

Capítulo 8

MINIFILTRACIÓN



Introducción



➤ La filtración convencional (lenta y rápida) usa material particulado, mientras que la minifiltración emplea membranas especiales. A diferencia de los métodos que utilizan cloro, dióxido de cloro u ozono, que operan con el principio de la oxidación química, la minifiltración es un método de desinfección que opera bajo el principio físico de la filtración.

A pesar de su eficacia para remover microorganismos patógenos, estos métodos se han empleado poco en ciudades de los países en vías de desarrollo debido a sus altos costos de inversión y de operación y mantenimiento. En las pocas plantas de este tipo existentes en América Latina se ha constatado que su producción es excelente y que pueden funcionar con operadores capacitados o no, ya que los procesos pueden estar automatizados casi por completo. Estas plantas operan como eficientes robots que toman agua sucia y producen un efluente de excelente calidad.

Sin embargo, debido a que la automatización es microprocesada, los problemas que puedan surgir solo podrán ser resueltos por los mismos fabricantes. Esto representa una carga de altos costos, demoras y usuarios que quedan temporalmente sin servicio. Adicionalmente, estos sistemas tienen la desventaja de que requieren un desinfectante secundario para asegurar la inocuidad del agua hasta su consumo, ya que el tratamiento no proporciona efecto residual.

Propiedades de la minifiltración como desinfectante y descripción del método

La **minifiltración** incluye a la **microfiltración**, la **ultrafiltración**, la **nanofiltración** y la **ósmosis inversa**. La diferencia entre estas categorías reside en el tamaño de los poros de la membrana filtrante. En tal sentido, la propiedad desinfectante de estas membranas depende de la capacidad que tengan para “retener” los microorganismos patógenos debido a que las dimensiones de estos son superiores al tamaño de los poros. Desde el punto de vista de la retención con capacidad de desinfección, el cuadro siguiente presenta los métodos y los diámetros del poro que retienen especies ó microorganismos. Los rangos presentados no son exactos, pero permiten dar una idea del rango relativo de cada uno de ellos.

Características de la minifiltración

FILTRO (membrana)	DIÁMETRO DE PORO Micrones (μ)	PRESIÓN (psi)	RETENCIÓN (sustancias filtradas)
Ósmosis inversa	< 0,001	200 – 1.500	Sales, radicales libres
Nanofiltración	0,001 – 0,01	70 – 250	Azúcares, moléculas
Ultrafiltración	0,01 – 0,1	15 – 200	Coloides, virus
Microfiltración	0,1 – 0,2	10 – 50	Bacterias, quistes

La desinfección por medio de la microfiltración se lleva a cabo a través de una membrana con poros de hasta 0,2 micrones. Aunque es la membrana de mayor tamaño en el rango de la minifiltración, su capacidad es suficientemente buena para que una planta potabilizadora de agua aborde en un solo paso algunos de los problemas más discutidos con respecto a las tecnologías actuales. Entre ellos:

Desde el punto de vista del tratamiento:

- 1 Operación más simple

- 1 Reducción de productos químicos para la coagulación
- 1 Remoción de sólidos suspendidos y turbiedad
- 1 Disminución de lodos que necesitan disposición.

Desde el punto de vista de la desinfección:

- 1 Remoción de bacterias en general
- 1 Remoción de quistes de *Giardia*, *Cryptosporidium* y otros parásitos
- 1 Reducción de virus
- 1 Disminución del uso de desinfectantes químicos (si se hace precloración).

Este tipo de tratamiento se logra con cualquiera de los métodos de minifiltración indicados anteriormente debido a que el tamaño del poro es más pequeño, consecuentemente, su capacidad de retención es mayor.

La desinfección por medio de la *nanofiltración* por ejemplo, usa una membrana con poros y presiones operativas cuyos valores se ubican entre los de las membranas de ultrafiltración y los de ósmosis inversa. Las presiones de operación típicas varían entre 70 y 250 psi (libras por pulgada cuadrada).

Las membranas de nanofiltración retienen una porción del total de sólidos disueltos (principalmente iones divalentes) y remueven la mayor parte de la materia orgánica disuelta presente en las aguas naturales, lo cual quiere decir que la nanofiltración es también muy eficiente para remover color.

En las plantas potabilizadoras la nanofiltración es útil para:

- 1 Desalinizar aguas salobres
- 1 Remover sustancias orgánicas precursoras de trihalometanos (THM) de las aguas superficiales.

