SEQUITECSA

GUÍA TÉCNICA 08 · PLANTAS DE AGUA

PRETRATAMIENTO PARA ÓSMOSIS INVERSA

Cómo elegir el tren de pretratamiento según su fuente de agua, dimensionar cada etapa y controlar que las membranas reciban agua segura.



SDI | Multimedia | Decloración | Antiincrustante | Cartucho 5 µm

EN ESTA GUÍA

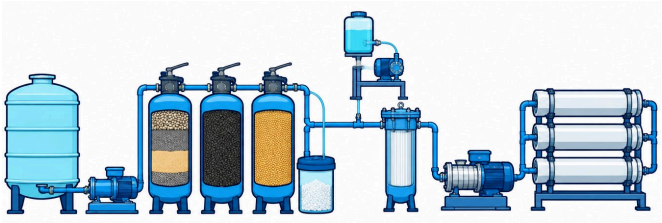
01 Por qué pretratar y qué analizar

02 Elegir el tren según la fuente

03 Filtración, hierro y cloro

04 Dureza, antiincrustante y control microbiológico

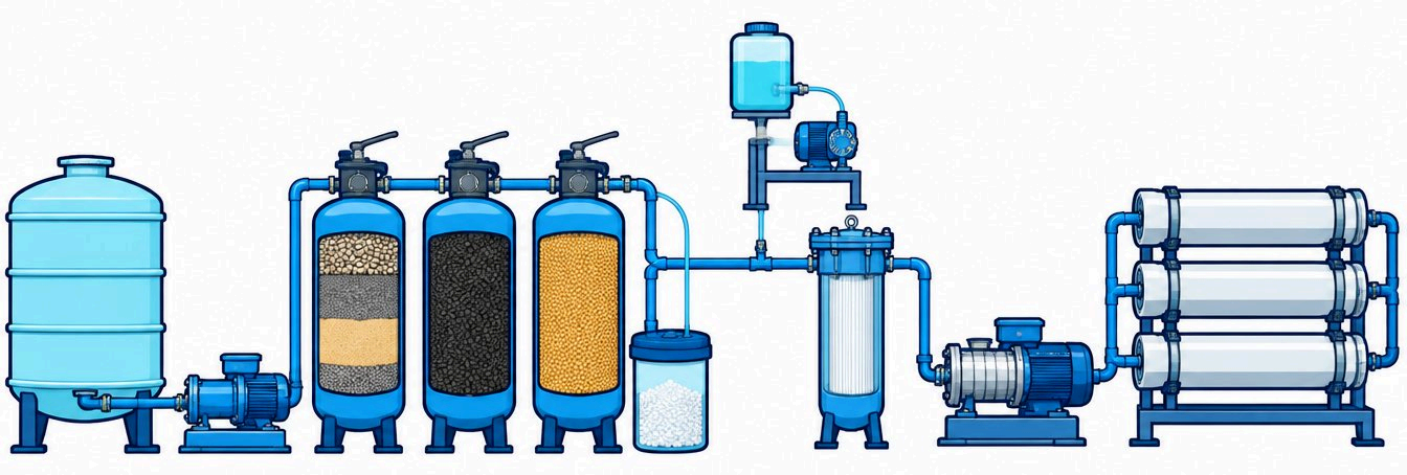
05 Control diario y diagnóstico



Para supervisores, operadores y proyectistas de plantas de ósmosis inversa en minería, industria y servicios.

POR QUÉ PRETRATAR

Una membrana de poliamida separa sales; no está hecha para retener barro, hierro, aceite ni bacterias. Todo lo que el pretratamiento deja pasar termina sobre su superficie.



ENSUCIAMIENTO

Sólidos, coloides, hierro y materia orgánica forman una capa que reduce el caudal y obliga a subir la presión.

INCRUSTACIÓN

Al concentrarse, el carbonato y el sulfato de calcio, la sílice o el sulfato de bario precipitan en la última etapa.

DAÑO QUÍMICO

El cloro libre y otros oxidantes destruyen la capa de poliamida de forma irreversible: el paso de sales sube y no se recupera.

LO QUE GANA CON UN BUEN PRETRATAMIENTO

- Limpiezas químicas cada varios meses en lugar de cada semana.
- Membranas que duran de 3 a 7 años en lugar de meses.
- Menor consumo de energía: la presión de operación no sube.
- Calidad de permeado estable y predecible.

REGLA DE ORO

El costo del pretratamiento se paga con la vida de las membranas. Una planta con pretratamiento deficiente no se arregla limpiando más seguido: se arregla corrigiendo el agua de alimentación.

CONOZCA SU AGUA: EL ANÁLISIS DE PARTIDA

El diseño del pretratamiento empieza con un análisis completo y representativo de la fuente, idealmente en las distintas épocas del año.



