CATÁLOGO TÉCNICO / ESPAÑOL

PVDF
Manual técnico

Diseño, instalación, operación y cuidado de las membranas

Guía técnica organizada en capítulos, con tablas de operación, esquemas de proceso y procedimientos de mantenimiento.

30	UF	ES
CAPÍTULOS TÉCNICOS	TECNOLOGÍA PVDF	EDICIÓN EN ESPAÑOL

MANUAL TÉCNICO | NOVIEMBRE 2026
Complemento del catálogo de productos Neptuno PVDF

Su manual de un vistazo

Diseño, instalación, operación y cuidado de las membranas.

Utilice estos capítulos para planificar, operar y mantener un sistema de ultrafiltración PVDF. Los datos de cada modelo y sus planos se encuentran en el catálogo Neptuno PVDF independiente.

CAPÍTULO		PÁGINA
01	Principios y terminología de ultrafiltración	pág. 03
02	Tecnología PVDF	pág. 04
03	Selección del pretratamiento	pág. 05
04	Clarificación, flotación y filtración granular	pág. 06
05	Bases de diseño y recogida de datos	pág. 07
06	Condiciones de funcionamiento	pág. 08
07	Condiciones habituales de limpieza	pág. 09
08	Normalización por temperatura	pág. 11
09	Equipos de contralavado y dosificación	pág. 12
10	Bancada CIP y aire comprimido	pág. 13
11	Manipulación, instalación y desmontaje	pág. 14
12	Mecanismos de ensuciamiento y respuesta	pág. 16
13	Circuitos de filtración y limpieza habitual	pág. 17
14	Secuencia de control habitual	pág. 20
15	CEB y mantenimiento del flujo específico	pág. 21

CAPÍTULO		PÁGINA
16	Puesta en marcha, arranque y parada	pág. 23
17	Parámetros de operación y estados de control	pág. 24
18	Alarmas y enclavamientos	pág. 25
19	Registros de operación y mantenimiento	pág. 26
20	Mantenimiento y resolución de averías	pág. 27
21	Ensayos de integridad	pág. 28
22	Reparación de fibras	pág. 29
23	Selección y límites de la limpieza CIP	pág. 30
24	Descripción general de la CIP	pág. 31
25	Ejecución detallada de la CIP	pág. 32
26	Matriz de equipos CIP	pág. 33
27	Embalaje, transporte y almacenamiento	pág. 34
28	Conservación durante paradas y rearranque	pág. 35
29	Protección contra la congelación	pág. 36
30	Recuperación de módulos secos	pág. 37

Principios y terminología de ultrafiltración

La UF emplea una membrana porosa asimétrica y una diferencia de presión para separar componentes mediante tamizado mecánico. Rangos generales: presión 0,01-0,3 MPa, tamaño de poro 0,002-0,1 µm y corte molecular 1 000-100 000 Da. Las aplicaciones de ultrafiltración también abarcan 1 000-500 000 Da y aproximadamente 0,005-0,1 µm. Son rangos de la tecnología UF, no especificaciones de un modelo.

La separación se realiza sin cambio de fase y puede funcionar a temperatura ambiente, con bajo consumo energético y aptitud para líquidos termosensibles. La UF retiene microorganismos, coloides, partículas, proteínas y compuestos orgánicos de gran tamaño. La retención también depende del tamaño, forma y flexibilidad del soluto; del pH, carga y composición de la disolución; y de la estructura, carga e hidrofilia de la membrana.

Los materiales habituales incluyen PVDF, PES, PP, PE, PS, PAN y PVC. La estabilidad química determina la tolerancia a la exposición y la selección de limpieza; la hidrofilia influye en la adsorción orgánica. Las membranas asimétricas combinan una capa filtrante fina y densa con un soporte poroso, favoreciendo la filtración superficial y la recuperación tras la limpieza. El ensayo de punto de burbuja caracteriza el tamaño de poro y la integridad.

El diseño del módulo equilibra densidad de empaquetamiento, polarización por concentración, facilidad de limpieza, tolerancia a la calidad del agua de alimentación y coste. Predominan las fibras huecas, aunque existen alternativas tubulares y espirales. En sentido exterior-interior, el agua circula entre las fibras, con espacio de movimiento y mayor tolerancia a los sólidos en suspensión. En sentido interior-exterior, circula por los lúmenes y exige límites más estrictos de tamaño y concentración de partículas.

La filtración frontal resulta adecuada para aguas más limpias y con menor carga, con funcionamiento sencillo y bajo consumo energético. La filtración tangencial desvía parte de la alimentación a lo largo de la superficie para arrastrar el material retenido y admite aguas de mayor carga de sólidos. El lavado directo, el contralavado, el barrido con aire, el CEB y la CIP eliminan el ensuciamiento acumulado.

Definiciones

Término	Significado
Alimentación	Agua que entra en la UF.
Permeado	Agua que atraviesa la membrana.
Flujo específico	Volumen de permeado por unidad de superficie y hora; LMH = $L/m^2 \cdot h$.
PTM	Presión transmembrana: diferencia media de presión a través de la membrana; en filtración frontal: presión de entrada menos presión de salida del permeado.
Contralavado	Agua de calidad igual o superior al permeado circula desde el lado de permeado hacia el de alimentación.
Barrido con aire	Aire comprimido exento de aceite en el lado de alimentación agita el agua y desprende depósitos.
Limpieza química	Los productos químicos contactan con las superficies exteriores de las fibras mediante circulación y remojo.
Recuperación	Caudal de permeado / caudal de alimentación × 100%.

Tecnología PVDF

01 Separación hidrófila

Las fibras huecas de PVDF modificadas para aumentar su hidrofilia combinan poros pequeños, estabilidad química, resistencia a la oxidación y resistencia mecánica. Una capa de hidratación estable reduce la adsorción orgánica y mejora la recuperación tras la limpieza.

02 Configuración exterior-interior

La configuración exterior-interior proporciona espacio de movimiento entre fibras, reduce el riesgo de obstrucción de canales y permite un barrido eficaz con aire y agua. El encapsulado y las fibras de alta resistencia favorecen la recuperación tras la limpieza. La carcasa resistente a la corrosión aporta solidez sin recipiente de presión adicional.

03 Selección según la aplicación

Seleccione superficie, dimensiones, prestaciones hidráulicas y disposición de equipos según la calidad de alimentación, capacidad y coste de operación. Las superficies menores permiten sistemas compactos; los módulos mayores responden a grandes aplicaciones industriales.

Selección del pretratamiento

La UF no elimina directamente las sustancias disueltas. Para retenerlas, primero deben transformarse en formas suspendidas o coloidales. Cuando predominan microorganismos y partículas, instale un prefiltro de 100-400 µm aguas arriba; puede emplear filtros autolimpiantes, de bolsa, cartucho o discos.

Según la variabilidad del agua, pueden añadirse coagulación/floculación, clarificación/sedimentación, flotación o filtración en medios granulares. La coagulación emplea sales de hierro/aluminio con mezcla rápida para desestabilizar partículas; la floculación suave forma flóculos separables. Pueden utilizarse polímeros catiónicos, aniónicos o no iónicos.

1. **Caracterizar el agua**
2. **Prefiltrar**
3. **Acondicionar si procede**
4. **Filtración UF**

Criterios de prefiltración

Origen del agua	Grado de filtración
Pozo / agua subterránea	≤400 µm
Agua de red	≤400 µm
Agua superficial	≤400 µm
Agua de mar	100-400 µm; 100-150 µm para limitar el bioensuciamiento en tuberías y depósitos
Reutilización de aguas residuales	≤400 µm

Determine el grado real de filtración según la calidad del agua y los requisitos del proyecto.

Clarificación, flotación y filtración granular

La clarificación/sedimentación elimina material particulado o coloidal tras la coagulación, o sólidos sedimentables. Se aplica con turbidez media >30 NTU o puntas >50 NTU, obteniendo habitualmente <2 NTU y SDI <6 con 2-4 h de retención.

Los decantadores lamelares utilizan placas a 60° separadas 5 cm, reduciendo habitualmente la ocupación en planta un 65-80% y resultando adecuados para turbidez >50 NTU. La floculación lastrada añade arena fina u otros medios insolubles de alta densidad para acelerar el crecimiento y la sedimentación de flóculos, con tiempos cortos y tolerancia a cargas de choque.

La flotación por aire disuelto (DAF) utiliza microburbujas de aproximadamente 50 µm para hacer flotar los sólidos coagulados. Es adecuada para partículas ligeras de sedimentación lenta, materia orgánica natural, algas o aceites en aguas <50 NTU, y suele producir agua clarificada <0,5 NTU.

La filtración granular captura partículas sobre arena, piedra pómez, antracita u otros granos. Con diseño y operación adecuados elimina habitualmente el 90-99% de las partículas, sólidos en suspensión y coloides.

Criterios de filtración granular

Configuración	Criterios de diseño
Un medio	Arena fina; turbidez de alimentación <2 NTU y TSS <3 mg/L.
Dos medios	Tamaño efectivo de arena 0,35-0,5 mm; antracita 0,7-0,8 mm. La antracita sobre arena mejora la filtración en profundidad. Profundidad total mínima del lecho 0,8 m; capas habituales de 0,5 m de arena + 0,4 m de antracita.
Dos etapas	Recomendado con turbidez >20 NTU y TOC >6 mg/L. La primera etapa gruesa elimina el 60-80% de los sólidos en suspensión; la segunda de afino elimina hasta el 99% de los finos restantes. Eliminación de TOC del 20-30%, o aproximadamente 50% con una capa superior de GAC. Efluente habitual <0,1 NTU.