Mecanismo de la desinfección con minifiltración

La desinfección en la minifiltración se alcanza al hacer pasar el agua que se va a tratar a través de la superficie de contacto de la membrana, donde las partículas del agua son retenidas o permeadas en función de su tamaño físico. Para ello se aplican diferencias de presión moderadas; la presión puede ser positiva cuando se aplica sobre el afluente y negativa (vacío) cuando se aplica sobre el efluente tratado.

El cuadro de la siguiente página, permite ver en detalle una serie de especies, compuestos y microorganismos que las distintas técnicas permiten remover.

Subproductos de la desinfección con minifiltración

En la desinfección por minifiltración, que es un proceso netamente físico, no se genera ningún subproducto porque el método no emplea compuestos químicos.

Materiales y equipos empleados

Las membranas que se emplean en la minifiltración se componen de capas de hojas muy delgadas microporosas sujetas a una estructura de soporte más gruesa y porosa. Las membranas pueden ser de acetato de celulosa o de distintos tipos de cerámica, polisulfonatos y polivinildieno, mientras que la estructura de soporte generalmente está confeccionada en polipropileno, poliéster o hasta de politetrafluoretileno.

Micrones (μ)	Rango iónico		Rango molecular		Rango Macromolecular		Rango Microparticlar		Rango Macroparticlar	
	0,001	0,01	0,1	1,0	10	100	1000			
Angstroms (Å)	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷			
Peso Molecular aproximado	100	200	1000	10.000	20.000	100.000	500.000			
Tamaño relativo de distintas especies	Ión Metálico	Solución salina	Endotoxina/Pyrogano	Negro de carbón	Pigmento de pintura	Cyptosporidium	Questa de Gorda	Cabello Humano	Arenas de mar	
		Colorante sintético	Virus	Humo de tabaco	Bacteria	Levadura	Nebia			
		Azúcar	Gelatina		Pdvo de carbón					
	Pedro Atómico		Silice coloidal			Globo Rojo	Punta de alfiler			
			Albúmina				Pden		Carbón Activado Granular	
			Latex/Emulsión							
			Asbestos							
Proceso de Separación	Osmosis Inversa		Ultrafiltración		Filtración					
		Nanofiltración		Microfiltración						

Clasificación de la minifiltración

Mientras que las membranas de cerámica y de metal se usan generalmente en aplicaciones industriales, las membranas poliméricas se están convirtiendo en una herramienta común para el tratamiento del agua potable y en aplicaciones municipales.

Como se ha mencionado, los dispositivos de la minifiltración trabajan con un diferencial de presión positivo o negativo (vacío) y se emplean diferentes tipos de membrana para cada uno de ellos.

a) Membranas operadas a presión

Inicialmente, estas membranas estaban diseñadas como láminas planas enrolladas en forma de espiral. Pero debido a su baja tolerancia a los sólidos y a las altas presiones que requerían para operar, sus costos operativos resultaban elevados. Ello dio lugar a que se usaran poco para la microfiltración. Sin embargo, se aplican cuando el objetivo no es la retención de sólidos, como sucede en la desalinización de agua salobre y agua de mar por medio de la nanofiltración u ósmosis inversa.

En la última década, para atender las necesidades de microfiltración con bajos costos operativos se desarrollaron las membranas de fibra hueca. Estas se han convertido rápidamente en el estándar de la industria y se aplican en el área de agua potable.

