SEQUITECSA

MANUAL TÉCNICO 07 · PLANTAS DE AGUA

MANUAL DE ÓSMOSIS INVERSA

Todo lo que un equipo de planta necesita para entender, dimensionar, operar, limpiar y diagnosticar un sistema de ósmosis inversa.



Fundamentos | Calidad de agua | Diseño | Operación | Limpieza CIP | Diagnóstico

MÓDULOS

01 Fundamentos

02 Calidad del agua de alimentación

03 Componentes del sistema

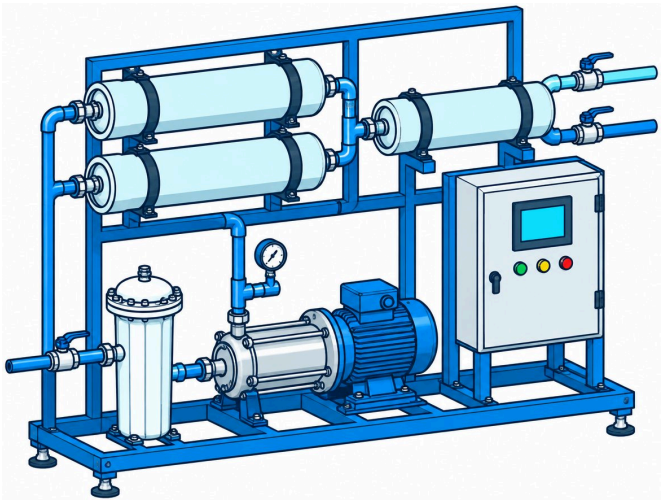
04 Pretratamiento

05 Diseño y dimensionamiento

06 Operación

07 Ensuciamiento y limpieza

08 Diagnóstico y mantenimiento



Para operadores, supervisores, ingenieros de procesos y de mantenimiento de plantas de ósmosis inversa en minería, industria y laboratorios.

CONTENIDO DEL MANUAL

Ocho módulos, del principio físico a la sala de máquinas. Cada página se puede leer sola; las fórmulas se reúnen al final.

01 FUNDAMENTOS

- Ósmosis y presión osmótica 03
- Corrientes, recuperación y rechazo 04
- Cómo pasan el agua y las sales 05
- Aplicaciones 06

02 CALIDAD DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN

- Análisis y unidades 07
- Riesgo de incrustación 08
- Potencial de ensuciamiento 09
- Interpretar un análisis 10

03 COMPONENTES DEL SISTEMA

- La membrana en espiral 11
- Materiales y tipos 12
- Portamembranas 13
- Bomba de alta presión 14
- Instrumentación y válvulas 15

04 PRETRATAMIENTO

- Pretratamiento en una página 16

05 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

- Datos de partida 17
- Flujo de diseño y número de elementos 18
- Arreglos y etapas 19
- Límites de operación 20
- Ejemplo completo 21

06 OPERACIÓN

- Antes del primer arranque 22
- Secuencia de arranque 23
- Parámetros normales de operación 24
- Registro de datos 25
- Normalización 26
- Parada y conservación 27

07 ENSUCIAMIENTO Y LIMPIEZA

- Tipos de ensuciamiento 28
- Incrustación y biofouling 29
- Cuándo limpiar 30
- Selección de limpiadores 31
- Procedimiento de limpieza CIP 32

08 DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO

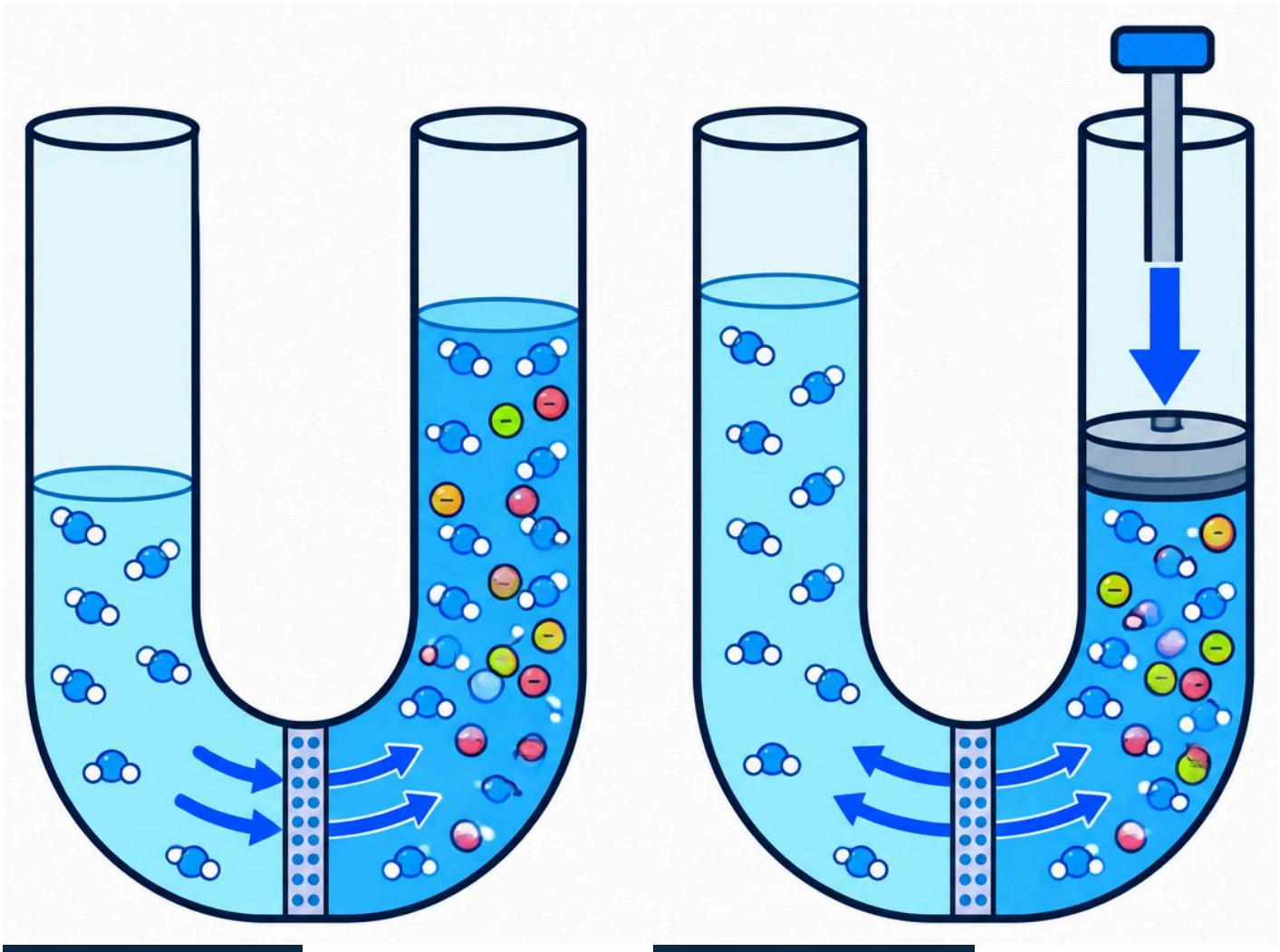
- Síntomas y causas 33
- Árbol de decisión 34
- Pruebas de campo y autopsia 35
- Plan de mantenimiento 36
- Glosario 37

CÓMO USARLO

Si opera una planta, empiece por los módulos 6, 7 y 8. Si va a comprar o ampliar una, por los módulos 2 y 5. Las cifras son de referencia: valide siempre con su fabricante.

ÓSMOSIS Y PRESIÓN OSMÓTICA

Si separamos agua pura y agua salada con una membrana que solo deja pasar el agua, el agua pura fluye hacia el lado salado. La ósmosis inversa invierte ese flujo aplicando presión.



LA PRESIÓN OSMÓTICA

$$\pi = i \cdot C \cdot R \cdot T$$

π: presión osmótica (bar). i: número de iones por molécula (2 para NaCl). C: concentración molar (mol/L). R: 0,08314 L·bar/(mol·K). T: temperatura (K).

REGLA PRÁCTICA

≈ 0,7–0,8 bar por cada 1 000 mg/L de sales (dominio de NaCl)

Agua de pozo salobre 2 000 mg/L → π ≈ 1,5 bar

Agua de mar 35 000 mg/L → π ≈ 27 bar

LO QUE HAY QUE VENCER

- **Ósmosis natural:** el agua pasa del lado diluido al concentrado, sin energía externa.
- **Equilibrio:** el flujo se detiene cuando la columna de agua iguala la presión osmótica.
- **Ósmosis inversa:** si aplicamos más presión que π del lado salado, el agua pasa al lado diluido y las sales quedan atrás.
- Cuanta más sal tenga el agua, más presión se necesita: por eso desalar agua de mar exige bombas de 55 a 70 bar.

IDEA CLAVE

La bomba de alta presión no "empuja la sal": empuja el agua. La membrana es la que discrimina.

CORRIENTES, RECUPERACIÓN Y RECHAZO

Toda planta de ósmosis inversa tiene una entrada y dos salidas. Tres números resumen su desempeño: recuperación, rechazo de sales y factor de concentración.

ALIMENTACIÓN	MEMBRANAS	PERMEADO	CONCENTRADO
Qf · Cf	Separación por presión	Qp · Cp: agua producto	Qc · Cc: sales retenidas

$R\,(\%) = Qp / Qf \times 100$

Recuperación. Fracción de la alimentación que se convierte en permeado.

$RS\,(\%) = (1 - Cp/Cf) \times 100$

Rechazo de sales. Su complemento es el paso de sales: PS = Cp/Cf.

$FC = 1 / (1 - R)$

Factor de concentración aproximado del concentrado (si la membrana retiene casi todo).

BALANCE DE MASA

$$Qf = Qp + Qc \cdot Qf \cdot Cf = Qp \cdot Cp + Qc \cdot Cc$$

EJEMPLO RESUELTO

```
Qf = 40 m³/h · Qp = 30 m³/h → R = 75 %
Qc = 40 − 30 = 10 m³/h
FC = 1 / (1 − 0,75) = 4
Cf = 1 200 mg/L → Cc ≈ 4 800 mg/L
Rechazo 97 % → Cp ≈ 36 mg/L
```

RANGOS USUALES

Aplicación	Recuperación	Rechazo
Agua salobre, 2 etapas	70–80 %	96–99 %
Agua salobre, 3 etapas	80–85 %	96–99 %
Agua de mar	35–50 %	99,4–99,8 %
Segundo paso (pulido)	85–90 %	90–98 %

El límite de recuperación lo pone la sal que primero precipita en el concentrado.

