los datos operativos se analizan directamente sin ajustes.

La normalización de datos es un proceso mediante el cual los datos de rendimiento

observados se ajustan matemáticamente para compensar las variaciones de las condiciones operativas externas. Esto permite comparar el desempeño del sistema con una condición de referencia previamente establecida, como el rendimiento de diseño o el rendimiento inicial medido durante la puesta en marcha del sistema.

La normalización con referencia al rendimiento inicial resulta particularmente útil para identificar cambios en el desempeño del sistema entre el momento de arranque y la condición operativa actual.

Importancia del análisis de datos operativos

El propósito de recopilar y analizar datos de operación dentro de un programa de normalización es comprender la condición real de las membranas y obtener información que

permita identificar desviaciones operativas y sus posibles causas raíz.

Los datos normalizados compensan los efectos de variables externas que afectan el rendimiento de la membrana, permitiendo comparar los parámetros operativos en condiciones equivalentes. Una vez normalizados, los datos se comparan con una línea base correspondiente al momento en que las membranas eran nuevas, fueron reemplazadas o fueron limpiadas.

Este enfoque permite interpretar información confiable y facilita la toma de decisiones operativas relacionadas con mantenimiento, limpieza química y optimización del sistema.

Parámetros operativos que deben monitorearse

Para evaluar adecuadamente el desempeño de un sistema de ósmosis inversa es ne-

cesario recopilar de forma sistemática los siguientes parámetros operativos:

- Flujo de permeado (GPM)
- Flujo de concentrado (GPM)
- Temperatura del agua de alimentación (°C / °F)
- Presión de alimentación (PSI)
- Presión de concentrado (PSI)
- Presión de permeado (PSI)
- Conductividad del agua de alimentación
- Conductividad del permeado

Estas variables influyen directamente en la calidad y cantidad de agua producida por el sistema de ósmosis inversa.

Influencia de la temperatura en el desempeño de la membrana

El desafío de evaluar con precisión los datos operativos de un sistema de ósmosis inversa es que estos cambian constantemente debido a factores que pueden resultar engañosos y aparentar problemas cuando en realidad no existen. Comparar el desempeño observado de ciertos parámetros en un punto específico con otro punto bajo condiciones de operación distintas puede conducir a interpretaciones incorrectas.

Factores como la temperatura del agua de alimentación, la calidad del agua de alimentación, el flujo de permeado y la recuperación del sistema influyen significativamente en el rendimiento de la membrana. Por ejemplo, temperaturas más altas permiten que una membrana produzca mayor flujo de permeado y, al mismo tiempo, permiten el paso de una mayor cantidad de sólidos disueltos. De manera similar, presiones de operación más elevadas pueden incrementar el flujo de permeado producido por la membrana.

Identificación de problemas en el sistema

Una diferencia entre los datos normalizados y el rendimiento inicial o diseñado puede indicar la presencia de problemas en el sistema de ósmosis inversa, entre los que se incluyen:

- Ensuciamiento o calcificación de la membrana.
- Daño químico de la membrana, que puede resultar en un pobre rechazo de sales debido a cambios químicos en la

estructura de la membrana causados por exposición excesiva a cloro o a condiciones extremas de pH.

- Fallas mecánicas, como juntas tóricas dañadas o fallas en las líneas de adhesión de la membrana.
- Obstrucciones hidráulicas, ocasionadas por incrustaciones coloidales o depósitos adheridos en los canales de flujo entre las hojas de la membrana.

Los problemas potenciales pueden identificarse tempranamente cuando los datos normalizados son documentados de forma continua. Existen tres indicadores calculados que proporcionan una mejor comprensión del rendimiento real de la membrana y ayudan a diagnosticar con mayor precisión los problemas asociados con la cantidad y calidad del agua producida por el sistema.

Los tres valores calculados utilizados para monitoreo y análisis de tendencias son:

- **Flujo de Permeado Normalizado (FPN)**
- **Rechazo de Sal Normalizado (RSN)**
- **Presión Diferencial Normalizada (PDN)**

Estos indicadores constituyen la base de un programa efectivo de monitoreo y mantenimiento de sistemas de ósmosis inversa.