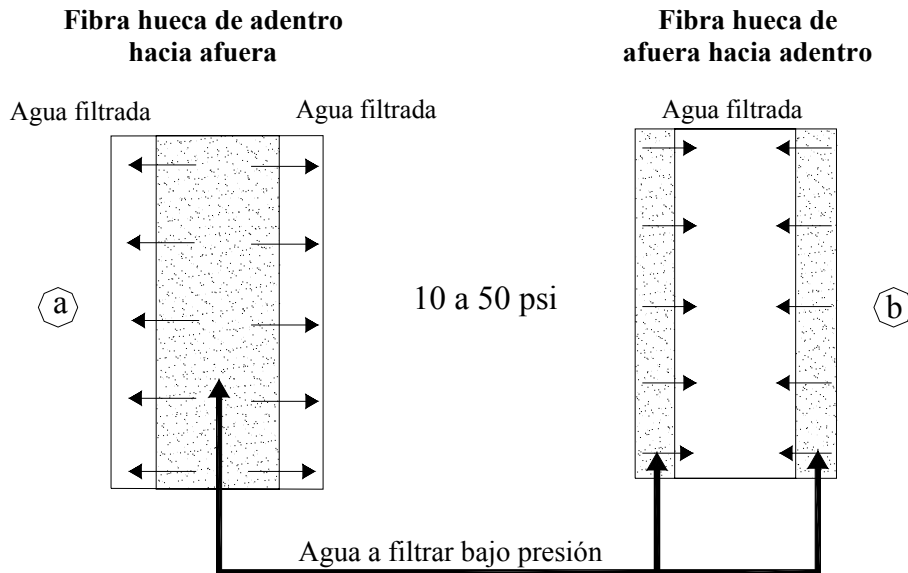


Algunas estructuras de membranas

Existen dos tipos de membranas de fibra hueca operadas a presión:

1 *Membranas de adentro hacia afuera*, en las que el afluente ingresa al interior de la membrana y el agua limpia se obtiene al pasar del interior de la membrana al exterior (figura a).

1 *Membranas de afuera hacia adentro*, en las que el afluente ingresa desde el exterior de la membrana y el agua limpia se obtiene al pasar del exterior de la membrana al interior (figura b).



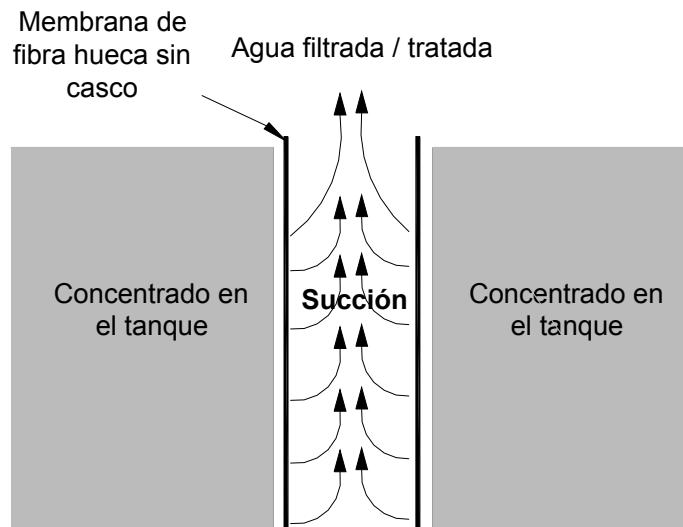
Modalidades de microfiltración bajo presión

Todas las membranas de fibra hueca a presión están instaladas en recipientes presurizados que aplican la presión necesaria para la transferencia adecuada del fluido. La presión de operación típica de estas membranas es de 10 a 50 psi.

b) Membranas operadas al vacío

Las membranas al vacío operan con una succión creada dentro de las fibras huecas por medio de una bomba. El agua tratada pasa a través de la membrana, entra a las fibras huecas y es bombeada para su distribución. Se introduce un flujo de aire en el fondo del módulo de la membrana para crear una turbulencia que frota y limpia el exterior de las fibras de la membrana y les permite funcionar con una tasa de flujo alta. Este aire también oxida el hierro y otros compuestos orgánicos y se obtiene agua de mejor calidad que la suministrada por la filtración común.

Cuando se usa una membrana de fibra hueca de afuera hacia adentro, la planta no necesita pretratamiento aunque el agua de alimentación contenga arcillas y partículas finas. Por ello reemplaza, en un solo paso, a la coagulación, floculación, clarificación y filtración por arena de las plantas convencionales y además elimina el pretratamiento requerido por las membranas espirales y las membranas de adentro hacia afuera.



Concepto operativo de una membrana de afuera hacia adentro sumergida



Membranas de minifiltración

En una planta de este tipo, las membranas están sumergidas en el denominado “tanque de proceso”, desde allí, el agua fluye hacia el interior de la membrana. El agua filtrada, ya limpia, es extraída por medio de una bomba. Un ventilador genera el aire requerido para mantener la membrana limpia. A continuación se presenta el diagrama de flujo de la planta.