CÓMO PASAN EL AGUA Y LAS SALES

El agua y las sales cruzan la membrana por mecanismos distintos. Entenderlo explica por qué la presión mejora el permeado y la temperatura lo empeora.

FLUJO DE AGUA

$$Jw = A \cdot (\Delta P - \Delta \pi)$$

Proporcional a la **presión neta**. A: permeabilidad al agua de la membrana (sube con la temperatura).

FLUJO DE SALES

$$Js = B \cdot \Delta C$$

Proporcional a la **diferencia de concentración**, no a la presión. B: permeabilidad a las sales (también sube con la temperatura).

LA PRESIÓN NETA DE OPERACIÓN (NDP)

$$NDP = (Pf + Pc)/2 - Pp - [(\pi f + \pi c)/2 - \pi p]$$

Presión promedio del lado de alimentación, menos la contrapresión del permeado, menos la presión osmótica neta. Es la "fuerza" real que produce agua.

QUÉ PASA CUANDO CAMBIA UNA VARIABLE

Si aumenta...	Caudal de permeado	Calidad del permeado	Por qué
Presión de alimentación	Sube	Mejora	Más agua diluye la misma cantidad de sal
Temperatura	Sube (≈ 3 % por °C)	Empeora	A y B aumentan; la sal pasa más
Salinidad de alimentación	Baja	Empeora	Más π y más diferencia de concentración
Recuperación	Sube en total	Empeora	El concentrado se vuelve más salado
Contrapresión de permeado	Baja	Empeora	Se reduce la NDP

CONSECUENCIA PRÁCTICA

En invierno la planta produce menos con la misma presión; en verano produce más pero con peor calidad. Por eso los datos se normalizan a 25 °C antes de compararlos (Módulo 6).

DÓNDE SE USA LA ÓSMOSIS INVERSA

La misma tecnología resuelve problemas muy distintos. Cambian el tipo de membrana, la presión y el pretratamiento.

AGUA POTABLE

Pozos salobres, nitratos, arsénico, flúor y dureza en campamentos y poblaciones.

MINERÍA

Agua de procesos, reúso de efluentes, agua para campamentos y alimentación de calderas.

CALDERAS Y ENERGÍA

Agua de reposición desmineralizada; antes de lechos mixtos o electrodesionización.

LABORATORIOS

Agua Tipo III como pretratamiento del Tipo II y del Tipo I.

ALIMENTOS Y BEBIDAS

Agua de producto estable, concentración de jugos y lácteos.

DESALACIÓN

Agua de mar para operaciones costeras: alta presión y recuperación limitada.

LO QUE RETIENE Y LO QUE NO

Contaminante	Retención típica
Sales disueltas (Na, Cl, Ca, SO_4)	95–99,5 %
Metales (As, Pb, Cr, Fe disuelto)	> 95 %
Nitrato, borato	85–95 %; borato depende del pH
Bacterias y virus	Alta, pero no es barrera estéril por sellos y juntas
Gases disueltos (CO_2, H_2S)	Prácticamente nula
Orgánicos de bajo peso molecular	Variable

CO_2 Y PH DEL PERMEADO

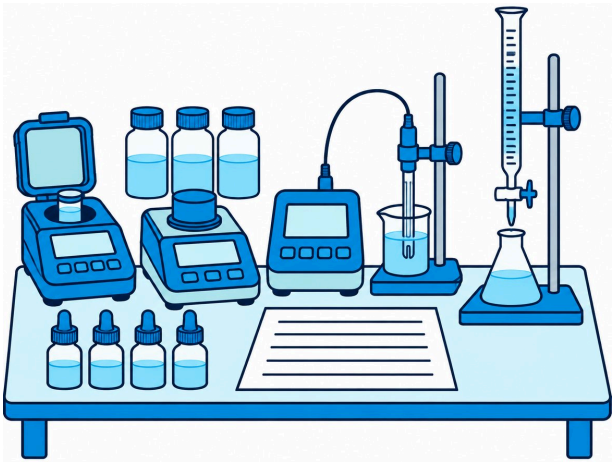
El CO_2 pasa la membrana libremente y el bicarbonato no: el permeado sale con pH ácido (5–6). Si necesita pH neutro, ajústelo después o elimine el CO_2 antes con desgasificación.

NO ES ESTERILIZANTE

Para agua de uso farmacéutico o de laboratorio Tipo I, la ósmosis va acompañada de etapas de pulido y desinfección.

EL ANÁLISIS DE AGUA Y SUS UNIDADES

Un diseño confiable empieza con un análisis completo, coherente y expresado en unidades que se puedan comparar.



UNIDADES QUE USARÁ

Unidad	Qué expresa
mg/L (≈ ppm)	Masa de un ion por litro
mg/L como $CaCO_3$	Dureza y alcalinidad en una base común
meq/L	Carga eléctrica: permite sumar iones distintos
µS/cm	Conductividad: estimación rápida de las sales
NTU	Turbidez
SDI_{15}	Potencial de ensuciamiento coloidal

meq/L = mg/L ÷ (peso atómico / carga)

Ejemplo: 80 mg/L de Ca^{2+} ÷ (40,08 / 2) = 4,0 meq/L.

ESTIMAR SÓLIDOS DISUELTOS

STD (mg/L) ≈ k × CE (µS/cm)

k entre 0,55 y 0,75 según la composición del agua; determine su k con un análisis completo y úselo para el control diario.

BALANCE IÓNICO

Error (%) = (Σcat − Σan) / (Σcat + Σan) × 100

Con un error mayor a ± 5 % el análisis no es confiable para diseñar: falta un ion o hay un error de laboratorio.

RIESGO DE INCRUSTACIÓN

En el concentrado, las sales se multiplican por el factor de concentración. La pregunta de diseño es cuál supera primero su solubilidad.

ÍNDICE DE LANGELIER (LSI)

LSI = pH – pHs

pHs = (9,3 + A + B) – (C + D). A = (log STD – 1)/10. B = –13,12·log(T + 273) + 34,55. C = log(Ca como $CaCO_3$) – 0,4. D = log(alcalinidad como $CaCO_3$).

LSI del concentrado	Lectura
< 0	No tiende a formar $CaCO_3$
0 a +1,8	Controlable con antiincrustante (según producto)
> +1,8	Requiere ácido o ablandamiento además

Calcule con los valores del CONCENTRADO (Ca, alcalinidad y STD × FC; pH más alto que en la alimentación). Para aguas muy salinas se usa el índice de Stiff & Davis.

OTRAS SALES A VIGILAR

Sal	Comentario
Sulfato de calcio	Compare el producto iónico del concentrado con su solubilidad
Sulfato de bario	Muy poco soluble: trazas de bario ya son relevantes
Sulfato de estroncio	Similar al bario, menos crítico
Sílice	Solubilidad ≈ 100–120 mg/L a 25 °C; baja con el frío
Fluoruro de calcio	En aguas con flúor alto

USE EL SOFTWARE

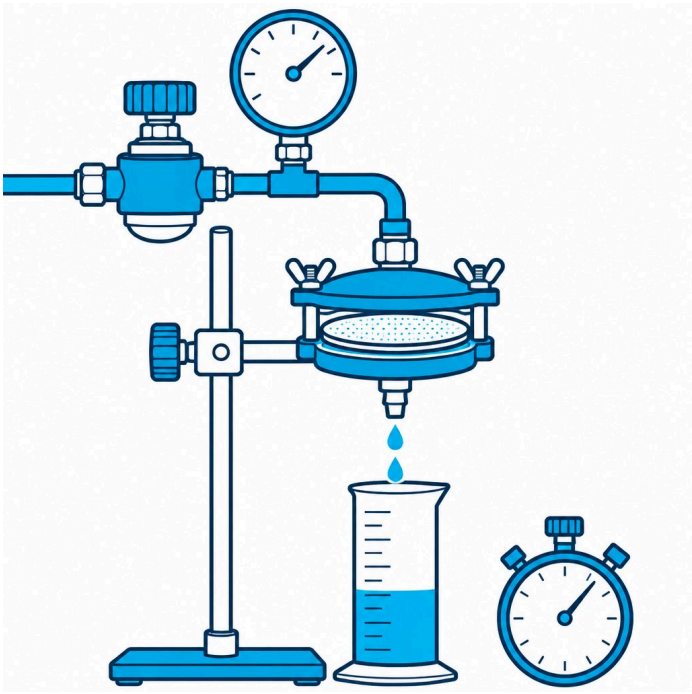
Los programas de proyección de los fabricantes calculan todas las saturaciones a la vez. Estas fórmulas sirven para entender y revisar el resultado.

EJEMPLO DE CONCENTRACIÓN

Sílice en alimentación 30 mg/L · recuperación 75 % → FC = 4
Sílice en concentrado ≈ 120 mg/L: en el límite de solubilidad
Opciones: bajar la recuperación al 70 % (≈ 100 mg/L) o usar antiincrustante para sílice

POTENCIAL DE ENSUCIAMIENTO

Mientras la incrustación nace del agua que se concentra, el ensuciamiento llega ya formado: partículas, coloides, orgánicos, metales y microorganismos.



INDICADORES

Indicador	Valor guía	Qué revela
SDI_{15}	< 3 (máx. 5)	Coloides y partículas finas
Turbidez	< 1 NTU	Sólidos en suspensión
COT	Vigilar si > 2–3 mg/L	Carga orgánica y alimento para bacterias
Hierro y manganeso	< 0,05 mg/L	Óxidos que precipitan
Aluminio	Residual bajo	Arrastre de coagulante
Recuento bacteriano	Tendencia estable	Riesgo de biofouling

MEDICIÓN DEL SDI PASO A PASO

1

PREPARAR

Membrana de 0,45 µm y 47 mm, regulador a 2,1 bar (30 psi), probeta de 500 mL y cronómetro.

2

PURGAR

Deje correr el agua por la línea y el portafiltro sin aire atrapado.

3

MEDIR T_1

Tiempo para recoger los primeros 500 mL.

4

ESPERAR

Mantenga el flujo continuo durante 15 minutos.

5

MEDIR T_2

Tiempo para recoger otros 500 mL.

6

CALCULAR

$SDI_{15} = (1 - t_1/t_2) \times 100/15$.

