

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 753 408**

51 Int. Cl.:

B01D 61/04 (2006.01)

C02F 3/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.09.2015 PCT/US2015/051298**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.10.2016 WO16167832**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.09.2015 E 15778106 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2019 EP 3283198**

54 Título: **Conjunto de filtración que incluye biorreactores devanados en espiral y módulos de membrana de hiperfiltración**

30 Prioridad:

16.04.2015 US 201562148348 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

08.04.2020

73 Titular/es:

**DOW GLOBAL TECHNOLOGIES LLC (100.0%)
2040 Dow Center
Midland, MI 48674, US**

72 Inventor/es:

**JONS, STEVEN D. y
JOHNSON, JON E.**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 753 408 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Conjunto de filtración que incluye biorreactores devanados en espiral y módulos de membrana de hiperfiltración

La invención se refiere a un conjunto de filtración que incluye un conjunto de biorreactor devanado en espiral situado aguas arriba de un conjunto de membrana de hiperfiltración devanado en espiral.

5 Los conjuntos de membrana de "hiperfiltración" devanados en espiral se usan en una amplia variedad de separaciones de fluidos por nanofiltración y ósmosis inversa. En una realización convencional, uno o más módulos de membrana devanados en espiral ("elementos") se disponen en serie e interconectan dentro de un recipiente de presión. Durante el funcionamiento, se introduce fluido de alimentación a presión en el recipiente, pasa sucesivamente a través de los módulos individuales y sale del recipiente en al menos dos corrientes: concentrado y permeado. El rendimiento de los conjuntos de membrana devanados en espiral a menudo se deteriora con el tiempo debido al ensuciamiento. El ensuciamiento implica la formación de residuos en diversas superficies dentro del módulo. Los tipos más comunes de ensuciamiento incluyen: incrustación, deposición coloidal o de partículas, ensuciamiento orgánico (adsorción de compuestos orgánicos) y ensuciamiento biológico (crecimiento de una biopelícula sobre diversas superficies dentro del módulo). El ensuciamiento biológico se mitiga normalmente mediante la introducción de oxidantes (por ejemplo, lejía), biocidas o agentes bioestáticos en el agua de alimentación aguas arriba del conjunto devanado en espiral. El agua de alimentación también puede pretratarse con un biorreactor para reducir los nutrientes que de otro modo contribuirían al ensuciamiento biológico dentro del conjunto de membrana devanado en espiral. Se describen ejemplos en los documentos WO2011/026521 A, JP2013/202548 A, US2012/0193287; US7045063, EP127243; y H.C. Flemming *et al.*, *Desalination*, 113 (1997) 215-225; H. Brouwer *et al.*, *Desalination*, vol. 11, números 1-3 (2006) 15-17. En cada uno de estos ejemplos, el agua de alimentación se pretrata con un biorreactor en una ubicación aguas arriba del conjunto de membrana devanado en espiral. Los conceptos de biorreactor en espiral se conocen generalmente en la técnica, véanse por ejemplo, los documentos US2012/132575 A, WO96/38387 A, DE 10 2012 011816 A.

25 Se conocen sistemas de conexión de extremo único para módulos de hiperfiltración devanados en espiral a partir del documento US4476015 A.

La presente invención utiliza una pluralidad de biorreactores devanados en espiral alojados dentro de un recipiente de presión común situado aguas arriba de uno o más conjuntos de hiperfiltración. Los biorreactores reducen los bionutrientes en el líquido de alimentación, de modo que el ensuciamiento biológico se reduce en el conjunto de hiperfiltración aguas abajo. El conjunto de filtración incluye:

- 30 i) un conjunto de hiperfiltración, que incluye:
 - a) un recipiente de alta presión que incluye un orificio de alimentación, un orificio de concentrado y un orificio de permeado, y
 - b) una pluralidad de módulos de membrana de hiperfiltración devanados en espiral dispuestos en serie ubicados dentro del recipiente de alta presión y que incluye cada uno al menos una envoltura de membrana devanada alrededor de un tubo de permeado que forma una trayectoria de permeado hasta el orificio de permeado;
- 35 ii) un conjunto de biorreactor, que comprende:
 - a) una pluralidad de biorreactores devanados en espiral que comprenden, cada uno, una lámina plana que tiene dos superficies opuestas de crecimiento biológico y un espaciador de alimentación devanado en espiral alrededor de un eje (Y) para formar una periferia exterior cilíndrica que se extiende a lo largo del eje (Y) desde un primer extremo hasta un segundo extremo con una primera cara de desplazamiento ubicada cerca del primer extremo y una segunda cara de desplazamiento ubicada cerca del segundo extremo; y
 - 40 iii) una trayectoria de flujo de fluido adaptada para la conexión de fluido con una fuente de alimentación de fluido y que se extiende:
 - a) en un patrón de flujo paralelo a través de los biorreactores, y posteriormente
 - 45 b) hacia el orificio de alimentación del recipiente de alta presión, sucesivamente a través de los módulos de membrana de hiperfiltración devanados en espiral en un patrón de flujo en serie y fuera del orificio de concentrado y el orificio de permeado.