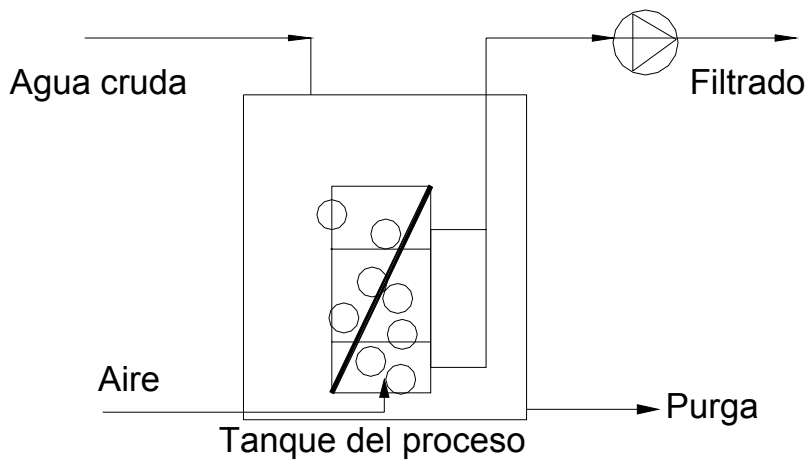


Diagrama de flujo de un microfiltro con membrana sumergida

Instalación de una membrana Szegeed en el tanque del proceso ZeeWeed

➤ **Instalación y requerimientos**

Los equipos de minifiltración empleados en una planta potabilizadora están conformados por un conjunto de dispositivos filtrantes que trabajan en paralelo y que constituyen una sola estructura. Algunas de ellas son tan simples como pequeñas plantas empaquetadas y otras, como la de la figura, conllevan un buen grado de complejidad. La gama de equipos es amplia y pueden instalarse en comunidades grandes o pequeñas.

Todo el sistema de minifiltración es mecánico y requiere energía eléctrica, por lo que deberá estar bajo techo y no a la intemperie. Habrá que construir una habitación suficientemente amplia para facilitar la operación y el mantenimiento. Su instalación estará bajo responsabilidad de manos calificadas y deberá exigirse al proveedor la instalación del equipo. Se recomienda que dicha habitación sea construida con material noble por motivos de seguridad. Su diseño deberá contemplar el suficiente ingreso de luz para realizar cualquier operación durante el día. Para las operaciones que se realicen de noche se deberá contar con un buen sistema de luz artificial. Se recomienda que la puerta de ingreso sea metálica y no de madera, ya que en dicha habitación habrá equipo de valor económico y técnico.

Debe tenerse en cuenta que si bien el empleo de la minifiltración reduce las necesidades de pretratamiento, sin embargo, requiere del uso de un desinfectante de carácter secundario para asegurar la inocuidad del agua.

También hay que tener en cuenta la calidad de agua a tratar, ya que para diferentes pH y temperaturas hay un material de membrana indicado. Las primeras membranas de filtración se hacían de acetato de celulosa. Sin embargo, ese material no soporta niveles de pH que salgan del rango de 2 a 9 ni tampoco temperaturas mayores de 35° C. Además, las membranas de acetato de celulosa tienen una resistencia química limitada.

Para resolver estas limitaciones se han desarrollado las membranas poliméricas y de cerámica antes mencionadas. Comparadas con las de acetato de celulosa, las membranas de polisulfonatos se desempeñan independientemente del pH y pueden soportar temperaturas hasta de 110° C con buena resistencia química.

Las membranas de cerámica se usan en sistemas tubulares, generalmente en aplicaciones donde se necesita resistencia a pH extremos y niveles de temperatura extremos también.



Instalación típica de un equipo de microfiltración (OI)

Finalmente, y por obvias razones, si el agua cruda es excesivamente turbia, será aconsejable disponer de algún sistema de pretratamiento como un prefiltrado o una filtración gruesa por gravilla.

Operación y mantenimiento

La operación y el mantenimiento dependen del tipo de membrana y el material de la misma. Sin embargo, en todos los casos se deberá mantener un control sobre la presión, ya que a presiones mayores a un bar disminuye la capacidad de filtración. Para mantener esta tasa cuando se usa una membrana en el rango de microfiltración es esencial prevenir incrustaciones de los rechazos en la superficie de la membrana o dentro del soporte de la membrana. Esta acumulación de material aumenta la resistencia al flujo de permeado.

Se deberá tener cuidado de que el inyector de aire funcione permanentemente, ya que así se evitarán incrustaciones o deposiciones que colmaten el filtro. El sistema está diseñado para evitar la colmatación, siempre y cuando su operación sea la correcta.