Bases de diseño y recogida de datos

Incluya pretratamiento, módulos UF, contralavado, barrido con aire, dosificación química y limpieza in situ (CIP). La NF/OI puede seguir a la UF para eliminar sales, o el intercambio iónico para iones determinados. Evalúe conjuntamente flujo específico, calidad del permeado y PTM con la composición, temperatura y presión de alimentación. Un mayor flujo específico aumenta la PTM, el ensuciamiento y la limpieza. Se recomienda experiencia comparable y ensayos piloto, especialmente con aguas difíciles o proyectos grandes.

Registre nombre, contacto y ubicación del proyecto; condición de nuevo, piloto, reforma o ampliación; sector, producción de diseño y requisitos. Identifique si el agua procede de pozo, río, lago/embalse, mar, red, aguas residuales urbanas o industriales. Documente el pretratamiento y la adición de floculante, auxiliar de coagulación o desinfectante.

Datos del informe de diseño: nombre del proyecto, fecha del registro, persona de contacto, teléfono, correo electrónico, ubicación, producción prevista (m^3/h), otros requisitos/instrucciones y estado del proyecto (nuevo, piloto, reforma, ampliación u otro).

Aplicaciones: energía, petroquímica, metalurgia, electrónica, alimentación y bebidas, farmacia, agua de red y reutilización de aguas residuales. Los orígenes del agua también incluyen «otro». Registre la descripción del agua, laboratorio, analista, fecha de muestreo y observaciones; describa el pretratamiento y su estado actual de funcionamiento.

Informe del agua bruta

Datos	Base del registro
Conductividad, pH, temperatura de muestra; laboratorio, analista y fecha	Diseño, mínimo, máximo y observaciones.
Temperatura, pH, TDS, TSS, turbidez, aceites y grasas, DQO, DBO5, TOC, DOC, hierro total y manganeso total	Utilice °C, NTU y mg/L según corresponda.

Condiciones de funcionamiento

Base de diseño y límites máximos

Parámetro	Base de diseño	Límite máximo
TSS	<50 mg/L	100 mg/L
Turbidez	<50 NTU	300 NTU
TOC	<10 mg/L	40 mg/L
Tamaño de partícula	150 µm	400 µm
pH en operación continua	6-9	1-11
pH de limpieza de corta duración	1-12	1-13
Temperatura	25 °C	1-40 °C
Presión de operación	3 bar	6 bar
PTM	0,4-2,0 bar	3,0 bar
Cloro libre en limpieza de corta duración	2000 mg/L	5000 mg/L

Optimice la base de diseño para el tipo de agua; evalúe el efecto de las cargas máximas de calidad. La influencia de la DQO varía con el origen del agua.

Condiciones habituales de limpieza

Limpieza física

Operación	Parámetro	Valor
Contralavado	Intervalo	20-60 min
Contralavado	Duración	0,5-2 min/ciclo
Contralavado	Flujo específico	100-150 LMH
Contralavado	Presión máxima	2,5 bar
Lavado directo, módulo de 8 pulgadas	Caudal	1,8-4,0 m^3/h
Lavado directo	Duración	20-60 s/ciclo
Lavado directo	Frecuencia	Combinado con filtración/contralavado
Barrido con aire	Presión máxima de entrada	2,5 bar/módulo
Barrido con aire	Caudal	5-12 Nm^3/h/módulo
Barrido con aire	Duración	20-60 s/ciclo
Barrido con aire	Frecuencia	Generalmente sincronizada con el contralavado
Barrido con aire	Presión de entrada orientativa	≤1,0 bar; aire exento de aceite

Limpieza química

Operación	Parámetro	Valor
CEB	Frecuencia	Optimizar mediante ensayos y experiencia de operación
CEB	Remojo	5-10 min
CEB	Ácido	0,1% HCl, pH 2
CEB	Álcali	0,05% NaOH + 0,1% NaClO, pH 12

Condiciones habituales de limpieza

Operación	Parámetro	Valor
CIP	Criterio de inicio	PTM normalizada +1,0 bar o caudal de permeado normalizado -25%, sin recuperación mediante contralavado/CEB; o PTM de operación 2,1 bar
CIP	Duración	60-90 min; prolongar para ensuciamiento intenso
CIP	Ácido	1-2% ácido cítrico O 1-2% ácido oxálico O 0,2% HCl, pH 2
CIP	Álcali	0,1% NaOH + 0,2% NaClO como cloro activo, pH 12
CIP, módulo de 8 pulgadas	Caudal	1,5-2,0 m^3/h/módulo
CIP	Temperatura de la disolución	10-40 °C
CIP	Lavado ácido recomendado	30-40 °C
CIP	Lavado alcalino recomendado	30-35 °C

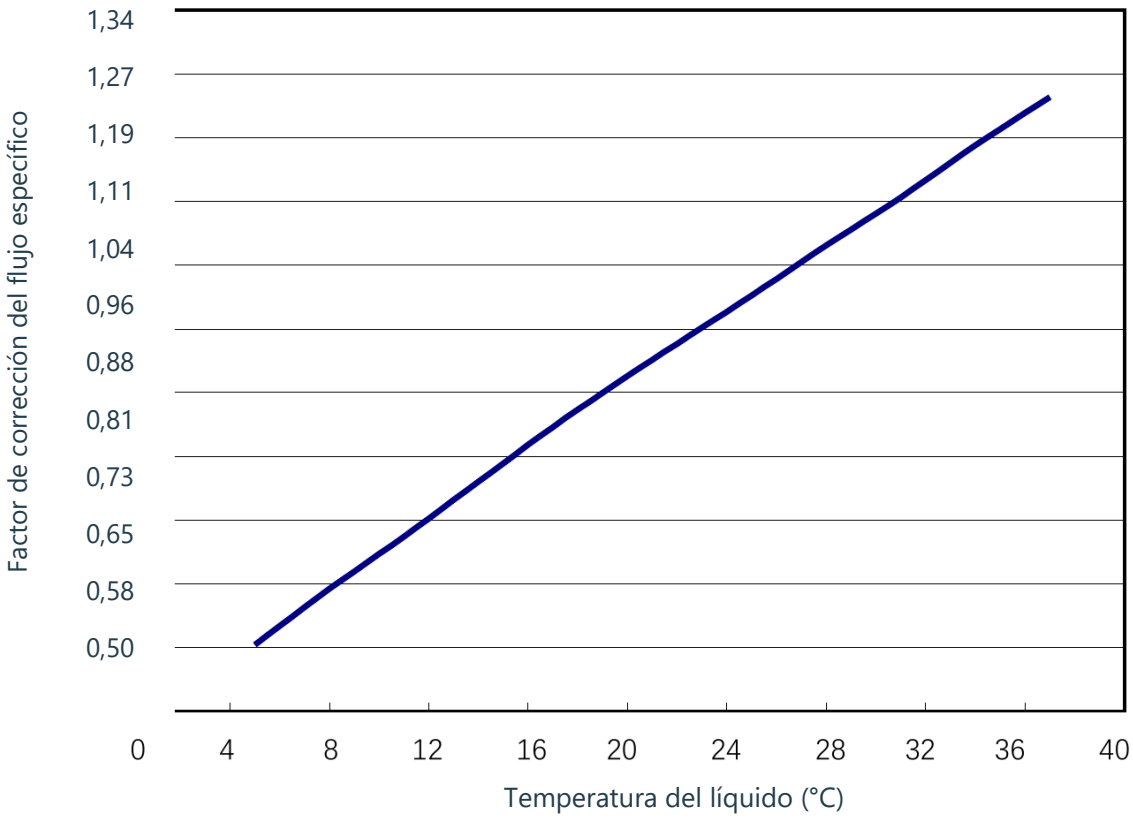
Adapte la selección química al agua y al ensuciamiento. Una temperatura excesiva puede provocar daños irreversibles o fugas.

Normalización por temperatura

La viscosidad del agua cambia con la temperatura y afecta al flujo específico y a la PTM necesaria. La curva de corrección utiliza 25 °C como referencia, con factor 1. Flujo específico normalizado = flujo específico a la temperatura real / factor de corrección del flujo específico.

Con PTM constante: flujo específico de diseño 80 LMH a 25 °C; factor de corrección a 14 °C = 0,776; flujo específico = 80 × 0,776 = 62,08 LMH.

A 80 LMH constantes: PTM de 0,5 bar a 30 °C; factor de corrección de PTM de 0,92 a 30 °C y 1,25 a 15 °C; PTM a 15 °C = 0,5 / 0,92 × 1,25 ≈0,68 bar.



Curva de corrección por temperatura. Referencia: 25 °C, factor 1.

Equipos de contralavado y dosificación

Incluya contralavado, dosificación CEB cuando proceda, CIP y aire comprimido. El contralavado comprende depósito, bomba y dosificación de NaClO. Utilice preferentemente permeado UF; el depósito de agua producida también puede abastecer el contralavado.