el conjunto (72) de biorreactor comprende además unos colectores (74, 76) primero y segundo en comunicación de fluido con cada biorreactor (52),

50 el primer colector (74) está en comunicación de fluido con la primera cara (64) de desplazamiento y

el segundo colector (76) está en comunicación de fluido con la segunda cara (66) de desplazamiento de cada biorreactor (52),

y en el que la trayectoria de flujo de fluido se extiende:

a) en un patrón de flujo paralelo desde el primer colector (74) y hacia la primera cara (64) de desplazamiento, a lo largo del espaciador (58) de alimentación y fuera de la segunda cara (66) de desplazamiento de cada biorreactor (52) y hacia el segundo colector (76), y

5 b) hacia el orificio (42) de alimentación del recipiente (40) de alta presión, sucesivamente a través de los módulos (2) de membrana de hiperfiltración devanados en espiral en un patrón de flujo en serie y fuera del orificio (43) de concentrado y el orificio (44) de permeado;

10 La lámina plana y el espaciador de alimentación de cada biorreactor se devanan en espiral alrededor de un conducto hueco que se extiende entre la primera cara de desplazamiento y la segunda cara de desplazamiento y que tiene una superficie interior. Los colectores primero y segundo están en una carcasa común, el primer colector incluye una trayectoria de alimentación, el segundo colector incluye una trayectoria de alimentación tratada, y la trayectoria de alimentación y la trayectoria de alimentación tratada están selladas entre sí dentro de la carcasa común. El biorreactor comprende además una tapa de extremo sellada alrededor de la segunda cara de desplazamiento que proporciona un paso de fluido desde la segunda cara de desplazamiento hacia el conducto hueco. La trayectoria de alimentación del primer colector está en comunicación de fluido con la primera cara de desplazamiento de cada biorreactor, y la superficie interior del conducto hueco está en comunicación de fluido con la segunda cara de desplazamiento y la trayectoria de alimentación tratada del segundo colector. La trayectoria de flujo de fluido se extiende:

20 a) en un patrón de flujo paralelo desde el primer colector hacia la primera cara de desplazamiento, a lo largo del espaciador de alimentación hasta la segunda cara de desplazamiento, a través del conducto hueco y hacia la trayectoria de alimentación tratada del primer colector, y

b) hacia el orificio de alimentación del recipiente de alta presión, sucesivamente a través de los módulos de membrana de hiperfiltración devanados en espiral en un patrón de flujo en serie y fuera del orificio de concentrado y el orificio de permeado.

25 Se describen realizaciones adicionales.

Breve descripción de los dibujos

Las figuras (sólo las figuras 5 y 6 del mismo ilustran directamente la invención) no están a escala e incluyen vistas idealizadas para facilitar la descripción. Cuando fue posible, se han usado números de referencia similares en todas las figuras y la descripción escrita para designar características iguales o similares.

30 La figura 1 es una vista en perspectiva, en sección que deja ver el interior parcialmente, de un módulo de membrana devanado en espiral.

Las figuras 2A-B son vistas en sección transversal de diversas realizaciones de conjuntos de hiperfiltración que incluyen una pluralidad de módulos de membrana devanados en espiral dispuestos en serie dentro de un recipiente de alta presión.

35 Las figuras 3A-B son vistas en alzado de biorreactores devanados en espiral.

La figura 3C es una vista en perspectiva de un biorreactor devanado en espiral.

La figura 4 es una vista en sección transversal de un conjunto de biorreactor que no es según la invención, que incluye una pluralidad de biorreactores devanados en espiral situados en una disposición en paralelo entre unos colectores primero y segundo.

40 La figura 5 es una vista en sección transversal de una realización de un conjunto de biorreactor según la invención que incluye una pluralidad de biorreactores devanados en espiral situados en una disposición en paralelo que tienen, cada uno, un extremo conectado a dos colectores ubicados dentro de una estructura común.

La figura 6 es una vista esquemática de una realización del conjunto de filtro objeto.

Descripción detallada

45 La invención incluye un conjunto de filtración junto con su uso en el tratamiento de diversos fluidos, por ejemplo agua salobre, agua de mar, aguas residuales, etc. El conjunto de filtración incluye un conjunto de biorreactor ubicado aguas arriba de un conjunto de hiperfiltración. Con tal disposición, los bionutrientes presentes en el fluido de alimentación son consumidos por los microorganismos presentes en el conjunto del biorreactor y están menos disponibles para provocar ensuciamiento biológico en el conjunto de hiperfiltración aguas abajo.