Monitoreo

Para el monitoreo se deberán realizar pruebas y tomar muestras de agua tratada y no tratada a fin de controlar la eficiencia del sistema. Los parámetros que se deben analizar son: la cantidad de sólidos en suspensión y en solución en el agua tratada, y también el porcentaje de remoción de microorganismos. Hay que analizar los dos parámetros porque los microorganismos se protegen en los sólidos en solución y en suspensión.

Ventaja y desventajas

- 1 No requiere el uso de compuestos químicos en la operación.
- 1 Reduce la turbiedad, los sólidos suspendidos y parte del color del agua al eliminar las sustancias orgánicas.
- 1 Reduce la presencia de precursores de trihalometanos que puedan formarse con la cloración secundaria.
- 1 Reduce los costos de operación y disposición, permite mediciones más controladas y confiables, usa menos espacio y, maneja flujos y calidades constantes o variables.
- L Las membranas para tratamiento de agua, pueden trabajar en continuo, ahorran energía, son fácilmente escalables y combinables con otros procesos.
 - 1 Entre las ventajas del uso de membranas en el tratamiento de agua potable se encuentran: el efecto de barrera absoluta contra los microorganismos, menor requerimiento de cloro para la desinfección secundaria y menor tamaño de la planta. Cada tipo de membrana también tiene sus ventajas específicas.
 - 1 Los sistemas con membrana, especialmente los de bajo caudal, son compactos, fáciles de operar y pueden en el futuro convertirse en una tecnología interesante para pequeñas comunidades y ubicaciones remotas. Dado que son modulares, las plantas de membrana pueden construirse para tratar volúmenes tan pequeños como 40 l/minuto (suficiente para una población de 500 habitantes), pero actualmente también se están produciendo para plantas de tratamiento con flujos de hasta 1 m³ /s. La mayor planta de nanofiltración en Europa al comienzo del milenio (Mery Sur Ouisse, París) trata 1,6 m³/seg y sirve a 500.000 residentes.
 - 1 Otra ventaja importante es la remoción de hierro y manganeso debido a la oxidación de las formas hidrosolubles de estos elementos.
 - 1 Entre las desventajas, aún existen problemas de contaminación de los materiales de soporte en la microfiltración, en los cuales se producen incrustaciones y por tanto disminuyen la eficiencia del proceso.
 - 1 El proceso es simple y puede operar automáticamente, pero en caso de problemas es necesario recurrir a personal altamente capacitado que generalmente no se encuentra localmente
 - 1 Los costos son mucho mayores que los de los métodos de desinfección más populares.

Costos de equipo, operación y mantenimiento

Es difícil determinar costos para estos equipos, pues dependen en alto grado del país y de la comunidad en donde se han de instalar. En todos los casos, esos costos son considerados altos y como regla general se calculan entre US\$ 200 a US\$ 300 de inversión de capital por cada metro cúbico agua a tratar por día. Los costos de capital para la ósmosis inversa pueden alcanzar niveles más altos, en ocasiones hasta casi 1.000 \$/m³ de agua a tratar.

Sería injusto, sin embargo, comparar esos elevados costos con los de una cloración simple, que son extremadamente bajos. La razón de ello es que la cloración es un tratamiento de desinfección, mientras que la minifiltración es un tratamiento de potabilización (mucho más amplio que el anterior) que conlleva también a la desinfección, la que podría considerarse como un subproducto del tratamiento.

Las mismas consideraciones podrían aplicarse a los costos de operación y mantenimiento y las cifras típicas pueden considerarse entre US\$ 0,4 y US\$ 0,8 por metro cúbico de agua tratada.

Fuentes de información

American Water Works Association Research Foundation; Lyonnaise des Eaux; Water Research Commission of South Africa. *Tratamiento del agua por procesos de membrana*. Ed. McGraw-Hill /Interamericana de España (1998).

Fane, A.G. *An overview of the use of microfiltration for drinking water and waste water treatment*. Anales del Simposio sobre "Microfiltration for water treatment". Irvine, California (1994).

Mourato, D. *Aplicaciones de las membranas de microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable*. Trabajo presentado en el Simposio OPS: Calidad de Agua, Desinfección Efectiva (1998). Publicado también en CD-Rom. Disponible en la OPS/CEPIS.

Zenon Municipal Systems. *Membrane systems for municipal drinking water treatment*.
www.zenon.com

Zenon Municipal Systems, *Fotos*, www.zenon.com