Dimensione el caudal de la bomba como flujo específico × superficie total de membrana; flujo específico de diseño del contralavado 100-150 LMH. Incluya las pérdidas en tuberías, con una presión orientativa de aproximadamente 2,0 bar en la entrada UF. Se recomienda acero inoxidable para los componentes en contacto con el líquido.

Opciones de dosificación de NaClO: continua de 1-5 ppm en alimentación; choque diario de 10-15 ppm durante 30-60 min; o 10-15 ppm en el agua de contralavado. Prevea almacenamiento químico >24 h, alarma de nivel bajo/parada de bomba y presión de dosificación superior a la del punto de inyección.

El CEB ácido trata coloides de Fe/Al y dureza. La bomba dosificadora se dimensiona según el caudal de contralavado para alcanzar 0,5-1% de ácido oxálico, 0,5-1% de ácido cítrico o 0,1% de HCl. El ensuciamiento intenso puede requerir tratamientos más concentrados o largos, dentro de las concentraciones CIP. Prevea almacenamiento >24 h y alarma/enclavamiento de nivel bajo.

El CEB alcalino/biocida trata el ensuciamiento orgánico/biológico: 0,1% NaClO + 0,05% NaOH. En casos intensos puede requerirse más remojo o NaClO, sin superar el 0,2% recomendado. Prevea almacenamiento >24 h, alarma/enclavamiento de nivel bajo y presión de inyección adecuada.

Para dosificar ácido o álcali/biocida puede utilizarse una bomba dosificadora o, si se necesita mayor caudal, una bomba de arrastre magnético. Dimensione la bomba según el caudal de contralavado y la concentración objetivo de remojo.

Bancada CIP y aire comprimido

Se requiere CIP cuando la PTM normalizada aumenta 1,0 bar o el caudal de permeado normalizado disminuye un 25-35% y el contralavado/CEB habitual no recupera las prestaciones. Aísle la unidad del servicio. La bancada de limpieza suele incluir depósito, bomba y filtro; puede funcionar manual o automáticamente.

Dimensione el depósito para el volumen interno de los módulos más tuberías/filtro y un margen. Caudal de diseño de la bomba de limpieza: 1-2 m^3/h por módulo × número de módulos. Incluya pérdidas de carga y mantenga generalmente la presión de entrada ≤3 bar. Utilice acero inoxidable o materiales resistentes a la corrosión para los componentes en contacto con el líquido. Adapte el caudal del filtro al de la bomba; construcción en acero inoxidable o plástico resistente a la corrosión.

Utilice aire comprimido limpio; elimine aceite, sólidos y humedad arrastrados. Son habituales los compresores volumétricos de pistón o tornillo. El diseño del aire comprimido emplea una presión máxima de entrada de 1,5 bar y un caudal de aire de 5-12 Nm^3/h por módulo.

Los compresores pueden ser volumétricos o dinámicos; se utilizan habitualmente diseños volumétricos de pistón y tornillo.

Manipulación, instalación y desmontaje

Prepare botas de seguridad de goma, guantes, gafas, llaves, destornilladores, maza de goma y cúter de seguridad. Soporte las tuberías para no transmitir cargas adicionales a los módulos. Elimine polvo, abrasivos, grasa y virutas metálicas. Compruebe que el pretratamiento, los equipos auxiliares y los productos químicos están listos. Abra el embalaje poco antes de la puesta en marcha.

Evite caídas y golpes; compruebe los accesorios. Retire los tapones o cierres de las conexiones, vacíe el conservante de transporte y gestiónelo correctamente. Conserve tapones para aislamientos futuros o devoluciones. Utilice los planos de detalle para el montaje.

Procedimiento

01. Atornille la placa base a la estructura de soporte.

02. Instale las patas del bloque de apoyo en los taladros con una maza de goma.

03. Fije un extremo de la abrazadera de sujeción y deje libre el segundo.

04. Coloque el módulo vaciado sobre la placa base y alinéelo axialmente.

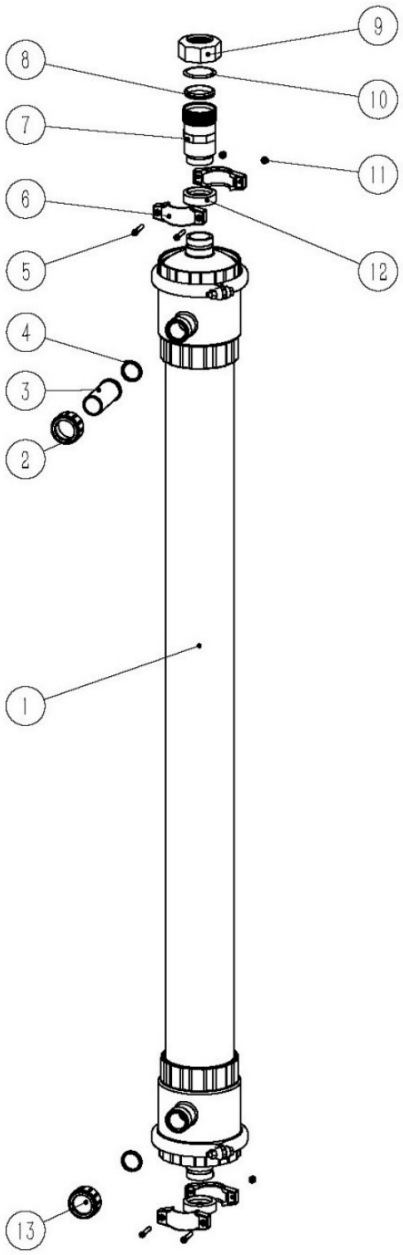
05. Fije la abrazadera con toda la superficie de goma apoyada en el cuerpo.

06. Monte la cubierta superior opcional si procede.

07. Conecte entrada/salida con manguitos de unión y juntas, sin torsión ni tracción sobre las conexiones. Retire el tapón de aire inferior; monte el conector rápido, la arandela combinada y la tubería de aire.

08. Repita para todos los módulos. Para desmontar, trabajen dos personas: desconecten agua/aire, suelten la abrazadera y eleven con cuidado. Selle las conexiones expuestas del módulo y tuberías con los tapones conservados cuando proceda.

Despiece del módulo



1	Cuerpo del módulo
2	Tuerca lateral
3	Conexión lateral
4	Junta tórica lateral
5	Tornillo Allen
6	Acoplamiento
7	Conexión TP
8	Junta TP
9	Tuerca TP
10	Arandela TP
11	Tuerca hexagonal
12	Junta del acoplamiento
13	Placa ciega

Despiece del módulo y relación de componentes.

Mecanismos de ensuciamiento y respuesta

El ensuciamiento eleva la PTM a flujo específico constante o reduce el flujo específico a presión constante. Sus mecanismos incluyen torta superficial, adsorción en las paredes de poro y bloqueo de poros. Una capa suelta de partículas grandes se elimina más fácilmente; el gel fino adherido a la membrana cubre los poros y aumenta la resistencia. La entrada/adsorción de partículas finas puede ser irreversible.

Entre las causas figuran pretratamiento deficiente, exceso de coagulante, materiales inadecuados en bombas/tuberías, fallos de dosificación, contralavado/CEB insuficiente, flujo específico o presión excesivos, depósitos acumulados, algas estacionales, cambios de alimentación, aceites/inorgánicos, biopelículas y conservación deficiente o secado durante paradas.

Identifique los contaminantes mediante datos normalizados, análisis del agua, eficacia de limpiezas anteriores, depósitos del filtro SDI, residuos de lavado y depósitos en la entrada del módulo. Un color pardo rojizo puede indicar hierro; lodos o gel sugieren ensuciamiento biológico/orgánico. Retrasar la limpieza puede hacer los depósitos resistentes y dañar módulos/equipos.

Prevención y limpieza del ensuciamiento

Tipo	Prevención	Limpieza
Particulado: sólidos en suspensión, coloides, turbidez	Coagulación, clarificación y filtración granular	Barrido con aire / contralavado
Biológico: organismos y biopelícula adherente	Control microbiológico, cloración en línea, eliminación de nutrientes con PAC/GAC, coagulación	CEB/CIP con oxidantes/biocidas; ejemplos: NaClO, Cl2, H2O2, NaHSO3
Inorgánico: depósitos de Ca, Mg, Fe, Mn	Oxidación/precipitación + filtración; agua de baja dureza para CEB alcalino cuando proceda	CEB/CIP ácido: HCl, H2SO4, ácido cítrico u oxálico
Orgánico: limo, ácidos orgánicos, húmicos, tensioactivos, detergentes, polímeros, taninos	Coagulación, PAC/GAC	CEB/CIP alcalino, p. ej. NaOH

Consulte con Neptuno antes de seleccionar tipos de PAC, ya que los inadecuados pueden dañar las membranas.

Circuitos de filtración y limpieza habitual

1	2	3	4	5	6
Filtración	Barrido con aire	Vaciado	Contralavado superior	Contralavado inferior	Lavado directo

La operación normal suele ser filtración frontal a flujo específico constante. Los sólidos retenidos elevan la PTM, por lo que se realiza un contralavado temporizado asistido por aire. Durante la filtración frontal instantánea se filtra toda la alimentación.

Lavado directo de arranque: 2-3 min desde la entrada inferior, por el exterior de las fibras, hasta la salida superior de concentrado sin filtrar, eliminando productos químicos y aire atrapado. La filtración suele durar 30-60 min, según el agua y el régimen de limpieza.