PARÁMETROS MÍNIMOS

Grupo	Parámetros	Para qué sirven
Iones	Ca, Mg, Na, K, Ba, Sr, HCO_3, SO_4, Cl, NO_3, F, SiO_2	Presión osmótica, incrustación y balance iónico
Generales	pH, temperatura, conductividad, STD, alcalinidad	Índices de incrustación y diseño
Ensuciamiento	Turbidez, SDI, sólidos suspendidos, COT	Elegir la filtración
Metales	Fe, Mn, Al	Oxidación y precipitados
Oxidantes	Cloro libre y total, ORP	Decloración
Biológico	Recuento heterotrófico, coliformes	Control microbiológico
Otros	Aceites y grasas, H_2S, CO_2	Casos especiales

VERIFIQUE EL BALANCE IÓNICO

Σ cationes (meq/L) ≈ Σ aniones (meq/L)

meq/L = mg/L ÷ peso equivalente. Una diferencia mayor a 5–10 % indica un error de análisis o un ion no medido: corríjalo antes de diseñar.

MUESTREO REPRESENTATIVO

- Purgue la línea antes de muestrear y use envases limpios del laboratorio.
- En pozos, muestree con la bomba operando de forma estable.
- En ríos y lagunas, repita en época seca y de lluvias.
- Mida en campo pH, temperatura, cloro y oxígeno: cambian en el transporte.

LÍMITES DEL AGUA QUE LLEGA A LAS MEMBRANAS

Valores guía usuales para membranas de poliamida de agua salobre. Confirme siempre los límites de garantía de su fabricante.

Parámetro	Valor guía en la alimentación	Si se supera
SDI_{15}	< 5 obligatorio; < 3 recomendado	Ensuciamiento coloidal en la primera etapa
Turbidez	< 1 NTU (ideal < 0,2 NTU)	Depósitos y subida de presión diferencial
Cloro libre	0 mg/L (no detectable)	Oxidación irreversible de la membrana
Hierro	< 0,05 mg/L con oxígeno presente	Ensuciamiento por óxidos de hierro
Manganeso	< 0,05 mg/L	Depósitos negros, catálisis de oxidación
Aceites y grasas	No detectables	Ensuciamiento orgánico difícil de limpiar
COT	Lo más bajo posible; vigile si > 2–3 mg/L	Ensuciamiento orgánico y biológico
pH (operación continua)	2 a 11 típico	Hidrólisis o daño de la membrana
Temperatura	Máx. 45 °C típico	Compactación y pérdida de rechazo

EL CLORO NO SE PERDONA

La membrana de poliamida tolera muy poca exposición acumulada a cloro libre. Una falla de decloración de pocas horas puede dejar inútil un tren completo.

LOS POLÍMEROS CATIÓNICOS TAMPOCO

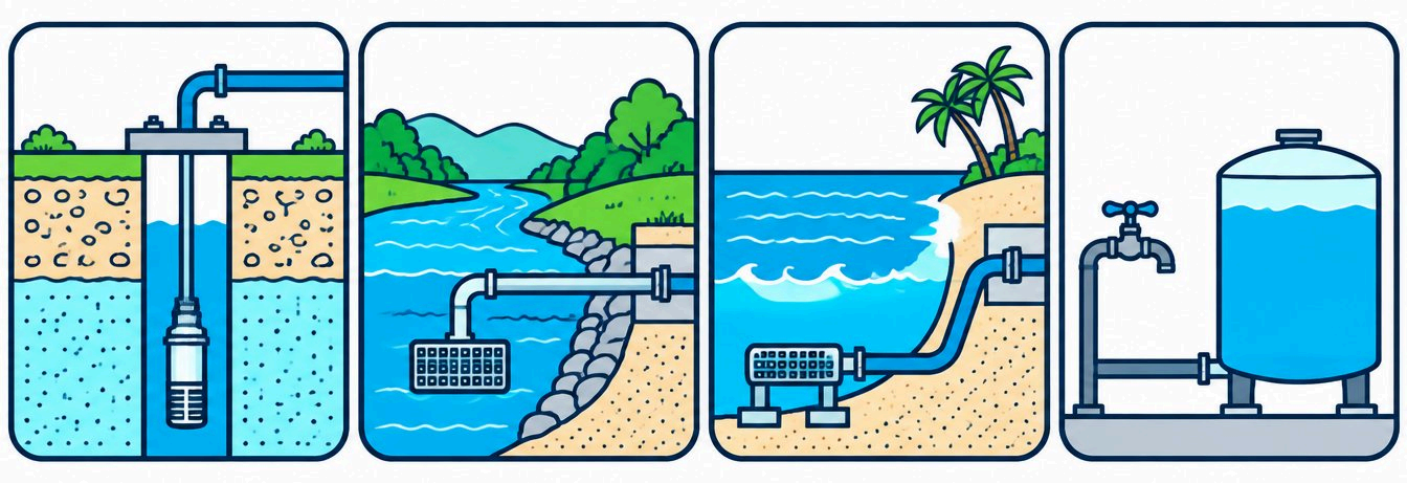
Un exceso de floculante catiónico se adhiere a la membrana, que tiene carga negativa, y casi no se elimina con limpieza.