SI EL FILTRO SE TAPA ANTES DE 15 MINUTOS

Use 5 o 10 minutos y declare el SDI correspondiente (SDI_5, SDI_{10}), o mejor: el agua no es apta y el pretratamiento debe mejorar.

INTERPRETAR UN ANÁLISIS COMPLETO

Un ejemplo de agua de pozo de la zona sur, leída con los criterios de este módulo. Valores ilustrativos.

ANÁLISIS DE EJEMPLO

Parámetro	Valor
pH / temperatura	7,6 / 20 °C
Conductividad	1 850 µS/cm
STD	1 200 mg/L
Calcio (como $CaCO_3$)	310 mg/L
Alcalinidad (como $CaCO_3$)	220 mg/L
Sulfato	380 mg/L
Sílice	30 mg/L
Hierro total	0,25 mg/L
Bario	0,05 mg/L
SDI_{15}	2,1
Cloro libre	No detectable

LECTURA TÉCNICA

SALINIDAD

1 200 mg/L: agua salobre baja. Membrana de agua salobre, presión de operación moderada (≈ 8–12 bar).

INCRUSTACIÓN

Calcio y alcalinidad altos: LSI del concentrado positivo al 75 %. Sílice cerca del límite. Bario presente: requiere antiincrustante adecuado.

ENSUCIAMIENTO

SDI bajo, pero el hierro supera 0,05 mg/L: necesita oxidación y filtración catalítica o un pozo hermético.

DECISIÓN

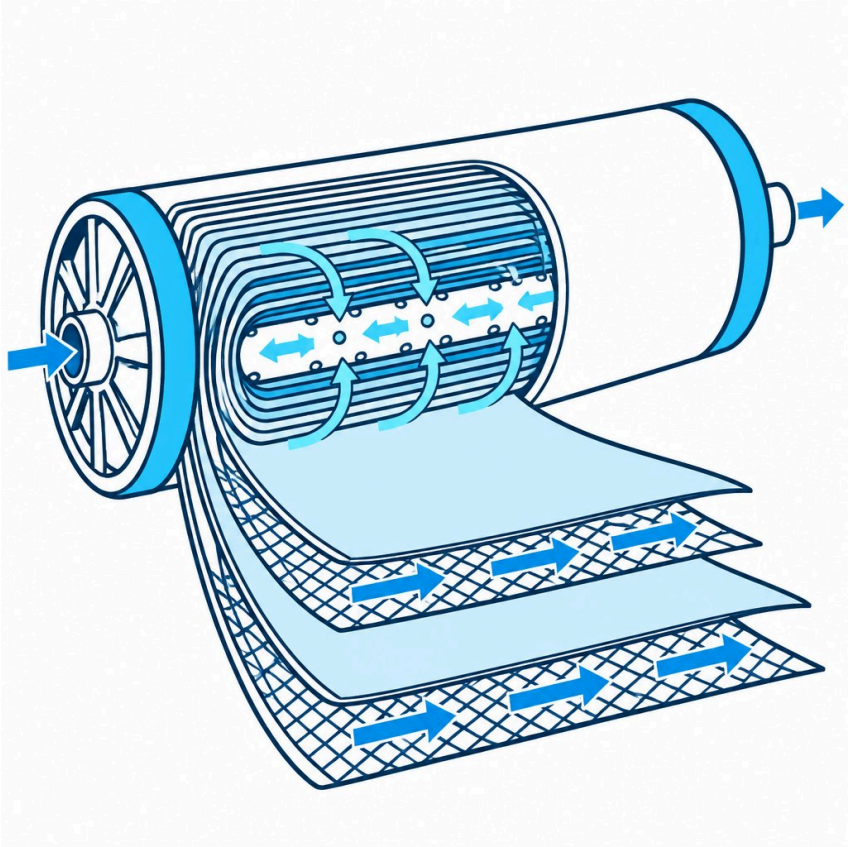
Remoción de hierro → antiincrustante para carbonato, sulfatos y sílice → cartucho de 5 µm → OI de dos etapas al 72–75 %.

CADA AGUA ES DISTINTA

Este ejemplo es solo didáctico. Con su análisis real, SEQUITECSA corre la proyección del fabricante y le entrega el diseño justificado.

ANATOMÍA DE LA MEMBRANA EN ESPIRAL

Un elemento de ósmosis inversa es un "sobre" de membrana enrollado alrededor de un tubo perforado. El agua viaja a lo largo; el permeado gira en espiral hacia el centro.



HOJAS DE MEMBRANA

Pares de membrana pegados por tres lados forman un sobre; el cuarto lado se une al tubo central.

ESPACIADOR DE ALIMENTACIÓN

Malla que separa las hojas, crea turbulencia y define el canal por donde pasa el agua y se acumula la suciedad.

ESPACIADOR DE PERMEADO

Tejido dentro del sobre que conduce el permeado hacia el tubo central.

TUBO DE PERMEADO

Colector perforado en el eje del elemento.

SELLO DE SALMUERA

Junta en el extremo de entrada que obliga al agua a pasar por dentro del elemento y no por fuera.

ENVOLTURA Y DISPOSITIVO ANTITELESCÓPICO

Fibra de vidrio exterior y piezas de los extremos que impiden que las hojas se desplacen.

MATERIALES Y TIPOS DE MEMBRANA

Casi todas las plantas actuales usan membranas compuestas de poliamida. Elegir el tipo correcto depende de la salinidad, el ensuciamiento esperado y la energía disponible.

POLIAMIDA VS. ACETATO DE CELULOSA

	Poliamida compuesta (TFC)	Acetato de celulosa
Rechazo	Alto	Menor
Rango de pH	Amplio (2–11)	Estrecho (≈ 4–6)
Tolerancia a cloro	Muy baja	Tolera bajas dosis continuas
Presión necesaria	Menor	Mayor
Uso actual	Estándar del mercado	Casos especiales

FAMILIAS DE MEMBRANA

Tipo	Uso
Agua salobre estándar	Pozos y aguas superficiales
Baja energía	Aguas poco salinas: menos presión
Resistente al ensuciamiento	Aguas superficiales y reúso
Agua de mar	Alta presión y máximo rechazo
Nanofiltración	Ablandamiento y retención de orgánicos con menor presión

TAMAÑOS COMERCIALES

Designación	Diámetro × largo	Área activa aprox.	Uso típico
2540	2,5″ × 40″	2,5–2,8 m^2	Equipos pequeños y laboratorio
4040	4″ × 40″	7–8 m^2	Plantas pequeñas y medianas
8040	8″ × 40″	37–41 m^2	Plantas industriales

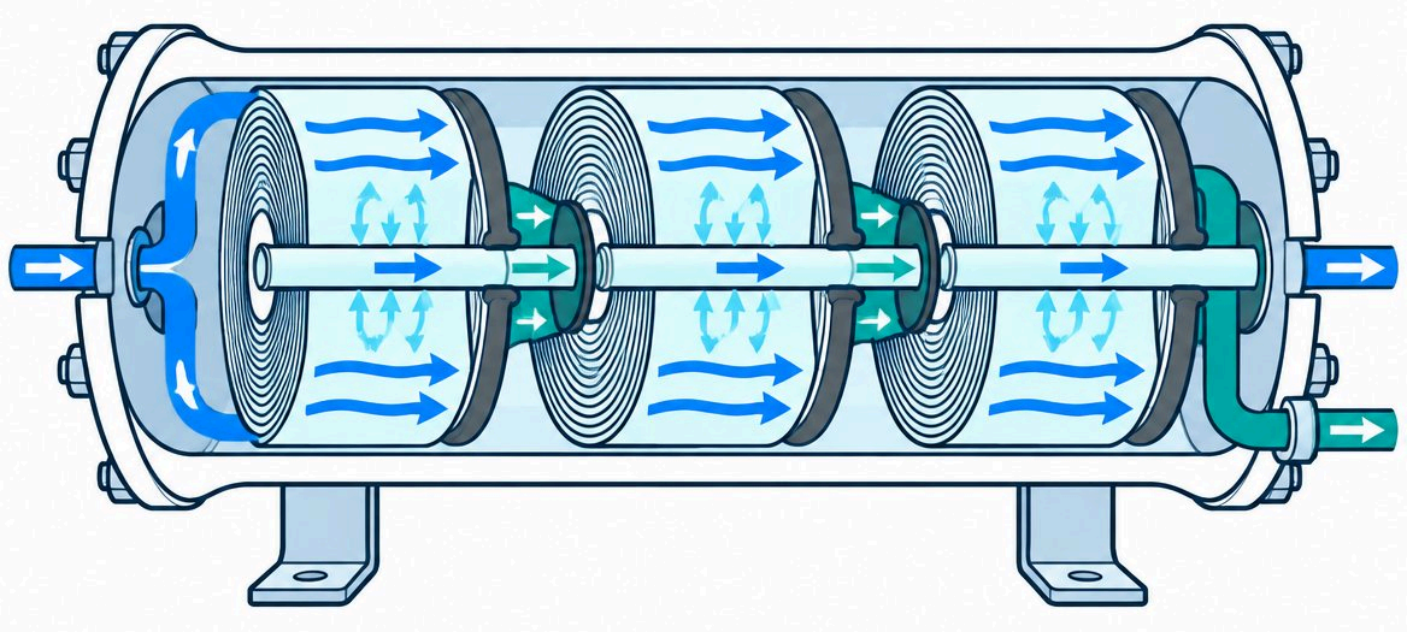
El área exacta depende del modelo. Use la ficha técnica del elemento que instala.

AL REEMPLAZAR

No mezcle modelos ni marcas distintas en el mismo vaso sin evaluarlo: las diferencias de permeabilidad desbalancean el flujo entre elementos.

PORTAMEMBRANAS (VASOS DE PRESIÓN)

Los elementos se instalan en serie dentro de un tubo de fibra de vidrio o acero inoxidable. El concentrado de un elemento es la alimentación del siguiente.



PARTES Y CUIDADOS

- **Cabezales y anillos de retención:** cierran el vaso; revíselos en cada apertura.
- **Interconectores con o-rings:** unen los tubos de permeado; un o-ring dañado mezcla alimentación con permeado.
- **Adaptadores y espaciadores de empuje:** fijan la posición de los elementos.
- **Puertos laterales o en cabezal:** entrada, concentrado y permeado.