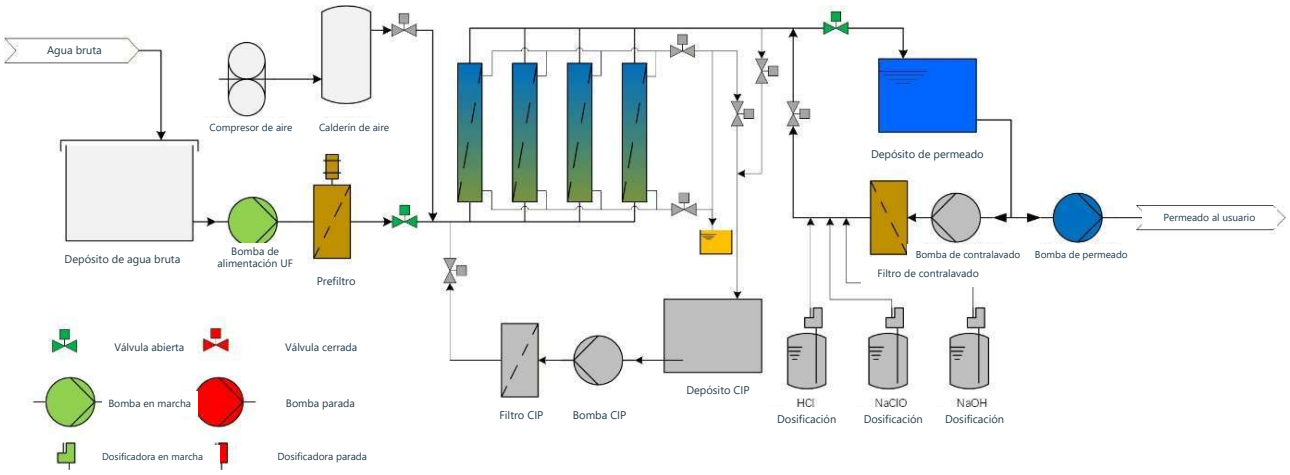
El aire entra por la parte inferior de la carcasa, forma burbujas ascendentes y sale por la conexión superior de concentrado. Detenga el aire antes de vaciar. Abra el desagüe inferior para evacuar por gravedad el agua y los contaminantes desprendidos; gestione correctamente los residuos.

Contralavado superior: agua de calidad de permeado entra en los lúmenes por la conexión superior de permeado, atraviesa las paredes en sentido inverso y sale por la conexión superior de concentrado. Contralavado inferior: continúa el aporte superior de permeado, pero el residuo sale por la entrada inferior de alimentación. Ajuste duración, caudal y presión al ensuciamiento sin sobrecargar las fibras.

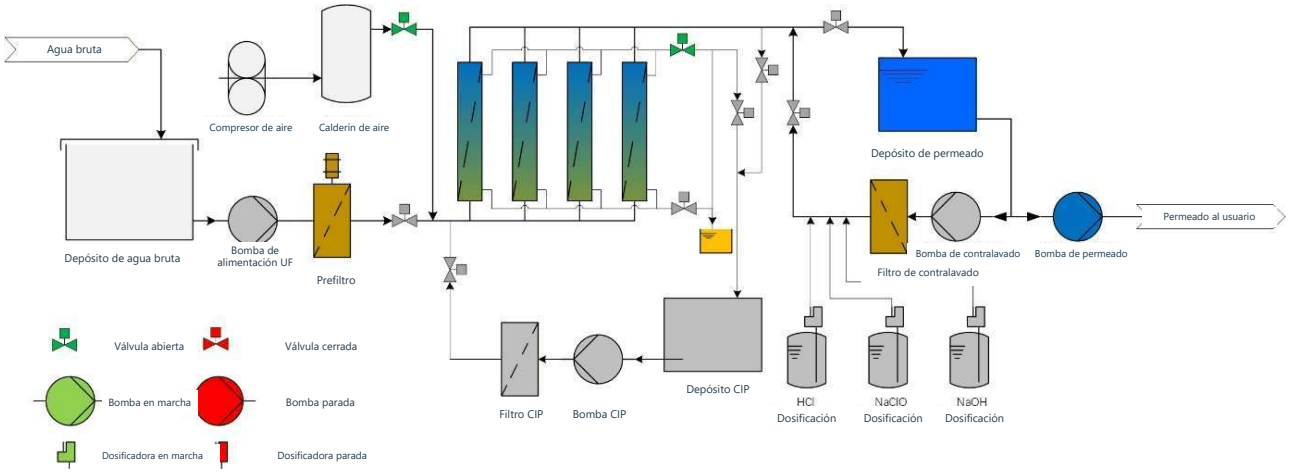
El lavado directo posterior al contralavado va desde la entrada inferior de alimentación hasta la salida superior de concentrado y elimina contaminantes, productos químicos y aire antes de filtrar o quedar en espera.