50 El conjunto de biorreactor incluye una pluralidad de biorreactores devanados en espiral. El conjunto de hiperfiltración incluye una pluralidad de módulos de membrana devanados en espiral ubicados en una disposición en serie y un

patrón de flujo en serie dentro de un recipiente de (alta) presión común. En funcionamiento, una fuente de fluido de alimentación a presión (por ejemplo, aguas residuales a presión de 0,1 a 1 MPa) pasa a lo largo de una trayectoria de flujo de fluido sucesivamente a través del conjunto de biorreactor y el conjunto de hiperfiltración. Pueden incluirse operaciones unitarias de filtración adicionales a lo largo de la trayectoria del flujo de fluido. Por ejemplo, puede situarse un dispositivo de microfiltración (diámetro de poro promedio de desde 0,1 hasta 10 μm) o un dispositivo de ultrafiltración (diámetro de poro promedio de desde 0,001 hasta 0,1 μm), por ejemplo, un módulo de membrana de fibra hueca o un filtro de cartucho (diámetro de poro promedio de desde 10 hasta 50 μm) a lo largo de la trayectoria de flujo de fluido en una ubicación que incluye entre el conjunto de hiperfiltración y el conjunto de biorreactor y entre una fuente de fluido de alimentación y el conjunto de biorreactor. Pueden usarse diversas combinaciones de uno o más conjuntos de biorreactor con uno o más conjuntos de hiperfiltración. Por ejemplo, un único conjunto de biorreactor puede suministrar fluido pretratado a una pluralidad de conjuntos de hiperfiltración, ya estén situados en una configuración de flujo paralelo entre sí, o en una configuración en serie en la que se suministra o bien permeado o bien concentrado procedente de un primer conjunto de hiperfiltración (aguas arriba) a un conjunto de hiperfiltración aguas abajo. De manera similar, múltiples biorreactores dispuestos en una configuración de flujo paralelo pueden suministrar a un conjunto de hiperfiltración común aguas abajo.

Los módulos de membrana devanados en espiral ("elementos") útiles en la presente invención incluyen los diseñados para su uso en ósmosis inversa (OI) y nanofiltración (NF), denominados colectivamente "hiperfiltración". En general, los módulos de membrana devanados en espiral incluyen una o más envolventes de membrana y láminas espaciadoras de alimentación devanadas alrededor de un tubo de recogida de permeado. Las membranas de OI usadas para formar envolventes son relativamente impermeables a prácticamente todas las sales disueltas y rechazan normalmente más del 95% de las sales que tienen iones monovalentes tales como el cloruro de sodio. Las membranas de OI también suelen rechazar más del 95% de las moléculas inorgánicas, así como moléculas orgánicas con pesos moleculares mayores de aproximadamente 100 Daltons. Las membranas de NF son más permeables que las membranas de OI y rechazan normalmente menos del 95% de las sales que tienen iones monovalentes, mientras que rechazan más del 50% (y a menudo más del 90%) de sales que tienen iones divalentes, dependiendo de la especie de ion divalente. Las membranas de NF también rechazan normalmente partículas en el rango de nanómetros, así como moléculas orgánicas que tienen pesos moleculares mayores de aproximadamente 200 a 500 Daltons.

En general, en la figura 1 se muestra un módulo representativo de membrana devanado en espiral. El módulo (2) se forma devanando concéntricamente una o más envolventes (4) de membrana y láminas (6) espaciadoras de alimentación ("espaciadores de alimentación") alrededor de un tubo (8) de recogida de permeado. Cada envoltente (4) de membrana comprende preferiblemente dos secciones sustancialmente rectangulares de lámina (10, 10') de membrana. Cada sección de la lámina (10, 10') de membrana tiene una parte (34) frontal o membrana y una parte (36) posterior o soporte. La envoltente (4) de membrana se forma superponiendo láminas (10, 10') de membrana y alineando sus bordes. En una realización preferida, las secciones (10, 10') de la lámina de membrana rodean una lámina (12) espaciadora de canal de permeado ("espaciador de permeado"). Esta estructura de tipo sándwich está fijada entre sí, por ejemplo mediante sellador (14), a lo largo de tres bordes (16, 18, 20) para formar una envoltente (4) mientras que un cuarto borde, es decir, "borde proximal" (22) hace tope con el tubo (8) de recogida de permeado de modo que la parte interior de la envoltente (4) (y el espaciador (12) de permeado opcional) está en comunicación de fluido con una pluralidad de aberturas (24) que se extienden a lo largo de la longitud del tubo (8) de recogida de permeado. El módulo (2) comprende preferiblemente una pluralidad de envolventes (4) de membrana separadas por una pluralidad de láminas (6) espaciadoras de alimentación. En la realización ilustrada, las envolventes (4) de membrana se forman uniendo las superficies del lado (36) posterior de paquetes de hojas de membrana situados de manera adyacente. Un paquete de hojas de membrana comprende una hoja (10) de membrana sustancialmente rectangular plegada sobre sí misma para definir dos "hojas" de membrana en las que los lados (34) frontales de cada hoja están enfrentados entre sí y el pliegue está alineado axialmente con el borde (22) proximal de la envoltente (4) de membrana, es decir, en paralelo al tubo (8) de recogida de permeado. Se muestra una lámina (6) espaciadora de alimentación ubicada entre los lados (34) frontales enfrentados de la lámina (10) de membrana plegada. La lámina (6) espaciadora de alimentación facilita el flujo de fluido de alimentación en una dirección axial (es decir, paralela al tubo (8) de recogida de permeado) a través del módulo (2). Aunque no se muestra, también pueden incluirse capas intermedias adicionales en el conjunto. Ejemplos representativos de paquetes de hojas de membrana y su fabricación se describen adicionalmente en el documento US 7875177.