ESPECIFICACIONES A REVISAR

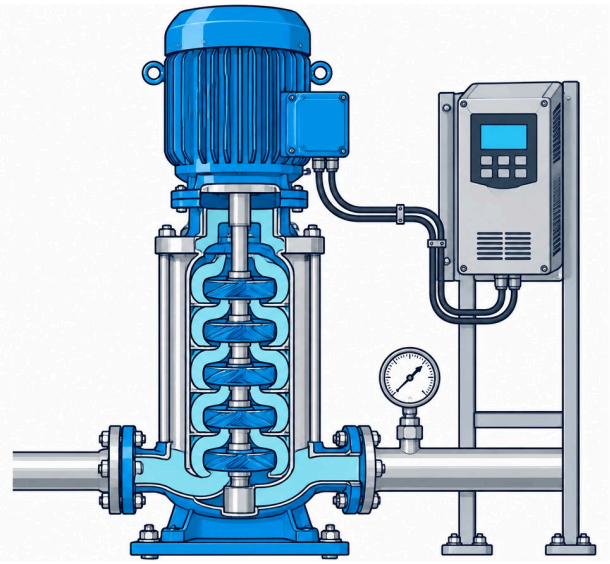
Dato	Por qué importa
Presión de diseño	Debe superar la máxima de la bomba
Número de elementos (1 a 8)	Define la recuperación por vaso
Material	FRP para la mayoría; inoxidable en casos especiales
Dirección de flujo	Marcada en el vaso; respétela al cargar

SEGURIDAD

Nunca abra ni afloje un cabezal con el vaso presurizado. Despresurice y drene antes de intervenir.

BOMBA DE ALTA PRESIÓN

Entrega la energía que vence la presión osmótica. Es el equipo que más consume y el que más protecciones necesita.



TIPOS USUALES

Tipo	Aplicación
Centrífuga multietapa vertical	Agua salobre, plantas pequeñas y medianas
Centrífuga multietapa horizontal	Caudales mayores
Pistón o desplazamiento positivo	Agua de mar en plantas pequeñas

VARIADOR DE FRECUENCIA

Permite arrancar en rampa (sin golpe de ariete), ajustar la presión a medida que las membranas envejecen o cambia la temperatura y ahorrar energía frente a estrangular con válvula.

PROTECCIONES MÍNIMAS

1
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN
Evita cavitación y marcha en seco.

2
ALTA PRESIÓN DE DESCARGA
Protege membranas y tuberías.

3
ARRANQUE EN RAMPA
Variador o válvula de apertura lenta.

4
VÁLVULA DE RETENCIÓN
Impide el retroceso al parar.

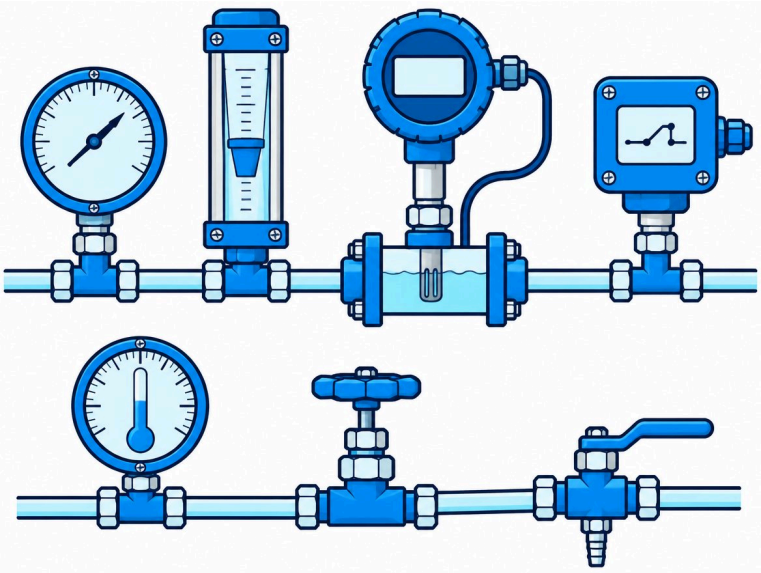
5
ORP / CLORO
Bloquea el arranque si hay oxidante.

POTENCIA HIDRÁULICA

$P\,(kW) \approx Q\,(m^3/h) \times \Delta P\,(bar) / (36 \times \eta)$. Con 40 m^3/h, 12 bar y 70 % de eficiencia: ≈ 19 kW. Una presión innecesariamente alta se paga cada hora.

INSTRUMENTACIÓN Y VÁLVULAS

Sin instrumentos confiables no hay normalización ni diagnóstico. Cada lectura tiene un propósito.



PUNTOS MÍNIMOS

Instrumento	Dónde
Presión	Entrada y salida de cartucho, descarga de bomba, entre etapas, concentrado, permeado
Caudal	Permeado y concentrado (por etapa si es posible)
Conductividad	Alimentación, permeado total y por vaso
Temperatura	Alimentación
pH y ORP	Alimentación
Válvulas de muestreo	Cada vaso y cada etapa

VÁLVULAS CLAVE

- **Válvula de concentrado:** fija la recuperación. Ajústela de a poco.
- **Válvula de alimentación o variador:** fija la presión y el caudal.
- **Válvula de descarga de permeado:** siempre abierta en operación; nunca bloquee el permeado.
- **Válvula de enjuague (flush):** para desplazar el concentrado al parar.

CONTRAPRESIÓN DE PERMEADO

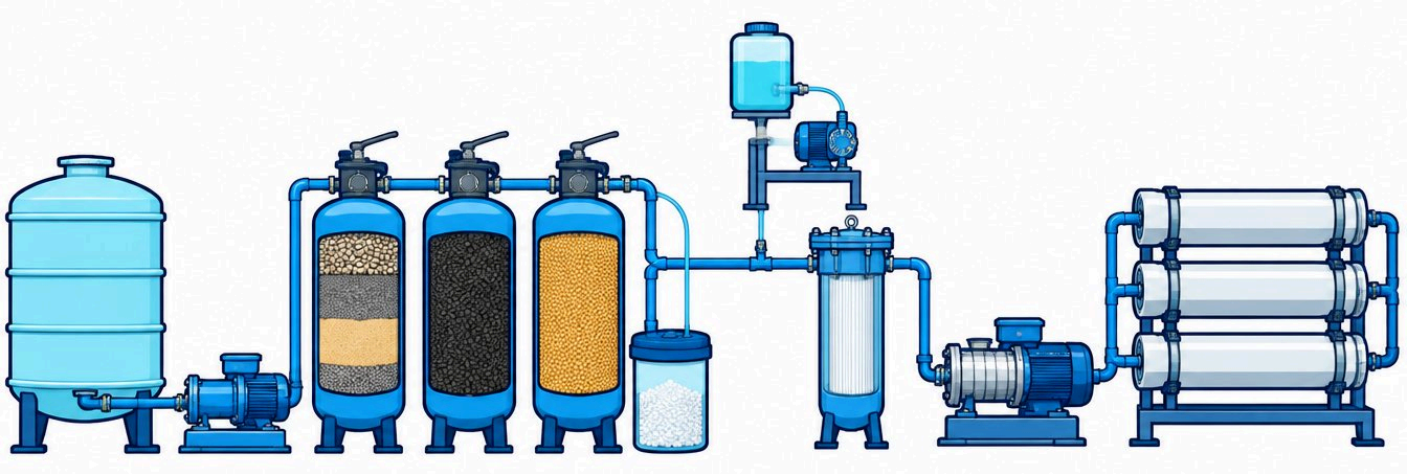
La presión del permeado nunca debe superar la del lado de alimentación: puede despegar las hojas de membrana. Proteja la línea con alivio o retención adecuados.

CALIBRACIÓN

Calibre manómetros, caudalímetros y conductivímetros al menos una vez al año. Una lectura falsa de 5 % esconde una pérdida real de 5 %.

EL PRETRATAMIENTO EN UNA PÁGINA

El pretratamiento decide la vida de las membranas. Aquí está el resumen; el detalle de cada etapa está en la **Guía 08 · Pretratamiento para ósmosis inversa**.



Etapa	Qué retira o evita	Control clave
Coagulación y clarificación	Turbidez y color de aguas superficiales	Turbidez de salida, prueba de jarras
Filtración multimedia	Sólidos y coloides	ΔP, turbidez y SDI
Oxidación + filtro catalítico	Hierro y manganeso	Fe y Mn < 0,05 mg/L
Carbón activado o bisulfito	Cloro y oxidantes	Cloro no detectable, ORP
Ablandador, ácido o antiincrustante	Incrustación en el concentrado	Dureza, pH, dosis
UV / ultrafiltración / biocida	Microorganismos	Recuentos y ΔP 1.ª etapa
Cartucho de 5 µm	Última barrera de partículas	ΔP y color del cartucho

MÍNIMOS INNEGOCIABLES

Cloro libre no detectable, $SDI_{15} < 5$ (ideal < 3) y una barrera contra la incrustación dimensionada para su recuperación.

PARA PROFUNDIZAR

Descargue la Guía 08 en sequitecsa.com/guias: incluye cálculos de bisulfito y antiincrustante, valores de diseño de filtros y una hoja de control.

DATOS DE PARTIDA PARA DISEÑAR

Un buen diseño se decide antes de dibujar: qué agua entra, qué agua se necesita y en qué condiciones operará la planta.

LO QUE NECESITA SABER

Dato	Ejemplo
Caudal de permeado requerido	30 m^3/h (720 m^3/día)
Horas de operación	24 h, con margen para limpiezas
Calidad de permeado exigida	< 50 mg/L STD
Análisis completo de alimentación	Ver Módulo 2
Temperatura mínima y máxima	12–28 °C
Fuente y pretratamiento previsto	Pozo, SDI < 3
Destino del concentrado	Permiso de vertimiento o reúso
Energía y espacio disponibles	Tensión, área, altura

DECISIONES QUE SE TOMAN

- Tipo de membrana y número de elementos.
- Flujo de diseño según la fuente.
- Recuperación máxima segura.
- Número de etapas y arreglo de vasos.
- Presión de la bomba con margen para membranas envejecidas y agua fría.
- Necesidad de segundo paso o pulido.

DISEÑE PARA LA PEOR CONDICIÓN

Agua más fría (menos caudal), membranas con 3 años de uso (–10 a –15 % de permeabilidad) y la calidad de alimentación más salina del año.

PROYECCIÓN DEL FABRICANTE

Todo diseño debe validarse con el programa de proyección del fabricante de membranas. Los pasos de este módulo permiten entender y revisar ese resultado.