ANTES DE COMPRAR UN EQUIPO

Pida a su proveedor la proyección del fabricante de membranas con SU análisis de agua y el diseño del pretratamiento por escrito. Sin esos dos documentos no hay garantía real.

ELIJA EL TREN SEGÚN LA FUENTE

No hay un pretratamiento universal. El origen del agua define qué contaminantes esperar y qué etapas son indispensables.



Fuente	Problemas típicos	Tren de pretratamiento usual
Pozo profundo	Dureza, sílice, hierro y manganeso disueltos; SDI bajo	Remoción de Fe/Mn si aplica → antiincrustante → cartucho 5 µm
Río, lago o laguna	Turbidez variable, materia orgánica, algas, bacterias	Coagulación y clarificación → multimedia o ultrafiltración → decloración → antiincrustante → cartucho
Agua de mar	Alta salinidad, algas, biofouling, temperatura	Captación por pozo playero o abierta → coagulación + filtración o UF → antiincrustante → cartucho
Red municipal	Cloro o cloramina residual, dureza moderada	Carbón activado o bisulfito → ablandador o antiincrustante → cartucho
Agua de proceso o reúso	Orgánicos, aceites, sólidos, variabilidad	Tratamiento biológico o físico-químico → UF → antiincrustante y biocida → cartucho

VARIABILIDAD

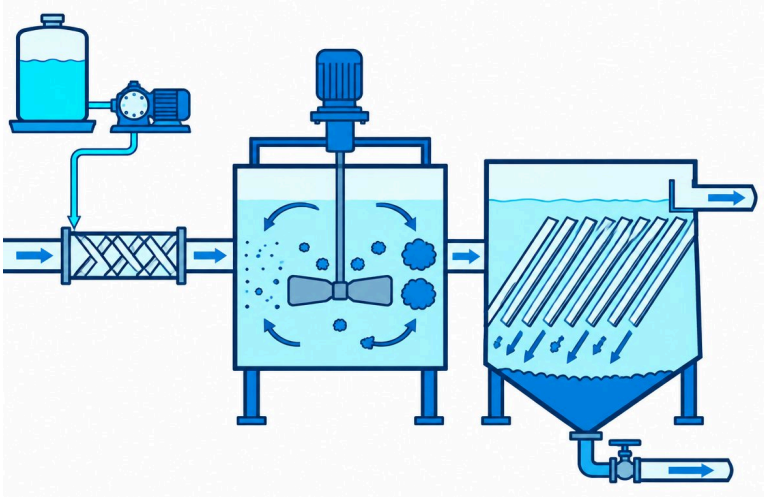
Diseñe para la peor condición del año, no para la muestra del día de la visita. Un río en época de lluvias puede multiplicar su turbidez por cien.

CAPTACIÓN LIMPIA, PRETRATAMIENTO SIMPLE

Proteger la toma (pozo bien construido, captación profunda, rejas y desarenador) reduce todo lo que viene después.

COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y CLARIFICACIÓN

Para aguas superficiales con turbidez o color, el primer paso es agrupar las partículas finas y retirarlas antes de los filtros.



CÓMO FUNCIONA

1

COAGULAR

Un coagulante (sales de hierro o aluminio, policloruro de aluminio) neutraliza la carga de los coloides con mezcla rápida.

2

FLOCULAR

Con mezcla lenta, las partículas chocan y forman flóculos visibles.

3

SEPARAR

Los flóculos sedimentan en un clarificador o quedan en el filtro siguiente.

PRUEBA DE JARRAS

La dosis correcta no se calcula: se determina en laboratorio con prueba de jarras y se ajusta cuando cambia la calidad de la fuente.

PUNTOS DE CONTROL

Control	Frecuencia
Turbidez de entrada y salida	Cada turno
pH de coagulación	Cada turno
Dosis de coagulante (calibración de bomba)	Semanal
Prueba de jarras	Cuando cambia la fuente
Residual de hierro o aluminio en la alimentación a OI	Semanal

SOBREDOSIS

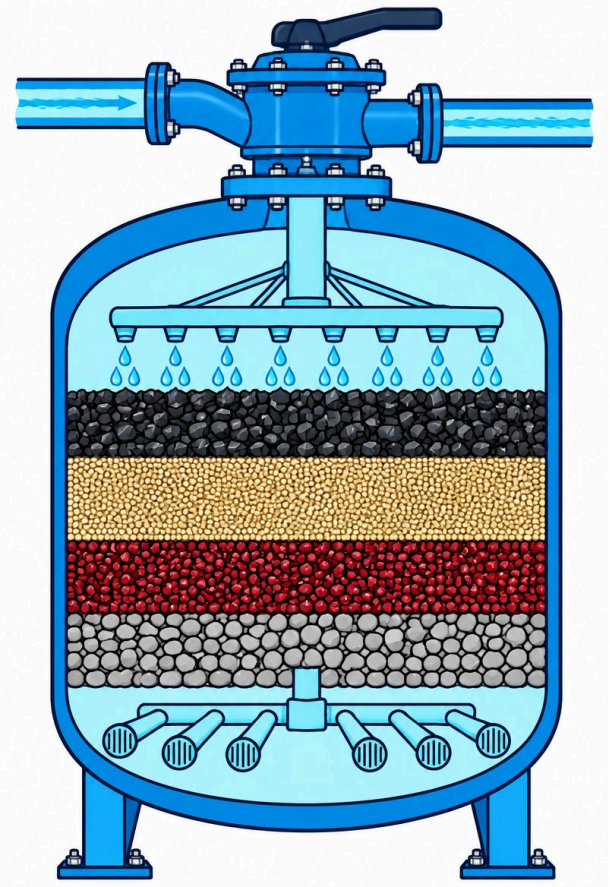
Un exceso de coagulante deja hierro o aluminio residual que precipita en las membranas. Más químico no es mejor: es más ensuciamiento.