Durante la fabricación del módulo, pueden unirse láminas (12) espaciadoras de permeado alrededor de la circunferencia del tubo (8) de recogida de permeado con paquetes de hojas de membrana intercalados entre ellos. Los lados (36) posteriores de las hojas (10, 10') de membrana situadas de manera adyacente se sellan alrededor de porciones de su periferia (16, 18, 20) para encerrar la lámina (12) espaciadora de permeado para formar una envoltente (4) de membrana. Las técnicas adecuadas para unir la lámina espaciadora de permeado al tubo de recogida de permeado se describen en el documento US 5538642. La(s) envoltente(s) (4) de membrana y el/los espaciador(es) (6) de alimentación se devana(n) o "enrolla(n)" concéntricamente alrededor del tubo (8) de recogida de permeado para formar dos caras (30, 32) de desplazamiento opuestas en extremos opuestos y el haz en espiral resultante se mantiene en su lugar, tal como mediante cinta adhesiva u otros medios. Las caras de desplazamiento (30, 32) pueden recortarse y, opcionalmente, puede aplicarse un sellador en la unión entre la cara (30, 32) de desplazamiento y el tubo (8) de recogida de permeado, tal como se describe en el documento US 7951295. Pueden

devanarse fibras de vidrio largas alrededor del módulo parcialmente construido y la resina (por ejemplo, resina epoxídica líquida) aplicada y endurecida. En una realización alternativa, puede aplicarse cinta adhesiva por la circunferencia del módulo devanado tal como se describe en el documento US 8142588. Los extremos de los módulos pueden estar equipados con un dispositivo antideslizante o una tapa de extremo (no mostrada) diseñada para impedir que las envolventes de membrana se muevan bajo el diferencial de presión entre los extremos de desplazamiento de entrada y salida del módulo. Se describen ejemplos representativos en los documentos: US 5851356, US 6224767, US 7063789, US 7198719 y WO2014/120589. Aunque no es un aspecto requerido de la invención, realizaciones preferidas de la invención incluyen tapas de extremo que incluyen una estructura de bloqueo para impedir el movimiento axial relativo entre las tapas de extremo acopladas. Tal estructura de bloqueo entre las tapas de extremo puede acoplarse alineando las tapas de extremo adyacentes de modo que uno o más salientes o agarres que se extiendan radialmente hacia adentro desde el interior del cubo exterior de una tapa de extremo entren en los receptáculos correspondientes dispuestos alrededor del cubo exterior de la tapa de extremo enfrentada. Las tapas de extremo se acoplan girando una tapa de extremo en relación con la otra hasta que los salientes o "agarres" se ponen en contacto o se "enganchan" con una estructura correspondiente del receptáculo. Este tipo de tapa de extremo de cierre está disponible en The Dow Chemical Company con la marca iLEC™ y se describe con más detalle en los documentos US 6632356 y US8425773. Si no se usan tales tapas de extremo, pueden usarse tubos de interconexión para impedir el mezclado de permeado con alimentación. Para restringir que el fluido de alimentación sortee los elementos dentro del recipiente, pueden colocarse diversos tipos de sellos (por ejemplo, tipo Chevron, juntas tóricas, tipo de copa en U, etc.) entre la periferia exterior de los elementos y la periferia interior del recipiente. Se describen ejemplos representativos en los documentos: US8758489, US 8388842, US 8110016, US 6299772, US 6066254, US 5851267, US8377300 y WO2014066035. En algunas realizaciones, los conjuntos de sello están equipados con una derivación que permite que fluya un fluido de alimentación limitado alrededor de los elementos, por ejemplo véanse los documentos US 5128037, US 7208088 y US8778182.