Flujo de Permeado Normalizado (FPN)

El flujo de permeado normalizado (FPN) se considera el parámetro de monitoreo más importante, ya que refleja con mayor sensibilidad los cambios en el rendimiento de las membranas de ósmosis inversa.

Para calcular este parámetro se consideran variables como:

- temperatura del agua
- presión neta de conducción
- caída de presión del permeado
- sólidos disueltos totales (TDS) del agua de alimentación
- flujo de permeado

El cálculo del flujo de permeado normalizado ajusta las lecturas operativas diarias a las condiciones de referencia del sistema, típicamente a la presión inicial de arranque y a una temperatura estándar de **25 °C**. Esto permite realizar comparaciones directas del desempeño del sistema en diferentes momentos de operación.

Se puede calcular el Flujo de Permeado Normalizado usando la siguiente fórmula:

$$FPN = \text{Flujo permeado } x$$

$$x \left(\frac{\text{base presión de conducción neta promedio}}{\text{presión de conducción neta promedio}} \right) x$$

$$x \left(\frac{\text{base factor correccion temperatura}}{\text{factor correccion temperatura}} \right)$$

Si el **FPN disminuye entre un 10 % y un 15 % respecto al valor de referencia**, esto puede indicar que las membranas están ensuciadas o presentan incrustaciones y requieren limpieza. Por el contrario, un aumento en el FPN podría sugerir degradación física de la membrana, posiblemente causada por ataque químico o por fallas mecánicas.

Las variaciones estacionales de la temperatura del agua de alimentación pueden dificultar la identificación de tendencias de ensuciamiento si no se aplica la normalización de datos. Un incremento en la temperatura del agua puede aumentar el flujo de permeado, lo cual podría ocultar temporalmente los efectos del ensuciamiento de las membranas.

Rechazo de Sal Normalizado (RSN)

El rechazo de sal es uno de los métodos más conocidos para monitorear el rendimiento de sistemas de ósmosis inversa. No obstante, en muchos casos los problemas del sistema pueden detectarse con mayor anticipación mediante el análisis de otros parámetros como el flujo de permeado normalizado o la presión diferencial.

$$RSN = 100 -$$

$$- \left(\left(\text{paso de sales } x \left(\frac{\text{Flujo Permeado}}{\text{Base flujo permeado}} \right) x \right. \right.$$

$$\left. \left. x \text{ factor correccion temperatura} \right) x 100 \right)$$

El **rechazo de sal normalizado (RSN)** indica la capacidad de la membrana para rechazar contaminantes disueltos y está directamente relacionado con la calidad del agua permeada.

Una disminución del RSN indica que una mayor cantidad de sales está atravesando la membrana, lo que resulta en un permeado de menor calidad. Esto puede ser indicativo de ensuciamiento, incrustaciones o degradación de la membrana.

En muchas instalaciones industriales, el monitoreo de sólidos disueltos totales ha

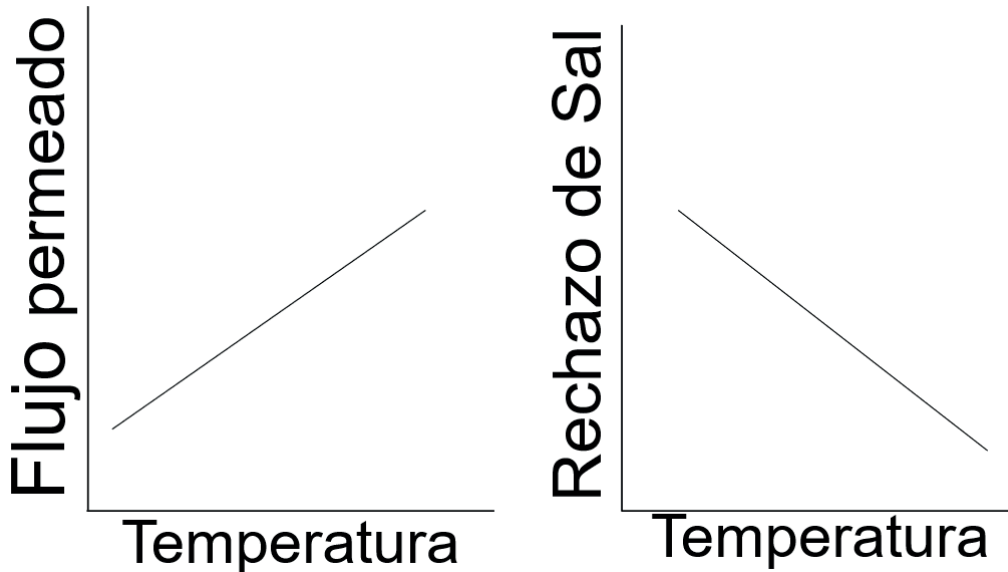


Imagen No. 2: Influencia de la temperatura en el flujo de permeado y el rechazo de sal