Circuitos de operación

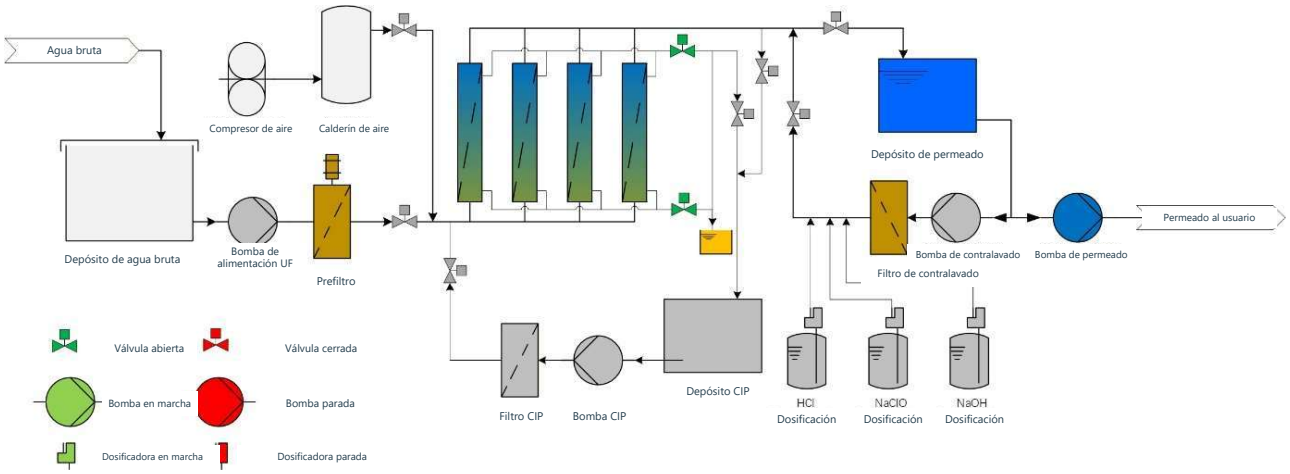
Filtración



Barrido con aire

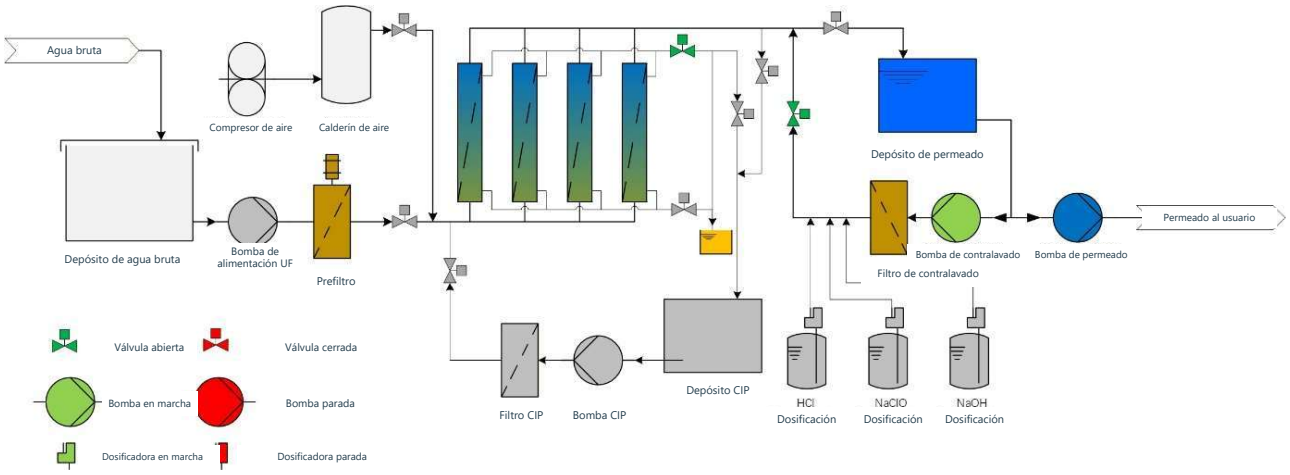


Vaciado inferior

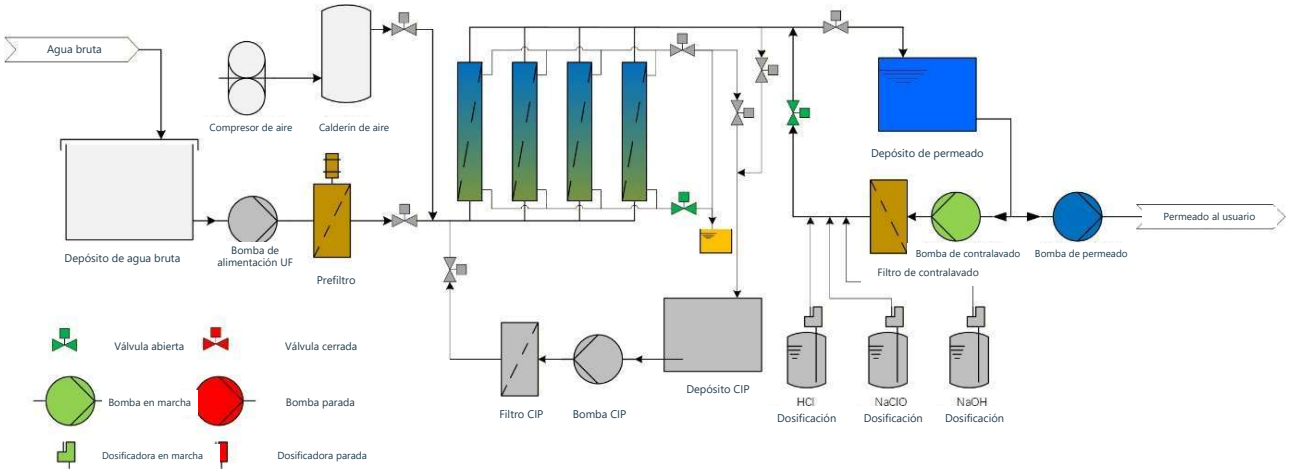


Circuitos de operación

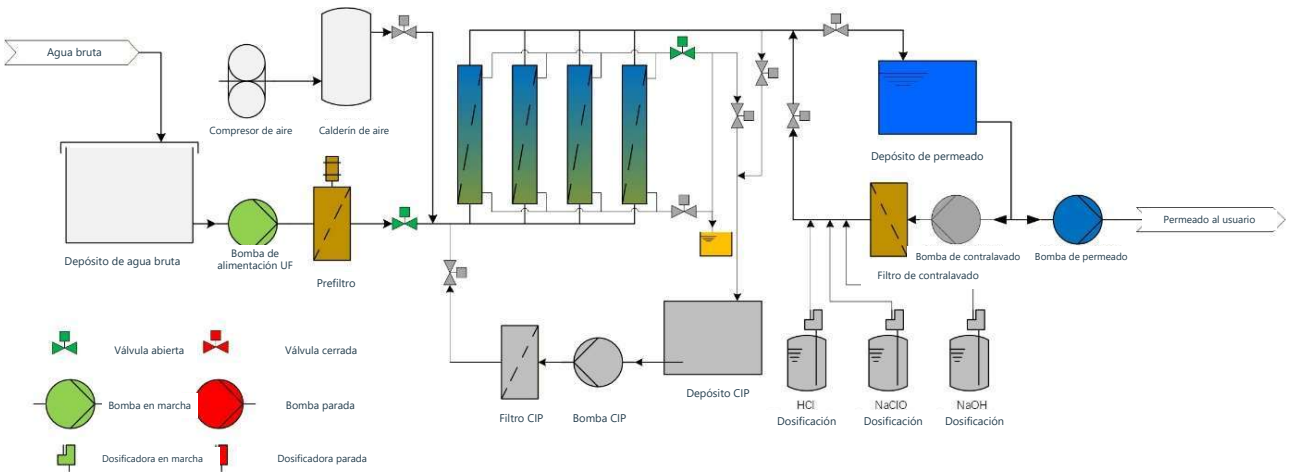
Contralavado superior



Contralavado inferior



Lavado directo



Secuencia de control habitual

Programa de funcionamiento

Etapa	Duración	Caudal / flujo específico	En marcha / abierto
Lavado directo inicial	2-3 min	2,0-4,0 m^3/h	Bomba de alimentación; válvula de lavado directo; desagüe de lavado directo
Filtración	30-60 min	40-120 LMH	Bomba de alimentación; entrada de agua; válvula de permeado
Barrido con aire	30-60 s	5-12 Nm^3/h/módulo	Entrada de aire; desagüe de lavado directo
Vaciado	30-30 s	Gravedad	Desagüe de lavado directo; desagüe de contralavado
Contralavado 1	30-60 s	100-150 LMH	Bomba de contralavado; entrada de contralavado; desagüe de lavado directo
Contralavado 2	30-60 s	100-150 LMH	Bomba de contralavado; entrada de contralavado; desagüe de contralavado
Lavado directo	30-60 s	2,0-4,0 m^3/h	Bomba de alimentación; válvula de lavado directo; desagüe de lavado directo
Filtración	30-60 min	40-120 LMH	Bomba de alimentación; entrada de agua; válvula de permeado
Parada	-	-	Todo parado/cerrado

Ajuste la secuencia y los parámetros durante la puesta en marcha. Repita filtración→aire→vaciado→CL1→CL2→lavado→filtración, reiterando las etapas de limpieza cuando sea necesario. La válvula de concentrado tangencial solo abre en ese modo. Incluya el tiempo de maniobra de válvulas. Las bombas CEB/CIP permanecen paradas en la secuencia habitual.

CEB y mantenimiento del flujo específico

El contralavado químicamente mejorado (CEB) añade cloro, ácido o álcali según el ensuciamiento y la estación. La frecuencia habitual varía de diaria a semanal; las aguas de muy buena calidad pueden no requerir CEB. Actívelo por temporización, experiencia o PTM. Realice primero un contralavado normal, dosifique y llene completamente el módulo, deje en remojo y complete la limpieza física.

El proceso CEB principal contempla 5-10 min de remojo; la descripción general permite 5-20 min. El barrido intermitente, p. ej. 5-10 s cada 5 min, mejora el contacto. El CEB puede emplear menor flujo específico, p. ej. 80 LMH. Tras el remojo, realice barrido, vaciado, contralavado superior/inferior y lavado directo; derive a desagüe el primer filtrado cuando proceda.

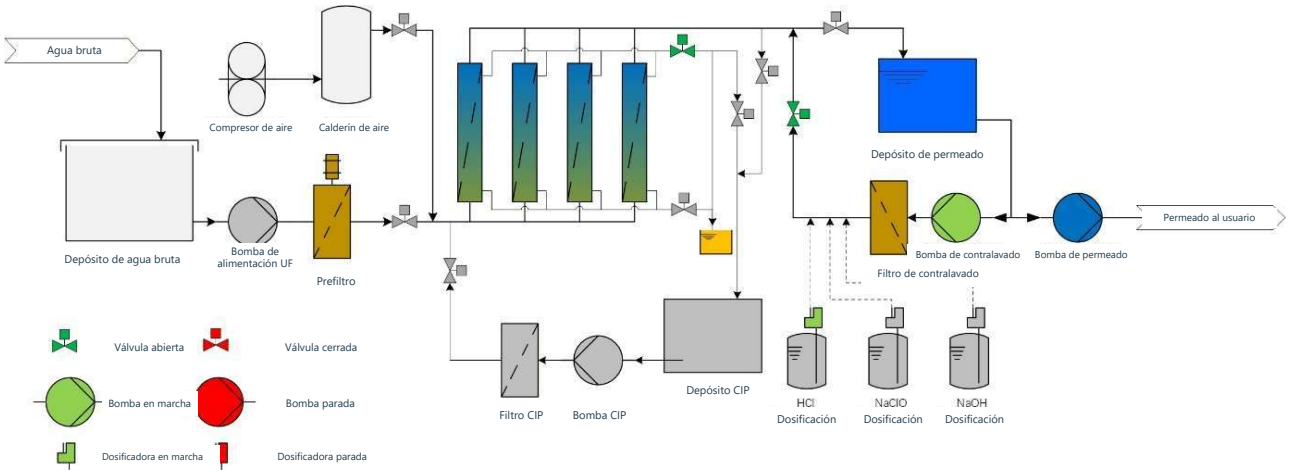
CEB alcalino: 0,1% NaClO + 0,05% NaOH, pH 12 para ensuciamiento orgánico/biológico. CEB ácido: 0,1% HCl o H2SO4, pH 2 para Fe/Al coloidal o dureza. El contralavado químico superior/inferior utiliza las salidas correspondientes al contralavado físico.

El mantenimiento mejorado del flujo específico (EFM) utiliza los equipos CIP existentes para limpiezas más cortas y frecuentes en lugar del CEB. Habitualmente 1-3 veces por semana, unos 30 min que incluyen contralavado normal, circulación precalentada, remojo, circulación con aire intermitente y contralavado final. Se recomienda automatizarlo. Puede seguir siendo necesaria una CIP completa periódica.