FLOCULANTES

Si usa polímero, prefiera aniónico o no iónico y verifique con el fabricante de membranas su compatibilidad. Evite los catiónicos aguas arriba de la ósmosis.

FILTRACIÓN MULTIMEDIA

Un lecho de varias capas retiene sólidos en profundidad: arriba granos grandes y livianos, abajo granos finos y pesados.



CAPAS TÍPICAS

Capa	Función
Antracita	Retiene partículas grandes; da capacidad al lecho
Arena sílice	Retiene partículas finas
Granate (opcional)	Pulido fino por su alta densidad
Grava soporte	Distribuye el agua y protege los colectores

VALORES GUÍA DE DISEÑO

Parámetro	Orientativo
Velocidad de filtración para OI	8–12 m/h (más bajo, mejor SDI)
Altura de lecho	0,8–1,2 m
Expansión en contralavado	20–30 % del lecho

Confirme velocidades y caudales de contralavado con el proveedor de los medios filtrantes.

CICLO DE CONTRALAVADO

1 DETECTAR
Contralave por tiempo, por ΔP (subida de 0,5–0,7 bar) o por turbidez de salida, lo que ocurra primero.

2 CONTRALAVAR
Flujo inverso que expande el lecho y arrastra lo retenido al desagüe.

3 ASENTAR
Pausa breve para que las capas se reordenen.

4 ENJUAGAR
Flujo de servicio al desagüe hasta que la turbidez se estabilice.

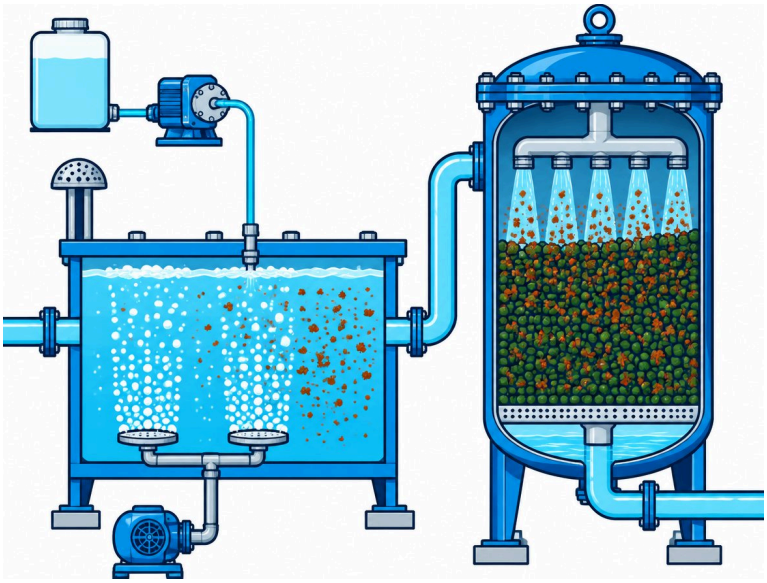
5 VOLVER
Retorne a servicio y registre la ΔP inicial del nuevo ciclo.

SEÑAL DE ALARMA

Si la ΔP de un filtro limpio es cada vez mayor, el lecho está colmatado, apelmazado o con bolas de lodo. Inspecciónelo: puede requerir limpieza química o recambio de medios.

HIERRO Y MANGANESO

Frecuentes en pozos. Disueltos (Fe^{2+}, Mn^{2+}) son invisibles; al contacto con el oxígeno o el cloro se oxidan y forman partículas que ensucian todo a su paso.



DOS ESTRATEGIAS

1. OXIDAR Y FILTRAR

Oxidar con aire, cloro o permanganato y retener los precipitados en un filtro catalítico (arena verde o medios de dióxido de manganeso). Es la opción habitual.

2. MANTENER REDUCIDO

Si el pozo es anóxico (sin oxígeno) y el sistema es hermético, algunas plantas alimentan la ósmosis sin oxidar. Cualquier entrada de aire precipita el hierro dentro de las membranas: requiere evaluación experta.