Los materiales para construir diversos componentes de módulos de membrana devanados en espiral se conocen bien en la técnica. Los selladores adecuados para sellar envolventes de membrana incluyen uretanos, resinas epoxídicas, siliconas, acrilatos, adhesivos de fusión en caliente y adhesivos curables por UV. Aunque menos comunes, también pueden usarse otros medios de sellado, tales como la aplicación de calor, presión, soldadura ultrasónica y cinta adhesiva. Los tubos de recogida de permeado están compuestos normalmente por materiales de plástico tales como acrilonitrilo-butadieno-estireno, poli(cloruro de vinilo), polisulfona, poli(óxido de fenileno), poliestireno, polipropileno, polietileno o similares. Los materiales de poliéster tricotados se usan comúnmente como espaciadores de permeado. Se describen espaciadores de permeado adicionales en el documento US8388848. Los espaciadores de alimentación representativos incluyen materiales de malla de polietileno, poliéster y polipropileno, tales como los disponibles comercialmente con el nombre comercial VEXAR™ de Conwed Plastics. Se describen espaciadores de alimentación preferidos en el documento US 6881336. En una realización preferida, el espaciador de alimentación usado en la presente invención tiene un grosor menor de 0,5 mm. Alternativamente, el espaciador de alimentación puede comprender una pluralidad de regiones elevadas formadas en la lámina de membrana, por ejemplo un patrón estampado formado por un troquel o rodillo, esferas o líneas de polímero depositadas por la lámina de membrana, una película corrugada, etc. (Véanse por ejemplo los documentos US6632357 y US7311831).

La lámina de membrana no está particularmente limitada y puede usarse una amplia variedad de materiales, por ejemplo materiales de acetato de celulosa, polisulfona, polietersulfona, poliamidas, poli(fluoruro de vinilideno), etc. Una lámina de membrana preferida incluye membranas de tipo FT-30™ de FilmTec Corporation, es decir, una membrana de material compuesto de lámina plana que comprende una capa de respaldo (lado posterior) de una banda de refuerzo no tejida (por ejemplo, un material textil no tejido, tal como material textil de fibra de poliéster disponible de Awa Paper Company), una capa intermedia que comprende un soporte poroso que tiene un grosor típico de aproximadamente 25-125 μm y una capa de discriminación superior (lado frontal) que comprende una capa de poliamida de película delgada que tiene un grosor normalmente menor de aproximadamente 1 micrómetro, por ejemplo de desde 0,01 micrómetros hasta 1 micrómetro pero más comúnmente de desde aproximadamente 0,01 hasta 0,1 μm . La capa de respaldo no está particularmente limitada, pero comprende preferiblemente un material textil no tejido o una estera de banda fibrosa que incluye fibras que pueden estar orientadas. Alternativamente, puede usarse un material textil tejido tal como tela para velas. Se describen ejemplos representativos en los documentos US 4214994; US 4795559; US 5435957; US 5919026; US 6156680; US8608964 y US 7048855. El soporte poroso es normalmente un material polimérico que tiene tamaños de poro que son de un tamaño suficiente como para permitir el paso esencialmente sin restricciones del permeado pero no lo suficientemente grande como para interferir con la formación de puentes sobre una capa de poliamida de película delgada formada sobre el mismo. Por ejemplo, el tamaño de poro del soporte oscila preferiblemente entre aproximadamente 0,001 y 0,5 μm . Los ejemplos no limitativos de soportes porosos incluyen los compuestos por: polisulfona, polietersulfona, poliimida, poliamida, polieterimida, poliacrilonitrilo, poli(metacrilato de metilo), polietileno, polipropileno y diversos polímeros halogenados tales como el poli(fluoruro de vinilideno). La capa de discriminación se forma preferiblemente mediante una reacción de policondensación interfacial entre un monómero de amina polifuncional y un monómero de haluro de acilo polifuncional sobre la superficie de la capa de polímero microporosa tal como se describe en los documentos US 4277344 y US 6878278.

Las flechas que se muestran en la figura 1 representan las direcciones (26, 28) de flujo aproximadas del fluido de alimentación y permeado (también denominado "producto" o "filtrado") durante el funcionamiento. El fluido de

alimentación entra al módulo (2) desde una primera cara (30) de desplazamiento y fluye a través del/de los lado(s) (34) frontal(es) de la(s) lámina(s) de membrana y sale del módulo (2) en la segunda cara (32) de desplazamiento opuesta. El fluido de permeado fluye a lo largo de la lámina (12) espaciadora de permeado en una dirección aproximadamente perpendicular al flujo de alimentación tal como se indica mediante la flecha (28). Las trayectorias de flujo de fluido reales varían según los detalles de construcción y las condiciones de funcionamiento.