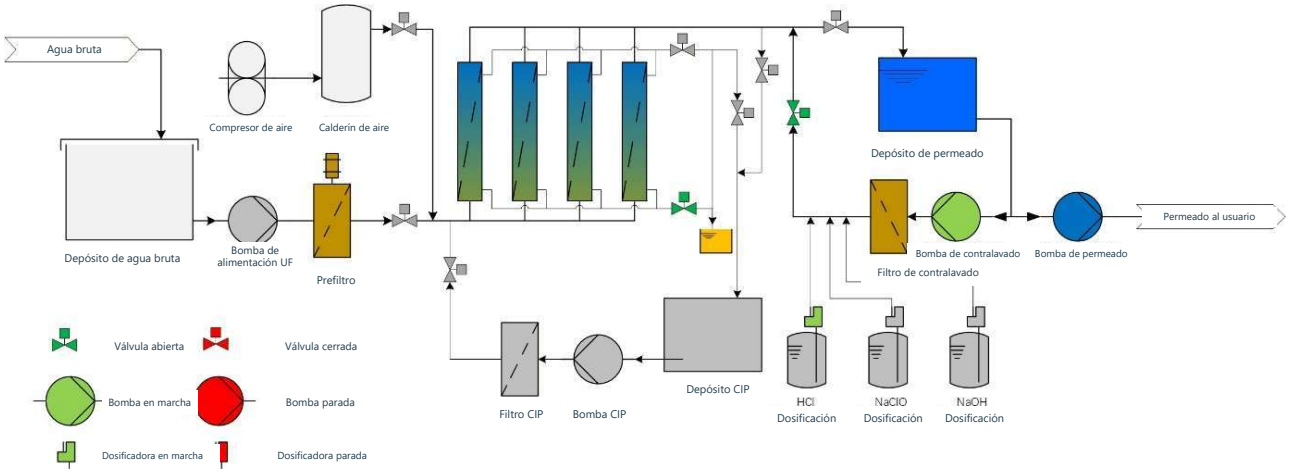
Ventajas del EFM: mayor recuperación/disponibilidad, menos componentes CEB, menor ocupación, circulación caliente y flexibilidad química, posible preparación con agua de OI/descalcificada, menos consumo químico y vertidos, y menor exposición a oxidantes de la OI posterior.

Circuitos de limpieza química

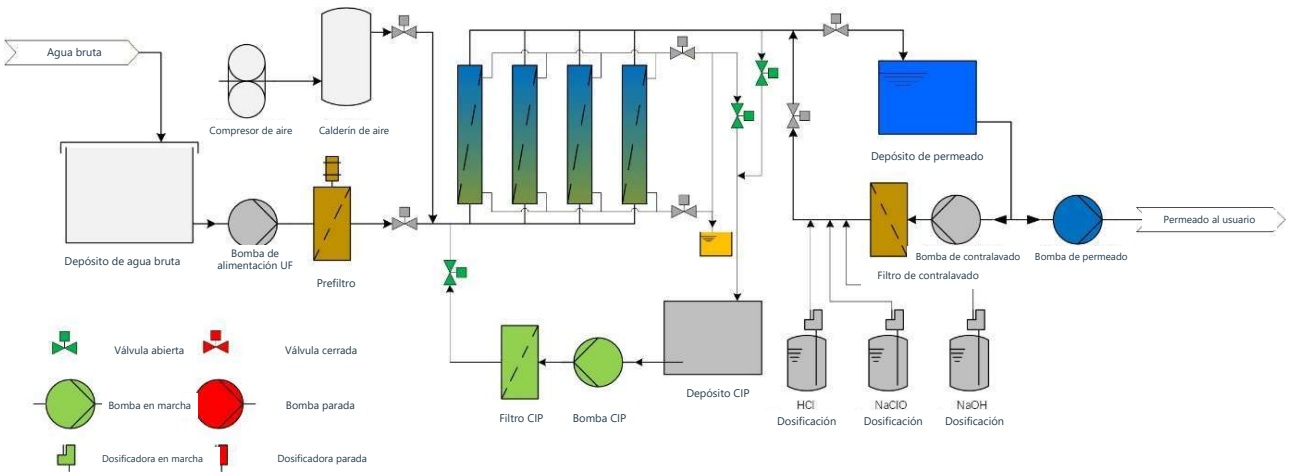
Contralavado químico superior



Contralavado químico inferior



Limpieza in situ



Puesta en marcha, arranque y parada

Procedimiento

01. Compruebe pretratamiento, desagües, instalación de módulos, limpieza de tuberías, calibración, lógica PLC y sistemas eléctricos y de aire comprimido.

02. Comience con bombas paradas y válvulas cerradas. Para eliminar conservante, abra permeado y desagüe de lavado directo; arranque la bomba de alimentación y regule lentamente el lavado a presión <1,5 bar hasta que no salga espuma.

03. Realice la puesta en marcha manualmente. Determine caudal máximo, presión e intervalo de contralavado según el agua y diseño. Produzca inicialmente el 30-60% del caudal de diseño; tras 24 h aumente gradualmente hasta el caudal completo.

04. Abra permeado y ajuste gradualmente la alimentación a la producción objetivo. Si procede, regule lentamente la descarga tangencial/de concentrado. El arranque establece PTM ≤2,1 bar.

05. Con el desagüe de lavado directo totalmente abierto, arranque la bomba de contralavado y regule gradualmente a ≤2 bar. Con la entrada de aire cerrada, ajuste el regulador a 1,0 bar.

06. Ajuste intervalos de contralavado/aire y escalone las unidades paralelas. Tras los ajustes manuales, pare y arranque en automático. Verifique la protección de presión del permeado, abriendo el desagüe directo cuando proceda.

07. Parada manual: abra el desagüe directo durante 15 s y cierre lentamente la alimentación. La parada automática se activa por fallo de arranque/bomba fuera de automático, exceso de presión de entrada o contrapresión de permeado y otros enclavamientos.

08. En paradas largas evite secado, crecimiento microbiano y temperaturas extremas; desconecte el cuadro. El máximo sin protección es 24 h. Para 1-2 días, haga funcionar el sistema 30-60 min diarios o contralave a diario. La conservación prolongada se detalla en almacenamiento.

09. Tras una parada prolongada, lave continuamente hasta eliminar toda la espuma y el conservante.

Parámetros de operación y estados de control

Un permeado estable exige alimentación adecuada, parámetros correctos y limpieza a tiempo. Ajuste el flujo específico según la carga. Un caudal excesivo de contralavado o aire puede romper fibras. Las pautas de operación establecen contralavado de 100-150 LMH a presión de entrada <2,0 bar; aire de 5-12 Nm^3/h/módulo a aproximadamente 1,0 bar, máximo 2,5 bar.

Límites de presión: PTM máxima 2,1 bar, alimentación máxima 6,0 bar según temperatura, contralavado normal 2,0 bar y máximo 2,5 bar, aire recomendado 1,0 bar y máximo 2,5 bar. Ajuste el intervalo de contralavado durante la puesta en marcha y según el agua, normalmente 20-60 min.

Estados de control: espera (válvulas cerradas, pendiente de orden), filtración y contralavado. Escalone la limpieza de unidades paralelas. Utilice control manual para puesta en marcha, mantenimiento o tareas especiales. Ante pérdida de alimentación eléctrica, el PLC detiene bombas de alimentación/dosificación y cierra válvulas; al restablecerse vuelve a espera.

Parada automática: orden local/remota, fallo de bomba de alimentación o fuera de automático, fallo de válvula de control o fuera de automático, presión de entrada alta, contrapresión de permeado alta o presión de contralavado alta. Los instrumentos envían contactos o señales de 4-20 mA al PLC.

Alarmas y enclavamientos

Protecciones del PLC

Señal	Umbral de activación	Retardo / acción
Presión de alimentación	Entrada normal +2,0 bar; ajustar el rango si procede, máximo 6,0 bar	5 s; alarma y espera
Presión de permeado	Salida normal +2,0 bar	5 s: alarma y apertura del desagüe directo; 10 s: espera
PTM	PTM inicial +1,0 bar o máximo 2,1 bar	30 s; alarma de limpieza; espera recomendada si la producción lo permite
Presión / caudal de contralavado	Presión al caudal mínimo de contralavado o máximo 2,5 bar; según la bomba	10 s; alarma y parada de la bomba de contralavado
Nivel bajo de depósito químico	Según depósito y aplicación	Alarma y parada de dosificación; la UF puede seguir con dosificación supervisada
Confirmación de válvula automática	Ausencia o pérdida de la señal esperada	5-10 s según velocidad de válvula; alarma y espera
Presión de barrido con aire	Presión ajustada +0,5 bar o 2,5 bar	10 s; alarma y omisión del barrido con aire
Aire de instrumentación	<5,0 bar o mínimo requerido por las válvulas	10 s; alarma y espera

Los ajustes requieren una puesta en marcha específica del equipo.

Registros de operación y mantenimiento

Conserve datos para trazabilidad, diagnóstico y planificación del mantenimiento; siga el manual de operación y mantenimiento del sistema. Normalice las prestaciones para distinguir temperatura y ensuciamiento.

Pretratamiento: analice entrada/salida de DQO, turbidez, Fe/Mn y aceites/grasas al menos semanalmente; registre la pérdida de carga del filtro dos veces al día; mida a diario el consumo de floculante/coagulante y otros productos; calibre al menos trimestralmente; registre anomalías y paradas.

UF: registre al menos una vez por turno fecha/hora/horas acumuladas, temperatura de alimentación, caudales y presiones de alimentación/permeado/concentrado, turbidez de entrada/permeado y SDI del producto. Analice entrada/permeado al arrancar y semanalmente. Calibre trimestralmente y registre SDI, turbidez, presión o paradas anómalos.

Mantenimiento: fecha/trabajo/personal; síntomas, causa y solución de averías; piezas sustituidas (fecha/nombre/especificación/marca); membranas añadidas/sustituidas (modelo/cantidad/motivo); método, resultado y responsable de calibración; sustitución de pretratamiento/instrumentos (fecha/marca/clase/motivo); fecha, duración, producto, concentración, pH, temperatura, caudal y presión de limpieza química, y resultados antes/después.