LO QUE DEBE CONTROLAR

Control	Meta orientativa
Fe total en la alimentación a OI	< 0,05 mg/L
Mn total en la alimentación a OI	< 0,05 mg/L
Oxidante residual después del filtro	Eliminado antes de la OI
Color del cartucho de 5 µm	Blanco o crema, no rojizo ni negro

EL CARTUCHO HABLA

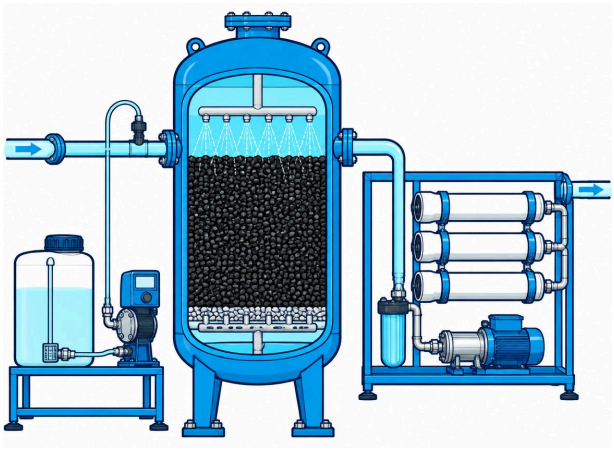
Un cartucho rojizo indica hierro; uno negro, manganeso. Si cambia de color en pocos días, el filtro catalítico no está haciendo su trabajo.

RECUERDE

Si oxida con cloro o permanganato, ese oxidante debe eliminarse por completo antes de las membranas.

CLORACIÓN Y DECLORACIÓN

El cloro controla las bacterias en la captación y el pretratamiento, pero debe desaparecer antes de la bomba de alta presión.



DOS FORMAS DE DECLORAR

	Carbón activado	Bisulfito de sodio
Cómo actúa	Reacción catalítica en la superficie del carbón	Reacción química en la tubería
Ventaja	Retiene también algo de orgánicos	Simple, económico y rápido
Riesgo	Crecimiento bacteriano en el lecho y finos de carbón	Sobredosis con oxígeno disuelto favorece biofouling
Control	Cloro a la salida y recambio programado	Dosis, ORP y cloro a la salida

CÁLCULO DE LA DOSIS DE BISULFITO

Dosis $NaHSO_3$ (mg/L) ≈ 3 × cloro libre (mg/L)

La relación estequiométrica es ≈ 1,5 mg de bisulfito por mg de cloro; en la práctica se usa entre 1,8 y 3 para cubrir variaciones. Use bisulfito de grado alimentario.

EJEMPLO

Caudal 40 m³/h · cloro libre 1,0 mg/L
Dosis 3 mg/L × 40 m³/h = 120 g/h de bisulfito
Solución al 10 % (100 g/L) → 1,2 L/h de bomba

VIGILANCIA

- Mida cloro libre a la entrada de la OI cada turno: debe ser no detectable.
- Instale un medidor de ORP con alarma y parada automática de la bomba de alta presión.
- Prepare la solución de bisulfito en volúmenes pequeños: se degrada con el aire.
- Si usa carbón, sanitícelo o reemplácelo según programa.

PARADA AUTOMÁTICA

Una alarma de ORP sin enclavamiento con la bomba de alta presión no protege nada a las 3 de la mañana.

DUREZA: ABLANDAR, ACIDIFICAR O DISPERSAR

Al concentrarse en la última etapa, las sales de calcio superan su solubilidad. Hay tres caminos para evitar que precipiten.

ABLANDADOR

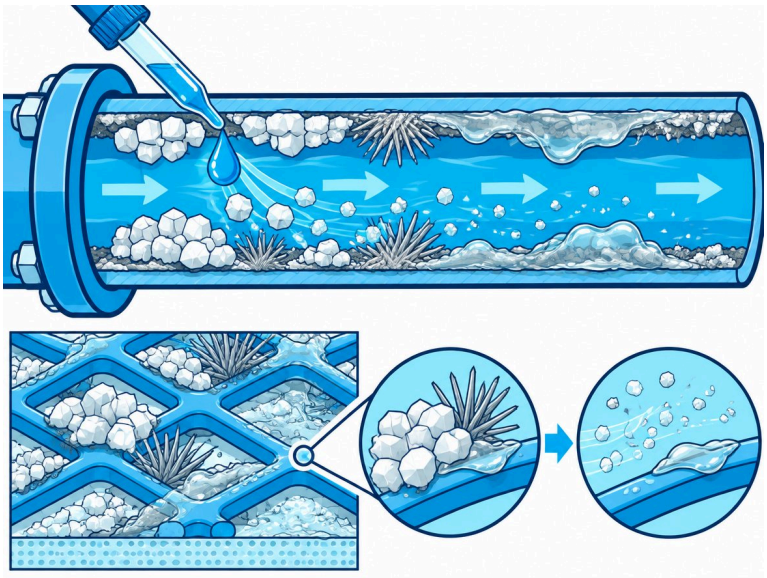
Cambia calcio y magnesio por sodio con resina catiónica. Elimina el riesgo de carbonato y sulfato de calcio. Útil en plantas pequeñas o con dureza muy alta. Consume sal y genera salmuera.