Aunque los módulos están disponibles en una variedad de tamaños, un módulo de OI industrial común está disponible con un diámetro convencional de 8 pulgadas (20,3 cm) y una longitud de 40 pulgadas (101,6 cm). Para un módulo típico de 8 pulgadas (20,3 cm) de diámetro, se devanan de 26 a 30 envoltentes de membrana individuales alrededor del tubo de recogida de permeado (es decir, para tubos de recogida de permeado que tienen un diámetro exterior de desde aproximadamente 1,5 hasta 1,9 pulgadas (3,8 cm - 4,8 cm)). También pueden usarse módulos menos convencionales, incluidos los descritos en el documento US8496825.

Las figuras 2A-B ilustran dos realizaciones clásicas de conjuntos (38) de hiperfiltración adecuados para la presente invención. Tal como se muestra, el conjunto (38) incluye un recipiente (40) de alta presión que incluye un orificio (42) de alimentación, un orificio (43) de concentrado y un orificio (44) de permeado. Se conoce una variedad de configuraciones similares que incluyen combinaciones de orificios ubicados en los lados y extremos del recipiente (40) de presión y que pueden usarse. Una pluralidad de módulos (2, 2', 2'', 2''', 2''''') de membrana devanados en espiral se disponen en serie dentro del recipiente (40) de presión. El recipiente de presión usado en la presente invención no está particularmente limitado, pero incluye preferiblemente una estructura sólida capaz de soportar las presiones asociadas con las condiciones de funcionamiento. Como las presiones de fluido usadas durante el funcionamiento superan normalmente 1,5 MPa (por ejemplo, de 1,6 a 2,6 MPa para agua salobre, de 6 a 8 MPa para agua de mar), los recipientes de presión usados en hiperfiltración se denominan en el presente documento recipientes de "alta presión". La estructura del recipiente incluye preferiblemente una cámara (46) que tiene una periferia interior correspondiente a la de la periferia exterior de los módulos de membrana devanados en espiral que se alojarán en el mismo, por ejemplo cilíndrica. La longitud de la cámara se corresponde preferiblemente a la longitud combinada de los módulos de membrana devanados en espiral que se cargarán secuencialmente (de manera axial). Preferiblemente, el recipiente contiene al menos de 2 a 8 módulos de membrana devanados en espiral dispuestos en serie con sus tubos (8) de permeado respectivos en comunicación de fluido entre sí para formar una trayectoria de permeado hasta el orificio (44) de permeado. El flujo de fluido dentro del orificio (42) de alimentación y fuera de los orificios (43, 44) de concentrado y permeado se indican generalmente con flechas. El recipiente (40) de presión también puede incluir una o más placas (48, 50) de extremo que sellan la cámara (46) una vez cargada con los módulos (2). La orientación del recipiente de presión no está particularmente limitada, por ejemplo pueden usarse orientaciones en horizontal y en vertical. Se describen ejemplos de recipientes de presión, disposiciones de módulos y carga aplicables en los documentos: US 6074595, US 6165303, US 6299772, US 2007/0272628 y US 2008/0308504. Los fabricantes de recipientes de presión incluyen Pentair de Mineápolis MN, Protec-Arisawa de Vista CA y Bel Composite de Beer Sheva, Israel.

Un recipiente de presión individual o un grupo de recipientes que trabajan juntos, cada uno equipado con uno o más módulos de membrana devanados en espiral, puede denominarse "tren" o "paso". El/los recipiente(s) dentro del paso puede(n) disponerse en una o más etapas, en la que cada etapa contiene uno o más recipientes que funcionan en paralelo con respecto a un fluido de alimentación. Se disponen múltiples etapas en serie, usándose el fluido concentrado de una etapa aguas arriba como fluido de alimentación para la etapa aguas abajo, mientras que el filtrado de cada etapa se recoge sin reprocesamiento adicional dentro del paso. Los sistemas de hiperfiltración multipaso se construyen interconectando pasos individuales a lo largo de una trayectoria de fluido tal como se describe en los documentos: US4156645, US6187200, US7144511 y WO2013/130312.