Campos del registro de operación

Datos del sistema	Mediciones por turno
Pretratamiento; producto/dosis; modelo UF; número de bastidores; módulos/bastidor; superficie total; fecha/hora; horas acumuladas; responsable del registro	Temperatura de alimentación; presión de entrada/salida de prefiltro; presiones UF de alimentación/permeado/concentrado; caudales de permeado/concentrado/contralavado/lavado directo; intervalos de contralavado/aire; turbidez de alimentación/permeado; TSS de alimentación; SDI de permeado.

Mantenimiento y resolución de averías

Una caída gradual del caudal o aumento de PTM suele indicar ensuciamiento tratable mediante limpieza física, CEB y CIP. Los cambios repentinos sugieren fallos, errores de operación o ensuciamiento intenso que requieren actuación inmediata.

Calibre regularmente los manómetros y corrija lecturas anómalas. Inspeccione temperatura, juntas y fugas de bombas centrífugas. Calibre caudalímetros trimestralmente. Revise mensualmente válvulas automáticas por fugas y confirmación de posición. Supervise calidad de alimentación, caudal/presión UF y fugas en módulos. Los trabajos eléctricos requieren personal formado y cualificado.

Diagnóstico de averías

Síntoma	Causas / comprobaciones	Actuación
PTM alta	Ensuciamiento; alimentación deficiente; contralavado incompleto; flujo específico alto; agua fría	Identifique contaminantes; mejore el pretratamiento; limpieza ácida/alcalina específica; reduzca el flujo específico; acorte intervalos de contralavado; normalice por temperatura.
Bajo caudal de permeado	Ensuciamiento/obstrucción; presión de alimentación baja; fugas; fallo de medida; posición incorrecta de válvula; agua fría	Limpie/sustituya módulos según proceda; regule presión; repare fugas; calibre/sustituya medidor; corrija válvulas; considere la temperatura.
Mala calidad de permeado	Daño de módulo; fugas en juntas/conexiones; fibras rotas; mal pretratamiento; residuos químicos	Ensaye integridad; repare/sustituya elementos/juntas; mejore pretratamiento; aclare completamente.
Fallo de funcionamiento automático	Cableado/bomba fuera de automático; presión alta/fallo de presostato; válvula de permeado cerrada/proceso posterior parado; ajustes erróneos; fallo PLC	Compruebe cableado y funcionamiento manual antes de automático; revise bombas/presostatos; corrija válvulas/proceso posterior; repare la lógica PLC.

Ensayos de integridad

Humecte completamente los poros antes del ensayo. Por debajo del punto de burbuja, los poros húmedos intactos dejan difundir poco aire; las fibras rotas o defectos lo dejan pasar rápidamente. Ecuación del punto de burbuja: P = 4 cos(θ) B γ / d. Burbujas continuas o pérdida excesiva de presión de gas indican fugas.

Observación de burbujas: llene y sature el módulo. Introduzca lentamente aire sin aceite en el lado de alimentación desde 0 bar, manteniendo abierta la válvula de permeado. Observe el permeado al subir hasta 1,5 bar; burbujas continuas indican defecto. El ensayo de caída de presión complementa la detección de defectos pequeños.

Caída de presión: llene y humecte el módulo. Introduzca lentamente aire sin aceite en alimentación hasta 2,0 bar con permeado abierto; el desplazamiento de agua dura unos 2 min. Al estabilizarse, corte y aísle el aire, manteniendo ventilado el lado de permeado. Espere 10 min. Una caída ≤0,2 bar cumple el criterio de integridad; >0,2 bar indica defecto/fuga. Se aplica a módulos o sistemas completos.

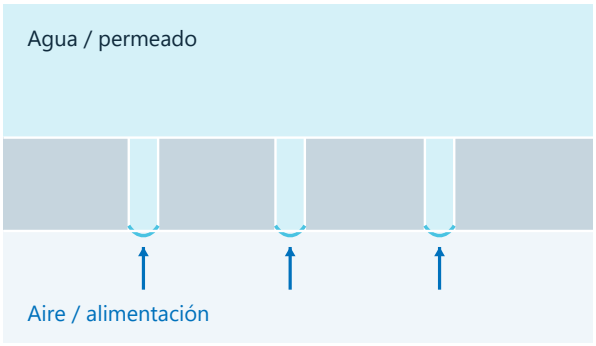
ECUACIÓN

Punto de burbuja

$$P = \frac{4 \cos(\theta) B \gamma}{d}$$

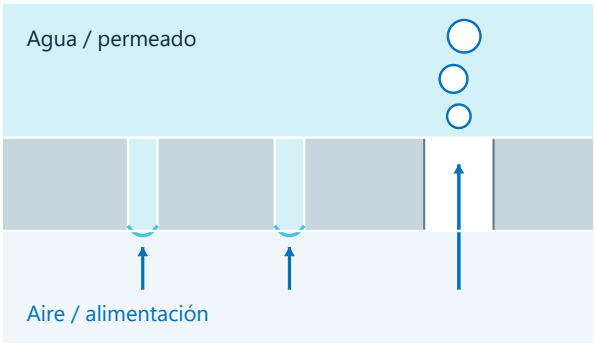
Membrana humectada: presión inferior al punto de burbuja

01 Poros íntegros



Sin burbujeo continuo por los poros humectados.

02 Defecto o rotura



Burbujeo continuo a través del defecto.

ENSAYO DE CAÍDA DE PRESIÓN

Estabilizar	Suministro de aire	Mantener	Caída admisible
2,0 bar →	**Aislado** →	**10 min** →	**≤0,2 bar**

Permeado ventilado durante la espera.

Reparación de fibras

Las roturas pueden deberse a vibración/golpes de transporte, arena abrasiva, PTM/flujo específico/temperatura excesivos, golpe de ariete, choque térmico o ataque químico. La reparación evita el paso directo de alimentación al permeado.

Prepare un kit de reparación (placa ciega del conducto de concentrado, adhesivo y agujas), agua al menos de calidad de permeado UF, aire sin aceite (ISO8573-1 clase 1/3/1 para aceite/agua/partículas), tuberías de conexión si se trabaja fuera de bancada, guantes y gafas.

Procedimiento

01. Vacíe el lado de alimentación; retire la tapa superior dejando la inferior; cierre válvulas y selle otras aberturas.

02. Monte bloque de posicionamiento, tuerca de apriete y tapón en el tubo central de concentrado; apriete el tornillo del conjunto de detección de fugas.

03. Conecte aire y suba lentamente hasta 1,5 bar (21 psi). Aclare la cara de permeado de las fibras para localizar burbujas continuas.

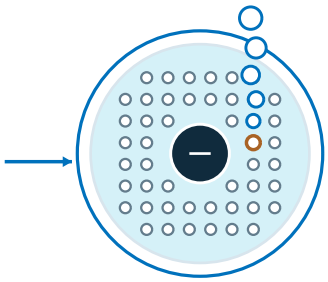
04. Marque las fugas con agujas; mantenga agua/aire hasta identificar todas.

05. Despresurice lentamente por la válvula de alivio antes de aplicar adhesivo. Retire el tapón de detección si obstaculiza el acceso.

06. Moje una aguja nueva en adhesivo; sustituya rápidamente la de marcado e introdúzcala firmemente en la fibra con fuga para sellarla.

01 Localizar la fuga

1,5 bar · alimentación



Burbujas continuas

Cara húmeda de permeado

02 Despresurizar

Detener el aire



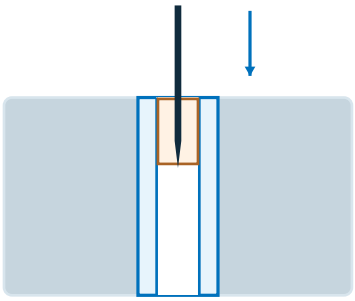
Despresurizar lentamente

0 bar

Adhesivo solo a 0 bar

03 Sellar la fibra

Aguja nueva + adhesivo



Lumen sellado

Detalle de una sola fibra

Selección y límites de la limpieza CIP

Si el contralavado/CEB no recupera las prestaciones, limpie cuando el caudal de permeado normalizado disminuya un 25%, la PTM normalizada aumente 1,0 bar o la PTM de operación alcance 2,1 bar. Compruebe primero la normalización por temperatura; una caída de caudal por agua fría no implica necesariamente ensuciamiento. Utilice una herramienta de normalización para evaluar las prestaciones.

Siga los procedimientos aprobados de manipulación y gestión de productos químicos. Disuelva y mezcle completamente antes del contacto. Los límites de seguridad de limpieza son pH alcalino ≤12 y temperatura ≤35 °C; pH ácido ≥2 y temperatura ≤40 °C.

En desalación, utilice preferentemente permeado de OI para preparar disoluciones. Evalúe alternativas de agua potable o UF. Considere la capacidad tampón/alcalinidad al ajustar ácido a pH 2 o álcali a pH 12. Mida permeabilidad antes/después de limpiar.