FLUJO DE DISEÑO Y NÚMERO DE ELEMENTOS

El flujo (litros por metro cuadrado de membrana por hora) es la decisión de diseño más importante: un flujo alto ahorra membranas pero ensucia más rápido.

FLUJO ESPECÍFICO

$$J\ (L/m^2 \cdot h) = Qp\ (L/h) / (N \times A)$$

N: número de elementos. A: área de cada elemento (m^2).

NÚMERO DE ELEMENTOS

$$N = Qp / (J \times A)$$

Redondee hacia arriba a un múltiplo del número de elementos por vaso.

FLUJO PROMEDIO ORIENTATIVO

Fuente (SDI)	J ($L/m^2 \cdot h$)
Permeado de OI (2.º paso)	30–40
Pozo (SDI < 3)	22–28
Superficial con UF (SDI < 2,5)	20–26
Superficial convencional (SDI < 5)	17–22
Efluente terciario	12–17
Mar, pozo playero	13–17
Mar, captación abierta	11–15

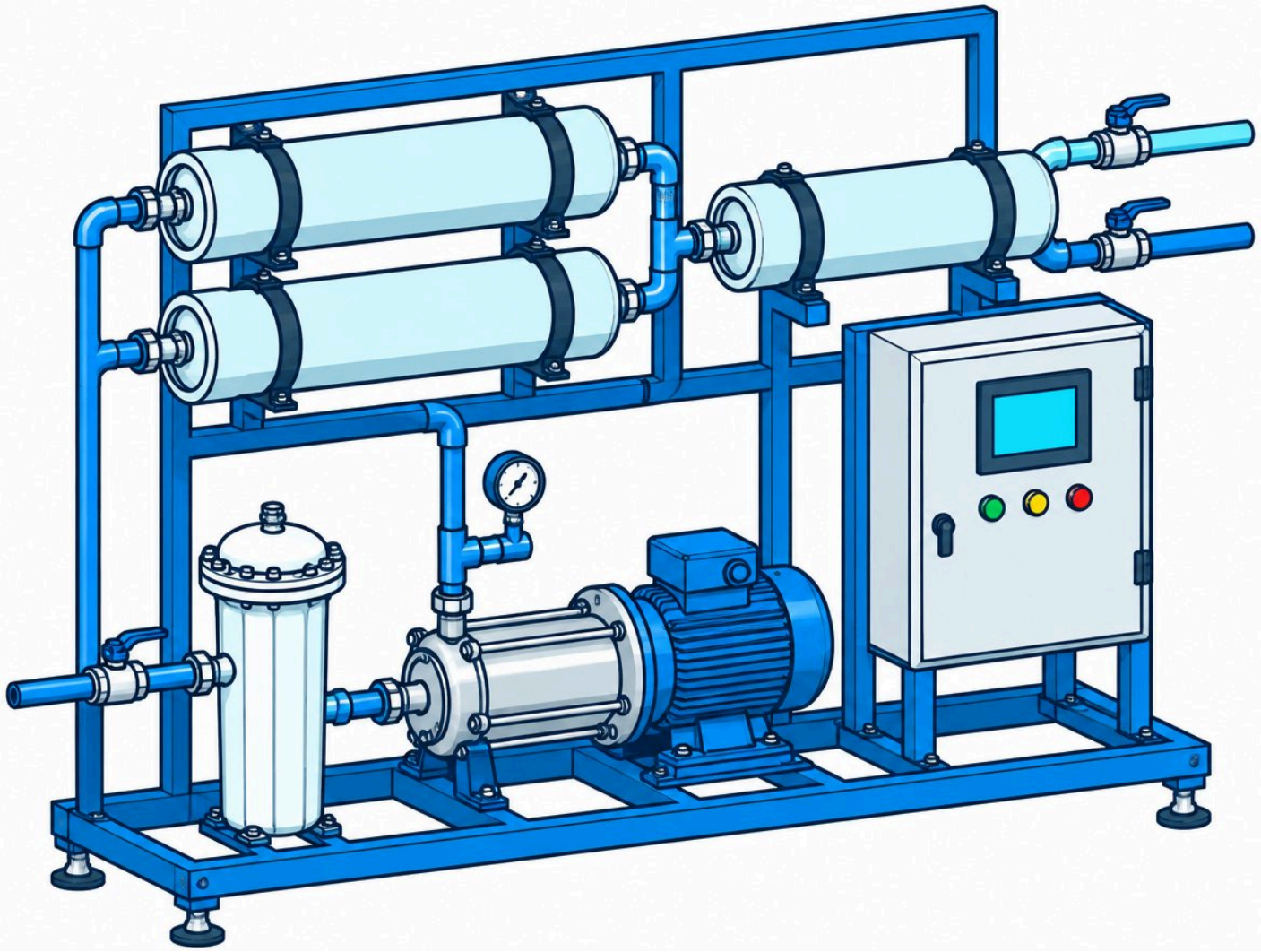
Rangos de referencia de la industria. Use los del fabricante para su membrana.

EJEMPLO · POZO, 30 M^3/H, ELEMENTOS 8040 DE 37,2 M^2

```
J elegido = 25 L/m²·h → área = 30 000 / 25 = 1 200 m²
N = 1 200 / 37,2 = 32,3 → 36 elementos (6 vasos de 6 elementos)
Flujo real = 30 000 / (36 × 37,2) = 22,4 L/m²·h ✓
```

ARREGLOS, ETAPAS Y PASOS

Una etapa recupera poco; para recuperar más, el concentrado de una etapa alimenta a la siguiente con menos vasos, para mantener la velocidad del agua.



UNA ETAPA

Vasos en paralelo. Recuperación ≈ 50 % con vasos de 6 elementos. Equipos pequeños.

DOS ETAPAS (2:1)

El concentrado de la 1.ª etapa alimenta una 2.ª etapa con la mitad de vasos. Recuperación 70–80 %.

TRES ETAPAS (4:2:1)

Para recuperaciones de 80–85 % en agua salobre de baja salinidad.

ETAPA NO ES LO MISMO QUE PASO

Etapa: el concentrado sigue a otra etapa (aumenta la recuperación). **Paso:** el permeado se vuelve a tratar en otra ósmosis (mejora la calidad).

EQUILIBRAR EL FLUJO

La primera etapa produce más que la última. Si la diferencia es grande, se usa una bomba de refuerzo entre etapas o contrapresión en el permeado de la 1.ª etapa.

LÍMITES POR ELEMENTO Y POR VASO

Los fabricantes fijan límites para evitar que la suciedad se acumule y que los elementos se dañen. El diseño debe respetarlos en todas las condiciones.

Parámetro (elemento 8" de agua salobre)	Valor guía típico	Si se excede
Caudal máximo de alimentación por vaso	≈ 14–17 m^3/h	Alta ΔP, daño telescópico
Caudal mínimo de concentrado por vaso	≈ 3–4 m^3/h según fuente	Polarización e incrustación
Recuperación máxima por elemento	≈ 15–18 %	Concentración excesiva en la superficie
ΔP máxima por elemento	≈ 1 bar (15 psi)	Daño mecánico
ΔP máxima por vaso	≈ 3,5 bar (50 psi)	Telescopiado, rotura de envoltura
Presión máxima de operación	≈ 41 bar (salobre)	Compactación, rotura
Temperatura máxima	45 °C	Pérdida de rechazo
pH continuo / limpieza	2–11 / 1–13 (corto tiempo)	Hidrólisis de la poliamida

Valores representativos de catálogos de membranas de poliamida de 8". Cada modelo tiene los suyos: revise la ficha técnica.

POLARIZACIÓN DE CONCENTRACIÓN

Junto a la membrana, la sal se acumula más que en el seno del agua. La velocidad mínima de concentrado mantiene esa capa delgada.

POR QUÉ IMPORTA EL ÚLTIMO ELEMENTO

Recibe el agua más concentrada y con menos caudal: allí empiezan casi siempre la incrustación y la pérdida de calidad.

EJEMPLO COMPLETO DE DIMENSIONAMIENTO

El caso de las páginas anteriores, de principio a fin. Valores redondeados para entender el método; la proyección del fabricante dará cifras exactas.

DATOS

Dato	Valor
Permeado requerido	30 m^3/h
Fuente	Pozo, 1 200 mg/L, SDI 2,1
Recuperación objetivo	75 %
Elemento	8040, 37,2 m^2
Elementos por vaso	6

CAUDALES

BALANCE

```
Qf = 30 / 0,75 = 40 m³/h
Qc = 40 − 30 = 10 m³/h
FC = 4 → Cc ≈ 4 800 mg/L
```

ARREGLO 2:1 (4 + 2 VASOS)

	1.ª etapa	2.ª etapa
Vasos	4	2
Alimentación total	40 m^3/h	20 m^3/h
Por vaso	10 m^3/h ✓	10 m^3/h ✓
Recuperación de etapa	≈ 50 %	≈ 50 %
Permeado	≈ 20 m^3/h	≈ 10 m^3/h
Concentrado por vaso	5 m^3/h	5 m^3/h ✓

Ambos vasos de 2.ª etapa quedan sobre el mínimo de concentrado (≈ 3–4 m^3/h) y bajo el máximo de alimentación.