El conjunto de filtración de la presente invención también incluye un conjunto de biorreactor que incluye una pluralidad de biorreactores. Los biorreactores usados en la presente invención incluyen una configuración devanada en espiral similar a la descrita anteriormente con respecto a los módulos de membrana. Sin embargo, como no se produce separación de fluidos en el biorreactor, el biorreactor no incluye preferiblemente una envoltente de membrana. Tal como se muestra de la mejor manera en las figuras 3A-C, los biorreactores (52) aplicables incluyen una lámina (54) plana que tiene dos superficies (56, 56') opuestas de crecimiento biológico y un espaciador (58) de alimentación devanado en espiral alrededor de un eje (Y) para formar una periferia exterior cilíndrica que se extiende a lo largo del eje (Y) desde un primer extremo (60) hasta un segundo extremo (62) con una primera cara (64) de desplazamiento ubicada cerca del primer extremo (60) y una segunda cara (66) de desplazamiento ubicada cerca del segundo extremo (62). En relación específica con la realización ilustrada en la figura 3B, la lámina (54) plana y el espaciador (58) se devanan en espiral alrededor de un conducto (70) hueco que se extiende entre la primera cara (64) de desplazamiento y la segunda cara (66) de desplazamiento y que tiene una superficie (71) interior. Por el contrario, las realizaciones mostradas en las figuras 3A y 3C no incluyen un conducto hueco. En una realización alternativa no mostrada, el conducto hueco puede reemplazarse con una varilla sólida. Aunque se muestra en la figura 3B que incluye un conducto (70) hueco, el conducto del biorreactor es preferiblemente impermeable y, por tanto, está sellado de la comunicación de fluido directa con la lámina plana y el espaciador de alimentación, excepto a través de los extremos del conducto. Las superficies (71) interiores del conducto (70) están preferiblemente en comunicación de fluido con la lámina (54) plana y el espaciador (58) de alimentación sólo a través de las caras (64, 66) de entrada o desplazamiento.

El espaciador (58) de alimentación proporciona preferiblemente canales (68) de flujo de entre 0,1 mm y 1,5 mm, más preferiblemente entre 0,15 mm y 1,0 mm, entre las superficies (56, 56') de crecimiento biológico adyacentes. Un canal de menos de 0,15 mm se ocluye más fácilmente por crecimiento biológico, por lo que la caída de presión a través de los canales de flujo requiere limpiezas más frecuentes. Un canal de más de 1,0 mm es menos eficiente en la creación de crecimiento biológico que se desea para eliminar nutrientes problemáticos. Al igual que con los módulos (2, 2', 2'', 2''', 2''''') de membrana devanados en espiral, el biorreactor (52) devanado en espiral puede realizarse con más de una lámina plana y un espaciador superpuestos, pero se prefiere usar a lo sumo dos láminas (54) planas separadas por espaciadores (58). Lo más preferiblemente, cada biorreactor comprende sólo una única lámina (54) plana devanada en espiral. En una realización preferida, la longitud desenrollada de la lámina (54) plana de un biorreactor (52) aguas arriba supera la longitud desenrollada de una envolvente (4) de membrana de un módulo (2) de hiperfiltración aguas abajo en al menos un factor de tres, y más preferiblemente en al menos un factor de diez. (En este contexto, las longitudes desenrolladas de la lámina (54) plana y la envolvente (4) de membrana se miden en la dirección perpendicular a un eje central (X o Y, respectivamente, de las figuras 1 y 3)).

El biorreactor (52) incluye superficies (56, 56') de crecimiento biológico y canales (68) de flujo que se extienden desde la primera cara (64) de desplazamiento hasta la segunda cara (66) de desplazamiento. Debido a las velocidades de flujo relativamente altas deseadas en muchas realizaciones de la invención, las superficies de crecimiento pueden definirse como aquellas superficies adyacentes a los canales (68) de flujo que conectan la primera cara (64) de desplazamiento y la segunda cara (66) de desplazamiento del biorreactor (52). Para funcionar a altas velocidades de flujo mientras se elimina la mayor parte de los bionutrientes que pueden provocar ensuciamiento en los módulos de membrana devanados en espiral aguas abajo, se desea un gran área superficial de crecimiento biológico en contacto con los canales de flujo, al tiempo que se proporciona una resistencia al flujo mínima a través del biorreactor. (Para propósitos de definir el área superficial, puede suponerse que la superficie de crecimiento biológico es plana.) Preferiblemente, el volumen vacío (volumen no ocupado por un sólido entre superficies de crecimiento biológico) de los canales de flujo comprende al menos el 65% (más preferiblemente el 75% o incluso el 85%) del volumen del biorreactor. La razón entre el área superficial de crecimiento biológico y el volumen del biorreactor para cada biorreactor está preferiblemente entre 15 cm^{-1} y 150 cm^{-1} (más preferiblemente entre 20 cm^{-1} y 100 cm^{-1}). En una realización, una lámina plana puede proporcionar superficies de crecimiento biológico, mientras que los canales de flujo pueden proporcionarse por el espacio entre o por medio de un material espaciador que incluye ranuras o trayectorias de flujo (por ejemplo, material tejido, etc.).