DOSIFICACIÓN DE ÁCIDO

Baja el pH y la alcalinidad para reducir la tendencia a formar carbonato de calcio. El ácido sulfúrico añade sulfato (riesgo de $CaSO_4$); el clorhídrico no. Requiere manejo de químicos peligrosos.

ANTIINCRUSTANTE

Retarda la formación y el crecimiento de cristales a dosis de pocos mg/L. Es la opción más usada en plantas medianas y grandes. Se elige y dosifica con el programa de su fabricante.



¿QUÉ PRECIPITA PRIMERO?

Sal	Se controla con
Carbonato de calcio	Antiincrustante, ácido o ablandador
Sulfato de calcio	Antiincrustante; menor recuperación
Sulfato de bario y estroncio	Antiincrustante específico
Sílice	Menor recuperación, temperatura; antiincrustante para sílice
Fluoruro de calcio	Antiincrustante

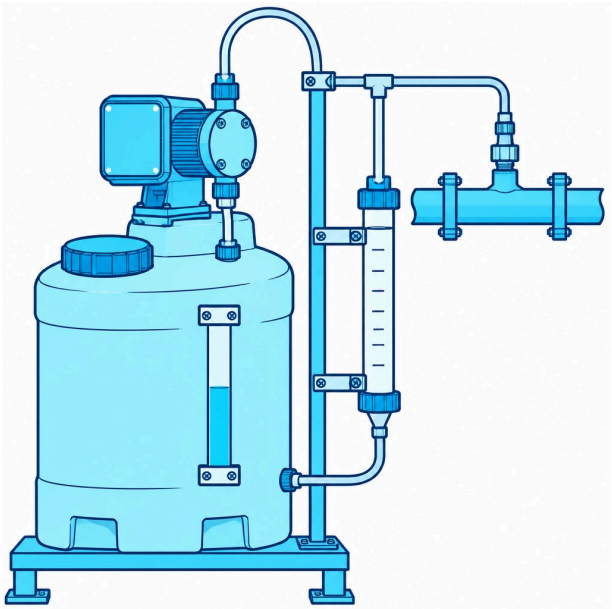
El índice de Langelier del concentrado y la saturación de cada sal se calculan con el análisis de agua y la recuperación de diseño (ver Manual 07, Módulo 2).

ANTIINCRUSTANTE Y ABLANDADOR JUNTOS

Si el agua ya está ablandada, consulte antes de dosificar antiincrustante: algunos productos con agua sin calcio pueden ensuciar. Una solución por problema.

DOSIFICACIÓN DE ANTIINCRUSTANTE

La dosis la define el programa del fabricante del producto según su análisis y su recuperación. Su trabajo es entregarla exacta y sin interrupciones.



DE LA DOSIS AL AJUSTE DE LA BOMBA

Q bomba (L/h) = Dosis (mg/L) × Q alim. (m^3/h) ÷ [C sol. (g/L)]

Dosis en mg de producto por litro de agua de alimentación. C sol.: concentración del producto en la solución preparada, en g/L.

EJEMPLO

Alimentación 40 m^3/h · dosis 3 mg/L → 120 g/h de producto
Producto puro, densidad 1,2 kg/L → 100 mL/h
Diluido 1:10 → ≈ 1,0 L/h en la bomba dosificadora

Diluya solo con agua permeada o ablandada; con agua dura puede reaccionar en el tanque.

BUENAS PRÁCTICAS

1 INYECTAR
Antes del filtro de cartucho, con mezcla suficiente y después de cualquier dosificación de cloro.

2 ENCLAVAR
La bomba dosificadora arranca y para con la bomba de alta presión.

3 CALIBRAR
Verifique el caudal con probeta de calibración cada semana.

4 REGISTRAR
Anote el nivel del tanque cada turno y compare el consumo real con el teórico.

5 ROTAR
Prepare solución para pocos días; no mezcle productos distintos en el mismo tanque.

SEÑAL DE FALLA

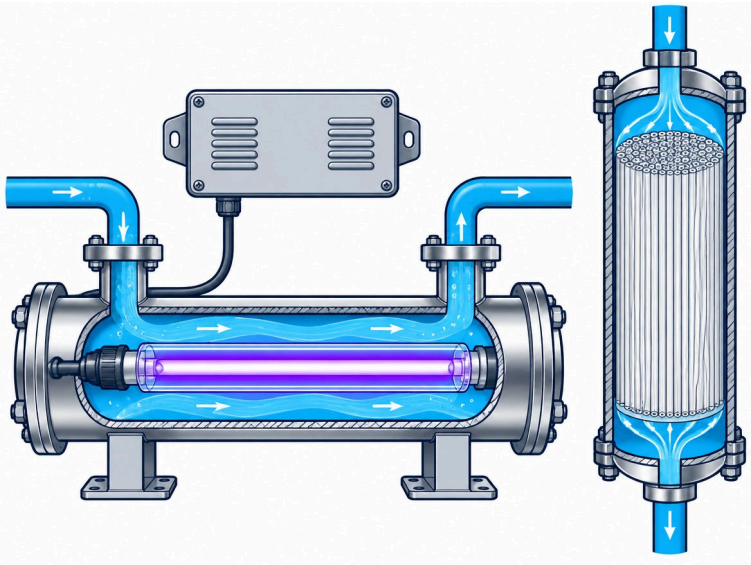
Si el consumo real se aleja más de 10 % del teórico, revise la bomba, las válvulas de inyección y la línea de succión antes de que aparezca la incrustación.