VERIFICACIONES

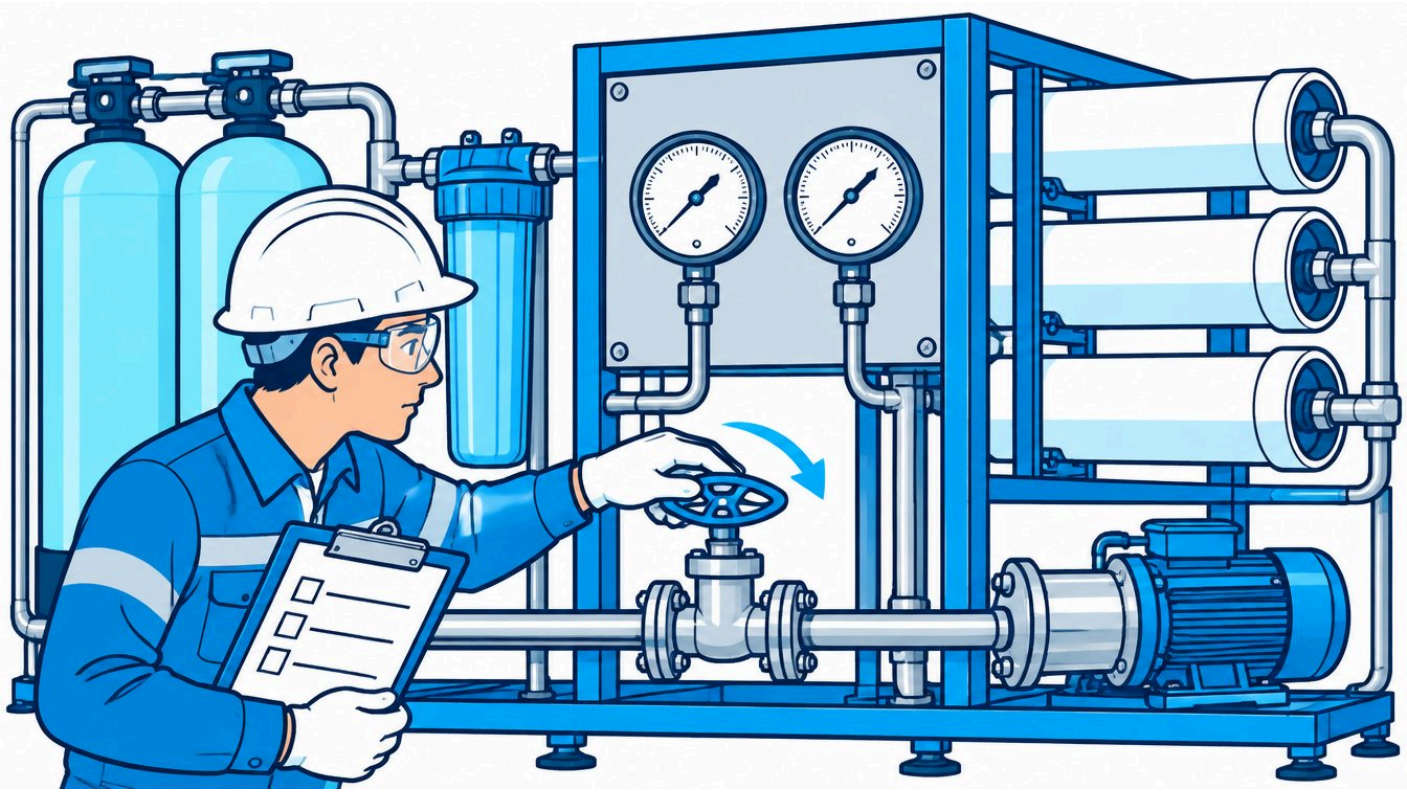
- Flujo promedio 22,4 L/m^2·h: dentro del rango para pozo.
- Sílice en concentrado ≈ 120 mg/L: requiere antiincrustante para sílice o bajar a 72 %.
- LSI del concentrado positivo: antiincrustante para carbonato.
- Presión estimada de 10–13 bar: bomba con margen hasta 16 bar.

RESULTADO

6 vasos de 6 elementos 8040 en arreglo 4:2, bomba de 40 m^3/h a ≈ 16 bar con variador, antiincrustante y remoción de hierro. Validar con la proyección del fabricante.

INSPECCIÓN ANTES DEL ARRANQUE

La mayoría de las fallas de arranque se evitan con una revisión ordenada antes de presurizar.



MECÁNICA E HIDRÁULICA

- ☐ Tuberías limpias y lavadas antes de cargar membranas.
- ☐ Elementos cargados en la dirección de flujo correcta, con sellos de salmuera del lado de entrada.
- ☐ Interconectores y o-rings lubricados solo con agua o glicerina.
- ☐ Cabezales y anillos de retención bien asentados.
- ☐ Válvula de concentrado abierta; permeado libre al desagüe.

PRETRATAMIENTO, QUÍMICA E INSTRUMENTOS

- ☐ Pretratamiento operando y estable; SDI y cloro verificados.
- ☐ Antiincrustante preparado y bomba calibrada.
- ☐ Instrumentos calibrados y alarmas probadas.
- ☐ Enclavamientos de baja succión, alta presión y ORP operativos.
- ☐ Hoja de registro lista para los datos iniciales.

MEMBRANAS NUEVAS

Vienen con una solución de preservación. El permeado de las primeras horas se descarta hasta que la conductividad se estabilice.

SECUENCIA DE ARRANQUE

El objetivo es llenar sin aire, presurizar sin golpes y llegar al punto de operación de forma controlada.

1

PURGAR AIRE

Llene a baja presión con el pretratamiento, con concentrado y permeado al desagüe.

2

ENJUAGAR

Lavado a baja presión (≈ 2–4 bar) durante 30 minutos o lo que indique el fabricante.

3

DOSIFICAR

Arranque la bomba de antiincrustante y verifique el punto de inyección.

4

PRESURIZAR

Arranque la bomba de alta presión en rampa; nunca a válvula abierta de golpe.

5

AJUSTAR

Lleve presión y concentrado poco a poco hasta la recuperación de diseño.

6

DESCARTAR

Envíe el permeado al desagüe hasta que la conductividad sea estable y conforme.

PRIMERAS 48 HORAS

- Registre datos cada hora durante el primer turno y luego cada turno.
- Mida la conductividad de cada vaso para detectar o-rings mal colocados.
- Revise fugas en cabezales, uniones y bombas.
- Guarde estos datos como "línea base" para la normalización.

GOLPE DE ARIETE

Presurizar de golpe puede telescopiar los elementos o romper la envoltura. Use rampa de variador o abra la válvula de alimentación lentamente.

PARÁMETROS NORMALES Y ALARMAS

Una planta sana se reconoce por la estabilidad de sus números. Defina sus rangos con los datos de arranque y la proyección.

±5 %
Variación normal del caudal de permeado normalizado

±5 %
Variación normal del paso de sales normalizado

< 1 bar
ΔP típica por etapa en salobre (según diseño)

0 mg/L
Cloro libre en la alimentación

Variable	Rango de ejemplo	Alarma	Parada
Presión de succión de bomba AP	> 1 bar	< 0,7 bar	< 0,5 bar
Presión de alimentación	10–13 bar	> 15 bar	> 16 bar
ΔP del cartucho	0,2–0,5 bar	> 0,7 bar	—
ΔP 1.ª etapa	Línea base	+15 %	—
Conductividad de permeado	< 60 µS/cm	> 80 µS/cm	Desvío a desagüe
Recuperación	75 %	± 3 %	—
ORP de alimentación	Bajo (sin oxidante)	Valor de alarma definido	Sí
Temperatura	12–28 °C	> 35 °C	> 40 °C

Valores de ejemplo para el caso del Módulo 5. Fije los de su planta con el diseño y el manual del fabricante.

NO "CORRIJA" SIN ENTENDER

Subir la presión para recuperar caudal esconde el problema y acelera el ensuciamiento. Primero normalice y diagnostique.

REGISTRO DE DATOS OPERATIVOS

Los datos de cada turno son la historia clínica de la planta. Sin ellos no se puede normalizar, decidir una limpieza ni reclamar una garantía.

HOJA DE REGISTRO POR TURNO

Fecha / hora	T °C	P alim. bar	P entre etapas	P conc. bar	P perm. bar	Q perm. m^3/h	Q conc. m^3/h	CE alim. µS/cm	CE perm. µS/cm	SDI	Firma

REGLAS DEL BUEN REGISTRO

- Siempre a la misma hora y en los mismos puntos.
- Con la planta estable (no durante arranques o lavados).
- Anote los eventos: limpiezas, cambios de cartucho, cortes, ajustes.
- Mida conductividad por vaso al menos una vez al mes.

CON ARGOS360

Cargue estas lecturas desde el celular. ARGOS360 guarda el historial por equipo, normaliza los datos y alerta cuando una tendencia sale de rango.

NORMALIZACIÓN DEL RENDIMIENTO

Normalizar es llevar los datos de cada día a las condiciones del arranque (temperatura, presión neta, salinidad). Solo así se ve el ensuciamiento real.

CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

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

K ≈ 2 640 sobre 25 °C y ≈ 3 020 bajo 25 °C para muchas membranas de poliamida (use el valor del fabricante). A 15 °C, TCF ≈ 0,70: la membrana produce un 30 % menos que a 25 °C.

CAUDAL DE PERMEADO NORMALIZADO

$$Qp,n = Qp \cdot (NDPref / NDP) \cdot (TCFref / TCF)$$

NDP como en el Módulo 1. "ref" son las condiciones de la línea base.



LECTURA DE LA TENDENCIA

Indicador normalizado	Lectura
Caudal baja, ΔP estable	Ensuciamiento orgánico leve o compactación
Caudal baja, ΔP sube (1.ª etapa)	Coloides o biofouling
Caudal baja, ΔP sube (última etapa)	Incrustación
Paso de sales sube, caudal sube	Oxidación o daño de la membrana
Paso de sales sube en un solo vaso	O-ring o interconector

Programas de los fabricantes y plataformas como ARGOS360 hacen este cálculo automáticamente.

PARADA Y CONSERVACIÓN

Una membrana parada con concentrado dentro es una membrana en riesgo: las sales precipitan y las bacterias crecen.

PARADA NORMAL

1

BAJAR PRESIÓN

Reduzca la presión de forma gradual.

2

ENJUAGAR

Desplace el concentrado con permeado o agua pretratada sin cloro, a baja presión.

3

DETENER QUÍMICOS

Pare la dosificación de antiincrustante con la bomba.

4

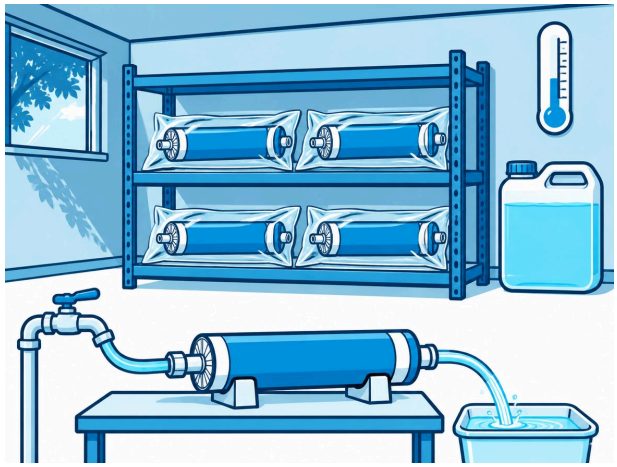
CERRAR

Deje el sistema lleno de agua y sin aire.