sido reemplazado por mediciones de conductividad del agua de alimentación y del permeado debido a la facilidad y confiabilidad de los sensores de conductividad en línea.

Una membrana de ósmosis inversa en buen estado normalmente proporciona un rechazo de **97 % a 99 %**, mientras que un rechazo cercano o inferior al **90 %** generalmente indica un deterioro significativo de la membrana.

Porcentaje de rechazo =

$$= \frac{\text{Conductividad alimentación} - \text{conductividad permeado}}{\text{Conductividad alimentación}} \times 100$$

Se recomienda medir periódicamente la conductividad del permeado en cada módulo de membrana. Este procedimiento, conocido como **perfilado**, permite identificar si un problema es generalizado en todo el sistema o está localizado en una etapa específica o en una carcasa de presión individual.

Presión Diferencial Normalizada (PDN)

La presión diferencial corresponde a la diferencia entre la presión de alimentación y la presión del concentrado que sale del sistema. Este parámetro representa la caída de

presión a lo largo de los canales de flujo de los elementos de membrana.

A un caudal constante, un aumento en la presión diferencial puede indicar la acumulación de partículas coloidales, incrustaciones inorgánicas o formación de biopelículas que bloquean los canales de flujo.

Debido a que estos valores pueden variar en función de cambios en temperatura y otras variables operativas, la presión diferencial debe ser normalizada para compararla con el valor inicial del sistema.

$$PDN = \text{Caída de presión} \times \frac{\text{Tasa flujo promedio}}{\text{Flujo promedio}}$$

Donde:

$$\text{Caída de presión} = \text{Presión de alimentación} - \text{Presión de concentrado}$$

$$\text{Flujo promedio} = \frac{\text{Flujo permeado} + \text{Flujo concentrado}}{2}$$

Este cálculo permite evaluar el estado de limpieza del espaciador del canal de flujo de la membrana. Dado que estos espaciadores tienen aproximadamente **30 milésimas de pulgada de espesor**, son particularmente susceptibles a obstrucciones.

Un incremento de aproximadamente **10 % en la presión diferencial normalizada** puede indicar la necesidad de realizar una limpieza del sistema.

Conclusión

Los sistemas de ósmosis inversa proporcionan una tecnología confiable para la purificación de agua en aplicaciones industriales y farmacéuticas. Sin embargo, deben ser monitoreados cuidadosamente para garantizar la calidad del agua producida y minimizar los costos operativos asociados con energía, reemplazo prematuro de membranas, pérdida de producción y mantenimiento.

Las membranas representan el componente central del sistema y requieren monitoreo continuo para detectar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas críticas o costosas para la operación.

La normalización de datos constituye el método más efectivo para evaluar el desempeño real de un sistema de ósmosis inversa, ya que permite compensar las variaciones de las condiciones operativas y realizar comparaciones confiables con el rendimiento de referencia del sistema.

Integrada dentro de programas modernos de **Maintenance Excellence y gestión de confiabilidad**, la normalización de datos permite optimizar la operación del sistema, mejorar la eficiencia energética, extender la vida útil de las membranas y fortalecer la confiabilidad de los sistemas de agua utilizados en la industria farmacéutica ●



Más de 30 años cuidando del aire que respiras

Bienvenidos a Venfilter, empresa que desde 1992 diseña, fabrica y comercializa filtros de aire destinados a la protección del medio ambiente, los procesos de fabricación y las personas.



Filtros de alta calidad



Compromiso de satisfacción



Fiabilidad en los procesos
de la industria farmacéutica



Sostenibilidad



Certificación Eurovent



Laboratorio único en España
para EN 1822 y EN 16890