PRODUCTO SEQUITECSA

DALSPERSE es nuestro antiincrustante para membranas de ósmosis inversa. Le ayudamos a calcular la dosis con su análisis de agua.

CONTROL MICROBIOLÓGICO

El biofouling es el ensuciamiento más difícil de revertir. Las bacterias que pasan el pretratamiento se alimentan de los nutrientes concentrados y forman biopelícula.



HERRAMIENTAS

Herramienta	Qué hace	Atención
Cloración + decloración	Desinfecta captación y filtros	El cloro debe eliminarse antes de la OI
Ultravioleta	Inactiva microorganismos sin químicos	No deja residual; los sobrevivientes recrecen
Ultrafiltración	Barrera física: SDI < 2,5 y turbidez < 0,1 NTU	Requiere retrolavados y limpiezas propias
Biocida no oxidante	Dosis de choque compatible con membranas	Solo productos aprobados por el fabricante

SEÑALES DE BIOFOULING

- Sube la presión diferencial de la **primera** etapa.
- Baja el caudal normalizado de permeado.
- Material viscoso, maloliente o con color en la entrada del primer elemento.
- Recuentos bacterianos altos en concentrado y permeado.

PREVENCIÓN

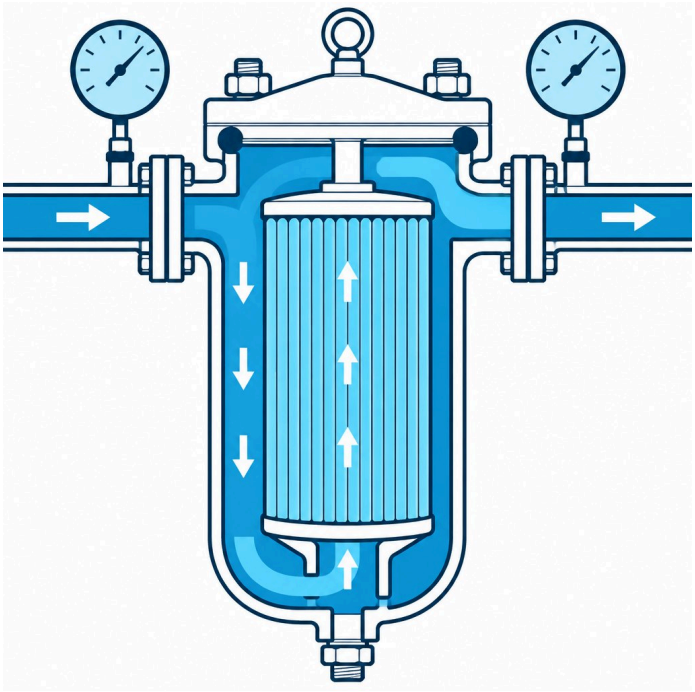
- Evite tramos muertos y tanques sin recirculación.
- No deje el sistema parado más de 24–48 h sin enjuagar o preservar.
- Limpie y sanitice tanques y tuberías del pretratamiento según programa.
- Mida la actividad biológica en distintos puntos, no solo en la entrada.

ATENCIÓN AL CARBÓN ACTIVADO

Un filtro de carbón que retira el cloro se convierte en un buen lugar para que crezcan bacterias. Contralávelo, sanitícelo y mida bacterias a su salida.