SEGÚN EL TIEMPO DE PARADA

Tiempo	Acción
Hasta 24–48 h	Enjuague con permeado al parar; enjuague breve cada 24 h si es posible
Hasta 1 mes	Enjuague y opere o enjuague periódicamente; evalúe preservar
Más de 1 mes	Limpie, enjuague y preserve con solución de bisulfito de grado alimentario (≈ 1 %); revise el pH mensualmente y renueve si baja de 3

Siga el procedimiento de preservación de su fabricante. No deje secar las membranas: la pérdida de flujo es irreversible.

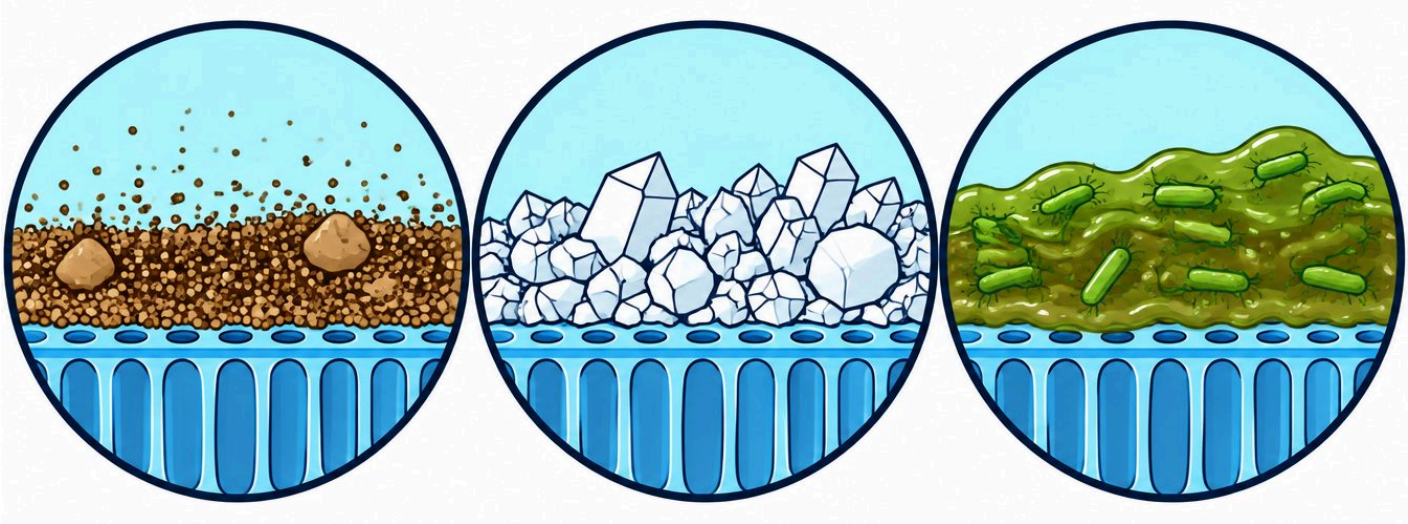


ALMACENAMIENTO DE ELEMENTOS NUEVOS

En su bolsa original, en lugar fresco (5–35 °C típico), a la sombra y sin congelar. Use primero los más antiguos.

TIPOS DE ENSUCIAMIENTO

Identificar qué ensucia la membrana define qué limpiador usar y qué corregir en el pretratamiento.



COLOIDAL Y PARTÍCULAS

Arcillas, sílice coloidal, óxidos de hierro y aluminio. Primera etapa. Se ve como lodo marrón o rojizo en la entrada.

INCRUSTACIÓN MINERAL

Carbonatos, sulfatos, sílice. Última etapa. Superficie áspera y cristalina.

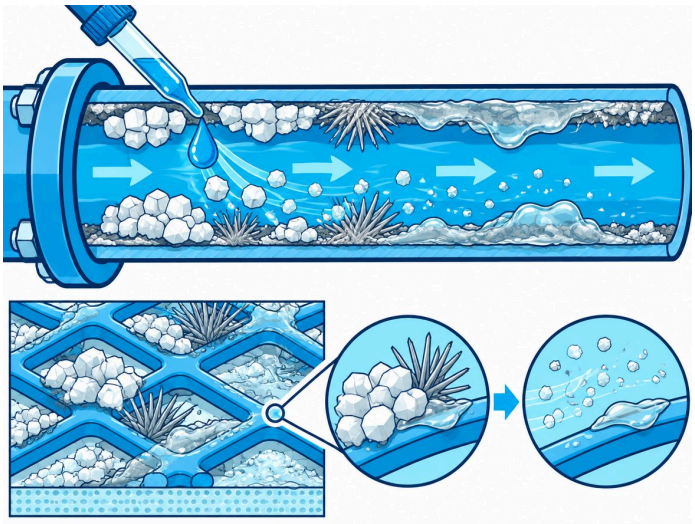
BIOLÓGICO Y ORGÁNICO

Biopelícula, ácidos húmicos, aceites. Primera etapa. Viscoso, a veces con olor.

Tipo	Etapa afectada	Caudal normalizado	ΔP	Paso de sales
Coloidal	1.ª	Baja gradual	Sube	Estable o sube poco
Incrustación	Última	Baja	Sube moderado	Sube
Biofouling	1.ª (a veces todas)	Baja	Sube marcado	Puede subir
Orgánico	Todas	Baja	Estable o sube poco	Estable o baja
Oxidación (cloro)	Todas, más la 1.ª	Sube	Estable	Sube fuerte

INCRUSTACIÓN Y BIOFOULING

Los dos ensuciamientos más frecuentes en el sur del país: aguas duras y con sílice, y aguas superficiales con carga biológica.



INCRUSTACIÓN

- Empieza en el último elemento, donde el agua está más concentrada.
- Causas: falla del antiincrustante, recuperación excesiva, cambio de calidad del agua o agua fría (sílice).
- Limpieza: ácida para carbonatos e hierro; específica para sílice y sulfatos de bario.
- Los sulfatos de bario y estroncio son casi imposibles de limpiar: se previenen.

BIOFOULING

- Bacterias que pasan el pretratamiento se adhieren y forman una matriz protectora.
- Se alimentan de nutrientes concentrados y crecen exponencialmente con agua tibia.
- Primer síntoma: ΔP de la 1.ª etapa que sube aunque el caudal sea estable.
- Limpieza: alcalina con tensoactivo o quelante, a la temperatura máxima permitida, seguida de ácida si hay depósitos minerales.

VOLVIÓ A LOS POCOS DÍAS

Si la ΔP vuelve rápido tras la limpieza, la biopelícula no se eliminó por completo o la fuente de bacterias sigue activa. Revise el pretratamiento.

BIOCIDAS

Solo use biocidas aprobados por el fabricante de membranas. Los oxidantes (cloro, peróxido sin control) dañan la poliamida.

CRITERIOS PARA LIMPIAR

Limpiar a tiempo recupera la membrana. Limpiar tarde puede dejar un ensuciamiento que ya no sale.

−10–15 %
Caída del caudal de permeado normalizado

+10–15 %
Aumento de la ΔP normalizada

+5–10 %
Aumento del paso de sales normalizado

3–12 meses
Intervalo usual entre limpiezas con buen pretratamiento

Criterios orientativos usuales en la industria. Aplique los de su fabricante.

ANTES DE LIMPIAR

- ☐ Confirme la tendencia con datos normalizados.
- ☐ Identifique la etapa afectada (ΔP por etapa).
- ☐ Revise el cartucho y el SDI: indican el tipo de suciedad.
- ☐ Elija el limpiador y la secuencia según el diagnóstico.
- ☐ Prepare EPP, agua de calidad y neutralización.

FRECUENCIA COMO INDICADOR

Limpiezas	Lectura
1–4 por año	Normal
Cada 1–2 meses	Pretratamiento deficiente
Cada semana	Problema grave aguas arriba

LA LIMPIEZA NO ES LA SOLUCIÓN
Si limpia cada vez más seguido, el problema está en el pretratamiento o en el diseño.

SELECCIÓN DE LIMPIADORES

Cada ensuciamiento se disuelve con una química distinta. Las fórmulas comerciales del fabricante o de su proveedor están optimizadas; estas son las bases genéricas.

Ensuciamiento	Limpiador base	pH	Comentario
Carbonato de calcio	Ácido clorhídrico o cítrico	≈ 2	Efervescencia al inicio; controle el pH
Óxidos de hierro	Ácido cítrico; hidrosulfito de sodio	≈ 2–4	Solución con color amarillento indica hierro
Orgánico y biofouling	Hidróxido de sodio + EDTA o tensoactivo	≈ 11–12	Temperatura según tabla del fabricante
Coloides y sílice coloidal	Alcalino con dispersante	≈ 11–12	Alto caudal de recirculación
Sílice incrustada	Limpiador alcalino especial	Alto	Difícil: prevenir es mejor
Sulfato de calcio	Alcalino con EDTA	≈ 11–12	Lento; puede requerir remojo largo

ORDEN DE LAS LIMPIEZAS

Lo usual es **alcalina primero** (retira orgánicos y biopelícula que cubren otros depósitos) y **ácida después**. Excepción: si predominan carbonatos o hierro, empiece con ácida.

PH Y TEMPERATURA

Cada membrana tiene una tabla de pH máximo según temperatura. Fuera de ella la poliamida se daña. Nunca supere esos límites para "limpiar más rápido".

AGUA DE PREPARACIÓN

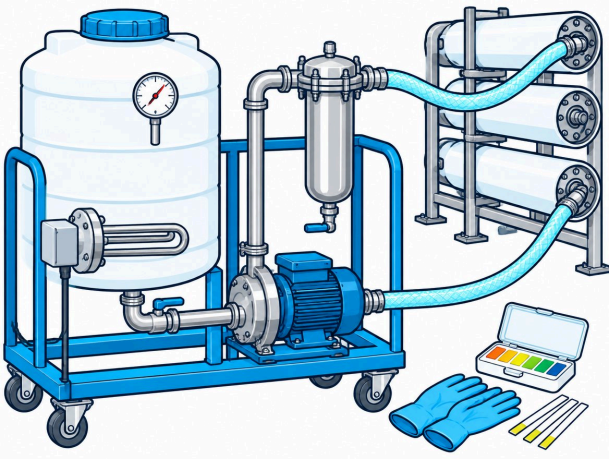
Prepare las soluciones con permeado o agua sin cloro ni dureza. Con agua dura, el limpiador alcalino precipita sales dentro del sistema.