Selección de productos de limpieza

Producto	Formulación de limpieza	Aplicación
1	0,2% p/p HCl	Ensuciamiento inorgánico y depósitos coloidales
2	2% p/p ácido cítrico	Alternativa para depósitos inorgánicos/metálicos; algunos coloides
3	2% p/p ácido oxálico	Alternativa para ensuciamiento inorgánico
4	0,2% p/p NaClO + 0,1% p/p NaOH; pH 12, máximo 35 °C	Ensuciamiento orgánico/microbiano. En mezclas de metales y orgánicos: ácido primero, seguido de esta etapa alcalina.

Descripción general de la CIP

La frecuencia CIP habitual es de 1-3 meses según el agua y las prestaciones. Repita primero barrido, vaciado y contralavado superior/inferior 3-8 veces para eliminar depósitos sueltos. Vacíe por gravedad el agua residual para no diluir los productos.

Secuencia general: circule desde alimentación hacia el depósito de limpieza durante 30 min, retornando parte del permeado; la disolución puede calentarse a 40 °C. Remoje ≥60 min según el ensuciamiento y recircule 30 min. El barrido/vaciado, contralavado superior/inferior y lavado directo eliminan los residuos.

Tras limpiar, evacúe el permeado inicial antes de alimentar la OI posterior, ya que pueden quedar oxidantes en el lado de permeado. Si se necesitan ácido y álcali, realice ciclos completos y separados.

Ejecución detallada de la CIP

1	2	3	4	5	6
Preparar	Contralavar	Circular	Remojar	Aclarar	Rearrancar

Prevea aproximadamente 6 h por ciclo de limpieza química, incluida preparación y montaje. Registre la permeabilidad en línea antes/después.

Evalúe el cambio de permeabilidad con una herramienta de normalización o una estimación a partir de presiones y caudales de alimentación y permeado.

Procedimiento

01. Instale y compruebe un cartucho de 5 o 10 µm en el filtro de limpieza.

02. Prepare y precaliente la disolución; abra la recirculación para mezclar. Prefiera permeado de OI en desalación; agua potable o UF pueden ser alternativas.

03. Realice un contralavado normal.

04. Pare la UF según el procedimiento y confirme las posiciones de válvulas.

05. Abra los desagües de lavado directo/contralavado, vacíe y vuelva a cerrarlos.

06. Abra lentamente alimentación química, retorno de concentrado y retorno de permeado; arranque la bomba CIP y cierre gradualmente recirculación/derivación para introducir disolución caliente a bajo caudal/presión y desplazar el agua.

07. Ajuste la circulación al caudal de limpieza. A temperatura estable, compruebe y ajuste el pH si se desvía ±1. Con NaClO, compruebe cloro residual y reponga por debajo del 75% del objetivo. Circulación habitual de 1 h según ensuciamiento.

08. Pare bomba CIP y calentador; cierre las válvulas correspondientes. Remojo habitual de 2 h, prolongable durante toda la noche en casos intensos. El remojo prolongado puede usar recirculación al 10% del caudal de limpieza. Aplique 5 min de aire cada 30 min, con el desagüe directo abierto para ventilar.

09. Recircule 30 min al mismo caudal de la etapa 7.

10. Vacíe y rellene el depósito con agua de OI, potable o UF. Repita introducción a bajo caudal/recirculación durante 10 min para aclarar.

11. Realice un contralavado normal.

12. Vuelva a funcionamiento o espera.

Matriz de equipos CIP

Estado de los equipos CIP

Etapa	Alim. UF	Contra-lav. UF	Desag. UF	Bomba CIP	Calen-tador	Alim. CIP	Ret. conc.	Ret. perm.	Recir-culación
1 Comprobar filtro	O	X	X	X	X	X	X	X	X
2 Preparar disolución	O	X	X	O	O	X	X	X	O
3 Contralavado normal	X	O	X	O	O	X	X	X	O
4 Parada	X	X	X	O	O	X	X	X	O
5 Vaciado	X	X	X	O	O	X	X	X	O
6 Llenado a bajo caudal	X	X	X	O	O	O	O	O	O
7 Recirculación	X	X	X	O	O	O	O	O	O
8 Remojo	X	X	O	X	X	X	X	X	X
9 Recirculación	X	X	X	O	O	O	O	O	O
10 Aclarado	X	X	X	O	X	O	O	O	O
11 Contralavado normal	X	O	X	X	X	X	X	X	X
12 Operación/espera	O	X	X	X	X	X	X	X	X

O = abierto/en marcha; X = cerrado/parado. El estado depende de las etapas previas y cambia con recirculación a bajo caudal durante remojos prolongados. Abra el desagüe directo durante el barrido intermitente con aire.

Embalaje, transporte y almacenamiento

Mantenga las membranas hidratadas y el embalaje original hasta justo antes de la puesta en marcha. Consulte con Neptuno para conservación prolongada y forme a operadores/técnicos. Siga la ficha de datos de seguridad del conservante y utilice protección ocular.

Cada módulo se protege con bolsa de plástico contra humedad y caja de cartón rígida contra golpes. Conservante de fábrica: 1% en peso de metabisulfito sódico alimentario. Mantenga bolsas y cierres intactos para evitar fugas y contaminación.

Transporte en horizontal, evite golpes/caídas, proteja del sol/lluvia y apile como máximo 4 capas. El ambiente de transporte debe superar 0 °C; consulte con Neptuno si existe riesgo de congelación.

Almacene módulos sin abrir en horizontal, en interior sobre suelo limpio, lejos de calor, frío, corrosivos y contaminantes. Temperatura de 5-40 °C, ideal 20-35 °C. En estas condiciones pueden almacenarse nuevos y sin abrir hasta 18 meses.

Conservación durante paradas y rearranque

Plan de conservación

Parada	Procedimiento de conservación
1-2 días	Haga funcionar el sistema 30-60 min diarios o realice un contralavado diario.
2-7 días	Barrido y contralavado completos; cierre entrada/salida y haga funcionar el sistema 30-60 min diarios; como alternativa, llene de conservante y cierre válvulas.
>7 días	Realice 3-8 barridos y contralavado completo. Si hay ensuciamiento intenso, complete CIP. Llene con 0,5-1,0% NaHSO3 y cierre entrada/salida. Compruebe pH mensualmente y sustituya cuando pH <3.
Rearranque	Lave continuamente hasta eliminar espuma y conservante.

Evite congelación y temperaturas >40 °C; dentro de este límite es preferible una temperatura ambiente menor. Mantenga siempre los módulos totalmente llenos de agua o conservante para evitar pérdidas irreversibles por secado.

Protección contra la congelación

La temperatura mínima admisible de almacenamiento para protección contra congelación es 1 °C (33,8 °F). Si se prevén temperaturas bajo cero, consulte con Neptuno. Puede añadirse glicerol alimentario al conservante antes de embalar. La conservación en obra también requiere glicerol alimentario con las dosificaciones siguientes.

Disolución anticongelante de glicerol

Glicerol % en peso	Viscosidad cP	Temperatura °C
0,5	1,011	-0,07
3,0	1,074	-0,63
5,0	1,127	-1,08
9,0	1,256	-2,06
12,0	1,365	-2,88
14,0	1,445	-3,47
16,0	1,533	-4,09
20,0	1,737	-5,46
24,0	1,988	-7,01
28,0	2,279	-8,77
32,0	2,637	-10,74
36,0	3,088	-12,96
40,0	3,653	-15,50
44,0	4,443	-17,73
48,0	5,413	-20,39
52,0	6,666	-23,22
56,0	8,349	-26,23
60,0	10,681	-29,41

Recuperación de módulos secos

Remojo: sumerja las fibras en etanol-agua o propanol-agua 50/50 durante 15 min. Como alternativa, sumerja el módulo en 1% HCl o 4% HNO3 durante 24 h, manteniéndolo vertical para evacuar el aire atrapado.

Compresión: instale en el bastidor; con la bomba de alimentación cierre lentamente permeado hasta alcanzar 4,75 bar (68,9 psi). Cierre permeado/alimentación y mantenga 30 min. Reabra lentamente la alimentación para despresurizar manteniendo PTM ≤2,1 bar (30,5 psi).

Estos métodos no garantizan recuperar todas las prestaciones y requieren medidas estrictas de seguridad al utilizar las disoluciones en obra.

Asistencia técnica y próximos pasos

Neptuno Water Technology le ayuda a seleccionar, aplicar y cuidar los sistemas de ultrafiltración PVDF. Prepare los siguientes datos para una revisión técnica.

Preparación de la revisión técnica

Aspecto	Información necesaria
Aplicación	Origen del agua, objetivos de tratamiento, configuración del proceso y requisitos aguas abajo.
Configuración de membranas	Modelo, número de bastidores, módulos por bastidor y superficie total de membrana.
Historial de operación	Calidad y temperatura de alimentación; tendencias de caudal, presión y prestaciones normalizadas.
Historial de limpieza	Secuencias de contralavado y limpieza química, formulaciones, temperaturas y prestaciones antes/después.
Estado observado	Historial de alarmas, cambios de calidad del permeado, fugas, ensayos de integridad y reparaciones.

Antes del arranque o retorno al servicio

Compruebe calidad del agua e instrumentación, confirme las condiciones aplicables y complete las comprobaciones de arranque. Mantenga las membranas húmedas, evite la congelación y elimine los conservantes antes de volver a producir permeado.

NEPTUNO WATER TECHNOLOGY
Ultrafiltración PVDF | Asistencia técnica
neptunoes.com