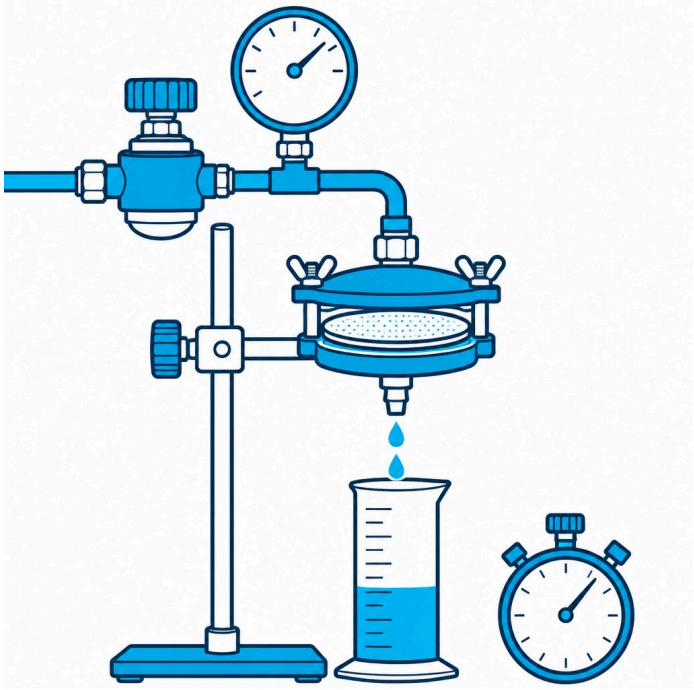
FILTRO DE CARTUCHO E ÍNDICE SDI

El filtro de cartucho es la última barrera antes de la bomba de alta presión. No es un filtro de trabajo: es un seguro.



CARTUCHO DE 5 MM

- Prefiera cartuchos de polipropileno de grado absoluto o de alta eficiencia.
- Cambie al llegar a la ΔP indicada por el fabricante (típico 0,7–1 bar) o según su programa.
- Si debe cambiarlos cada semana, el problema está aguas arriba.
- Nunca opere sin cartuchos ni con la carcasa mal sellada.



ÍNDICE DE DENSIDAD DE SEDIMENTOS

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

t_1: segundos para filtrar 500 mL al inicio; t_2: segundos para 500 mL tras 15 min de filtración continua a 2,1 bar (30 psi) con membrana de 0,45 µm y 47 mm.

SDI_{15}	Lectura
≤ 3	Objetivo para la mayoría de diseños
3 a 5	Ensuciamiento probable; limpiezas frecuentes
> 5	No apto para alimentar membranas

SDI CONFIABLE

Mida el SDI después del cartucho, siempre en el mismo punto, con el mismo equipo y presión regulada. Guarde las membranas filtradas: su color también informa (rojizo = hierro; marrón = orgánico o arcilla).

CONTROL DIARIO DEL PRETRATAMIENTO

Un plan de controles simple, cumplido todos los días, detecta los problemas antes de que lleguen a las membranas.

Punto	Parámetro	Frecuencia	Meta orientativa
Agua cruda	Turbidez, pH, temperatura, conductividad	Cada turno	Registrar tendencias
Salida de clarificador	Turbidez	Cada turno	Según diseño
Filtros multimedia	ΔP y turbidez de salida	Cada turno	ΔP limpia + 0,5–0,7 bar = contralavar
Salida de carbón o bisulfito	Cloro libre / ORP	Cada turno y en línea	No detectable
Entrada a OI	SDI_{15}	Diaria	< 3
Entrada a OI	Hierro y manganeso	Semanal	< 0,05 mg/L
Tanque de antiincrustante	Nivel y consumo	Cada turno	± 10 % del teórico
Filtro de cartucho	ΔP y color	Diaria	Según fabricante
Entrada a OI	Recuento bacteriano	Mensual	Tendencia estable

HOJA DE REGISTRO POR TURNO

Fecha / turno	Turbidez cruda	ΔP multimedia	Cloro entrada OI	SDI	ΔP cartucho	Nivel antiinc.	Firma

CON ARGOS360

Registre estas lecturas desde el celular en el módulo de inspecciones y vea las tendencias por punto, con alertas cuando un valor sale de rango.

DIAGNÓSTICO RÁPIDO DEL PRETRATAMIENTO

Cuando algo cambia en las membranas, la causa suele estar antes. Use esta tabla para ubicarla.

Síntoma	Causa probable en el pretratamiento	Acción
SDI alto y cartuchos que se tapan rápido	Multimedia saturado, contralavado insuficiente, coagulación mal dosificada	Contralave, revise velocidad de filtración y prueba de jarras
Cartucho rojizo o negro	Hierro o manganeso oxidado pasando	Revise el filtro catalítico y el punto de oxidación
ΔP de primera etapa sube con caudal estable	Biofouling o coloides	Revise cloración, carbón y bacterias; limpie la OI
Paso de sales sube de golpe	Cloro o oxidante llegó a las membranas	Pare, verifique decloración y ORP; evalúe daño
ΔP de última etapa sube y el permeado empeora	Incrustación: antiincrustante sin dosificar o recuperación alta	Verifique la bomba dosificadora y la recuperación; limpieza ácida
Consumo de antiincrustante menor al teórico	Bomba descebada, válvula de inyección tapada	Purgue, limpie la inyección, calibre
Espuma o película aceitosa	Aceite o grasa en la fuente	Pare la alimentación; ubique el origen

ANTES DE CULPAR A LA MEMBRANA

Revise los registros de los últimos días. En la gran mayoría de casos, el cambio empezó en el pretratamiento horas o días antes.

SEQUITECSA LE ACOMPAÑA

Diseñamos y fabricamos plantas de ósmosis inversa con su pretratamiento, suministramos los químicos y hacemos el mantenimiento en Arequipa, Moquegua y todo el sur del país.