PRODUCTOS SEQUITECSA

REGENEROL A (ácido) y **REGENEROL B** (básico) y asesoría para elegir la química de limpieza según su diagnóstico.

PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA CIP

La limpieza se hace etapa por etapa, recirculando la solución a baja presión y alto caudal desde un tanque dedicado.



VALORES GUÍA

Parámetro	Orientativo
Caudal por vaso de 8″	≈ 6–9 m^3/h
Caudal por vaso de 4″	≈ 1,8–2,3 m^3/h
Presión	Baja, < 4 bar; producir el mínimo de permeado
Volumen de solución	≈ 35–40 L por elemento 8″ + tuberías
Temperatura	Según tabla pH–temperatura del fabricante

1

PREPARAR

Solución en el tanque CIP con agua de calidad; ajuste pH y temperatura.

2

DESPLAZAR

Bombee lentamente la solución desplazando el agua del sistema al desagüe.

3

RECIRCULAR

Baja velocidad 10–15 min, luego caudal de limpieza 30–60 min.

4

REMOJAR

De 1 hora a toda la noche según la severidad.

5

RECIRCULAR

Alto caudal 30–60 min para arrastrar lo desprendido.

6

ENJUAGAR

Con permeado hasta pH y conductividad normales; luego registre.

VIGILE LA SOLUCIÓN

Si el pH cambia más de 0,5 unidades o la solución se ensucia mucho, reajuste o prepare solución nueva.

SEGURIDAD

Guantes, careta y delantal resistentes a químicos. Lavaojos y ducha operativos. Nunca mezcle limpiadores ácidos y alcalinos. Neutralice antes de descartar.

DIAGNÓSTICO POR SÍNTOMAS

Tres variables normalizadas cuentan casi toda la historia: caudal de permeado, paso de sales y presión diferencial.

Síntoma principal	Señales acompañantes	Causa probable	Acción
Baja producción	ΔP 1.ª etapa alta	Coloides o biofouling	Limpieza alcalina; revisar pretratamiento
Baja producción	ΔP estable, paso de sales estable	Ensuciamiento orgánico o compactación	Limpieza alcalina; revisar COT y temperatura
Baja producción	ΔP última etapa alta, paso de sales sube	Incrustación	Limpieza ácida o específica; revisar antiincrustante y recuperación
Alta conductividad de permeado	Caudal sube	Oxidación por cloro	Pare, revise decloración; evaluar reemplazo
Alta conductividad de permeado	Solo en un vaso	O-ring, interconector o sello dañado	Sondeo del vaso; reemplazar o-rings
Alta conductividad de permeado	Todo el sistema, caudal normal	Alimentación más salina, recuperación alta o temperatura	Verificar análisis y ajustes
ΔP alta en un vaso	Elementos desplazados	Telescopiado o espaciador obstruido	Inspeccionar y reacomodar
Caudal cae y se recupera al limpiar, pero vuelve rápido	—	Causa activa en el pretratamiento	Corregir aguas arriba

NORMALICE ANTES DE CONCLUIR

Un "problema" en invierno puede ser solo agua más fría. Compare siempre datos normalizados contra la línea base.

ÁRBOL DE DECISIÓN

Siga la variable que cambió primero. Cada rama termina en una prueba que confirma la causa.

¿QUÉ VARIABLE NORMALIZADA CAMBIÓ?

BAJÓ EL CAUDAL

¿Sube la ΔP?
Sí, en la 1.ª etapa → coloides o biofouling. Sí, en la última → incrustación. No → orgánico o compactación.

Prueba
Perfil de ΔP por etapa; color del cartucho; SDI; análisis de depósitos.

Acción
Limpieza según el tipo (alcalina / ácida) y corrección del pretratamiento.

SUBIÓ EL PASO DE SALES

¿En todos los vasos?
Sí, con caudal alto → oxidación. Sí, con caudal bajo → incrustación. Solo en uno → fuga mecánica.

Prueba
Conductividad por vaso; sondeo del tubo de permeado; ORP histórico.

Acción
Reparar o-rings y sellos; limpieza ácida; reemplazar elementos oxidados.

SUBIÓ LA ΔP

¿Dónde?
1.ª etapa → depósitos y biofouling. Última → incrustación. Un vaso → mecánico.

Prueba
ΔP por vaso; inspección visual de la cara de entrada del primer elemento.

Acción
Limpieza; revisión de espaciadores; reacomodo de elementos.

CAMBIOS SÚBITOS

Un cambio en horas suele ser un evento: cloro, falla de dosificación, golpe de ariete, cambio de fuente. Revise el registro de ese día.

CAMBIOS GRADUALES

Un cambio en semanas suele ser ensuciamiento o incrustación progresiva. Es el caso típico para una limpieza programada.

PRUEBAS DE CAMPO Y AUTOPSIA

Cuando los datos no bastan, estas pruebas ubican el problema en un vaso, en un elemento o en un o-ring.

PERFIL DE CONDUCTIVIDAD

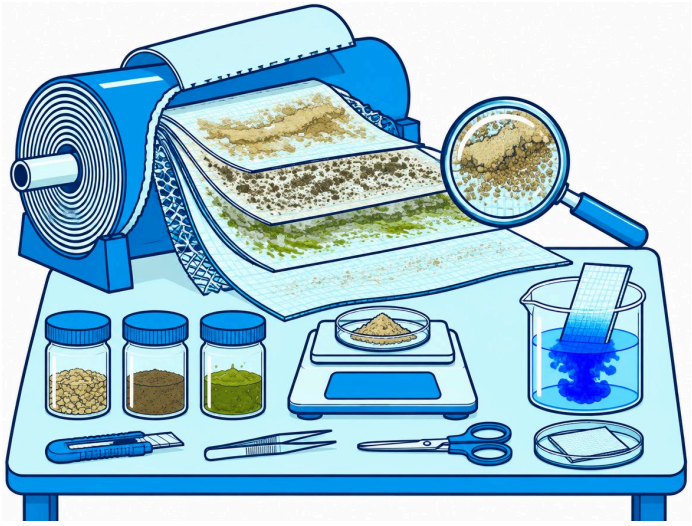
Mida la conductividad del permeado de cada vaso. Un vaso con un valor muy superior a sus pares indica una fuga mecánica o un elemento dañado.

SONDEO DEL PERMEADO

Con el sistema operando, se introduce un tubo delgado por el tubo central del vaso y se mide la conductividad cada 20–25 cm. Un salto ubica el interconector o el elemento con fuga.

PRUEBA DE VACÍO

Detecta fugas mecánicas en un elemento retirado: si no mantiene el vacío, hay un defecto en el pegado o en la envoltura.



AUTOPSIA

Se abre un elemento (normalmente el primero o el último) para identificar el depósito, analizarlo y comprobar daño químico con pruebas de tinción y de halógenos. Se hace en laboratorio especializado y destruye el elemento.

ELIJA BIEN EL ELEMENTO

Para ensuciamiento coloidal o biológico, el primero de la 1.ª etapa. Para incrustación, el último de la última etapa.

PLAN DE MANTENIMIENTO

Un plan preventivo simple, cumplido y registrado mantiene la planta dentro de sus parámetros y prolonga la vida de las membranas.

Frecuencia	Membranas y proceso	Equipos	Instrumentos
Cada turno	Registro de datos; cloro y nivel de antiincrustante	Ruidos, fugas y temperatura de bombas	Lecturas coherentes entre sí
Diaria	SDI; ΔP de cartucho	Bombas dosificadoras	—
Semanal	Normalización y tendencias	Calibración de dosificadoras	Verificación de conductivímetro
Mensual	Conductividad por vaso; bacterias	Lubricación según manual; válvulas	Revisión de alarmas y enclavamientos
Trimestral	Evaluación de limpieza CIP	Vibraciones de bomba AP	Calibración de sensores de pH y ORP
Anual	Inspección de vasos, o-rings e interconectores	Revisión integral del skid y tableros	Calibración de manómetros y caudalímetros

REPUESTOS CRÍTICOS EN ALMACÉN

- Cartuchos de 5 µm para al menos dos cambios.
- Juego de o-rings, sellos de salmuera e interconectores.
- Diafragmas y válvulas de las bombas dosificadoras.
- Antiincrustante y limpiadores para una limpieza completa.
- Un elemento de membrana de reserva (planta crítica).

ARGOS360 + SEQUITECSA

Órdenes de trabajo preventivas por frecuencia, QR por equipo, evidencia fotográfica y kardex de repuestos en una sola plataforma. Y nuestro equipo de mantenimiento en Arequipa y Moquegua cuando lo necesite.

GLOSARIO Y FÓRMULAS

Los términos y ecuaciones de este manual, en una sola página para consulta rápida.

ALIMENTACIÓN
Agua que entra a las membranas después del pretratamiento.

PERMEADO
Agua producto que atravesó la membrana.

CONCENTRADO (RECHAZO, SALMUERA)
Corriente que retiene las sales y sale al desagüe o a reúso.

RECUPERACIÓN
Porcentaje de la alimentación convertido en permeado.

RECHAZO / PASO DE SALES
Fracción de sales retenida / que atraviesa la membrana.

FLUJO
Permeado por unidad de área de membrana (L/m^2·h).

NDP
Presión neta que impulsa el agua a través de la membrana.

ΔP
Pérdida de presión entre la entrada y la salida de una etapa o vaso.

ETAPA / PASO
Serie en el concentrado / serie en el permeado.

SDI
Índice de densidad de sedimentos: potencial de ensuciamiento coloidal.

LSI
Índice de Langelier: tendencia a formar carbonato de calcio.

CIP
Limpieza química en sitio, sin retirar los elementos.

FÓRMULAS

$$R = Qp / Qf \times 100$$

$$RS = (1 - Cp/Cf) \times 100$$

$$FC = 1 / (1 - R)$$

$$J = Qp / (N \times A)$$

$$\pi \approx 0{,}75 \text{ bar} \times STD \text{ (g/L)}$$

$$SDI_{15} = (1 - t_1/t_2) \times 100 / 15$$

$$LSI = pH - pHs$$

ESTE MANUAL ES INFORMATIVO

Siga siempre las instrucciones del fabricante de sus membranas y equipos y los procedimientos de su empresa. Para diseño, garantía o diagnóstico de su planta, consulte a SEQUITECSA.