La lámina (54) plana de un biorreactor (52) puede ser impermeable. Alternativamente, para ayudar en la limpieza, las superficies (56, 56') opuestas de crecimiento biológico pueden estar en comunicación de fluido entre sí a través de la matriz de una lámina (54) plana porosa. Aunque no está particularmente limitada, una lámina plana permeable puede incluir una lámina generalmente impermeable con perforaciones, una membrana de UF o MF, material tejido o no tejido, matriz fibrosa, etc. Se describen ejemplos de materiales adecuados en el documento US5563069. Sin embargo, a diferencia del diseño general descrito en el documento US5563069, la lámina plana de la presente invención incluye superficies (56, 56') de crecimiento biológico en ambas caras exteriores que están separadas por un espaciador (58) de alimentación. Los materiales preferidos incluyen láminas de polímero que tienen tamaños de poro mayores de $0,1 \mu\text{m}$, o mayores de $10 \mu\text{m}$. La lámina de polímero también puede incluir macroporos de tamaños mayores de $10 \mu\text{m}$ que facilitan la distribución de fluido en regiones sucias durante la limpieza. Los polímeros aplicables incluyen, pero sin limitación, polietileno, polipropileno, polisulfona, polietersulfona, poliamidas y poli(fluoruro de vinilideno). Como el biorreactor de esta invención funciona preferiblemente a velocidades de flujo relativamente altas, el grosor de la lámina plana es preferiblemente menor que el grosor del espaciador. Preferiblemente, el grosor de la lámina plana es menor de 1 mm, y más preferiblemente menor de 0,5 mm, menor de 0,2 mm o incluso menor de 0,1 mm. El grosor de la lámina (54) plana en los biorreactores (52) es preferiblemente menor del 25% del grosor de las envolventes (4) de membrana en los módulos (2) de hiperfiltración aguas abajo.

El espaciador (58) de alimentación de un biorreactor (52) no está particularmente limitado e incluye los espaciadores de alimentación descritos anteriormente en relación con los módulos de membrana devanados en espiral. Se desea que la mayoría de la lámina plana adyacente a un espaciador no se ocluya por contacto con el espaciador. Las estructuras preferidas para espaciadores incluyen un material de lámina en forma de red que tiene puntos de intersección de mayor grosor que el grosor promedio de los hilos entre ellos. El espaciador puede ser una colección de regiones elevadas de la lámina plana, tales como formadas mediante una etapa de grabado en relieve, mediante la aplicación de líneas adhesivas a la lámina plana, o mediante la fijación de bolas de núcleo / cubierta de tamaño apropiado a la superficie. Una vez devanado en espiral, el espaciador de alimentación proporciona preferiblemente canales de flujo de desde 0,10 mm hasta 1,5 mm, más preferiblemente de 0,15 mm a 1,0 mm, entre las superficies de crecimiento biológico adyacentes de la lámina plana. Cuando se proporciona en un formato de lámina, las secciones próximas del espaciador (58) de alimentación y la lámina (54) plana pueden unirse selectivamente entre sí, por ejemplo adherirse entre sí a lo largo de porciones de su periferia o regiones intermitentes en sus superficies. Tal unión añade fuerza al biorreactor y mitiga el deslizamiento.

La periferia exterior de cada biorreactor (52) es preferiblemente cilíndrica e incluye una cubierta (84) exterior. En una realización preferida, los biorreactores (52) individuales no residen dentro de un recipiente de presión o tanque presurizado separable. Es decir, las cubiertas de los biorreactores (52) individuales son preferiblemente integrales y adecuadas para proporcionar soporte frente a la presión interna mientras que el exterior del biorreactor está

expuesto directamente a una menor presión ambiental. La cubierta (84) puede ser adecuada para mantener una diferencia de presión entre el interior y el exterior del biorreactor de al menos 200 kPa, más preferiblemente al menos 500 kPa, o incluso al menos 1000 kPa. La cubierta (84) puede fabricarse a partir de una variedad de materiales adecuados para su uso en estas presiones de funcionamiento. Los ejemplos representativos incluyen fibra de vidrio, PVC y CPVC. Además, el biorreactor puede incluir tapas (78) de extremo que pueden entrar en contacto y soportar una cara (64, 66) de desplazamiento para impedir el deslizamiento, tal como se usan comúnmente en conexión con los módulos de membrana de ósmosis inversa devanados en espiral. Preferiblemente, el biorreactor incluye al menos una tapa (78) de extremo.

Tal como se describirá posteriormente con referencia a las figuras 4 y 5, el conjunto de filtración objeto incluye preferiblemente una pluralidad de biorreactores (52) devanados en espiral individuales. Cada una de las figuras 3, 4 y 5 muestra que el biorreactor no funciona como un módulo de membrana devanado en espiral en el sentido de que la lámina plana no produce un permeado *per se*. Más bien, el líquido de alimentación pasa hacia una primera cara (64) de desplazamiento del biorreactor, pasa a lo largo de los canales (68) de flujo del espaciador (58) de alimentación y sale a través de una segunda cara (66) de desplazamiento o conducto (70) como líquido de "alimentación tratada". Mientras pasa a través del biorreactor (52), el líquido (por ejemplo, agua) entra en contacto con la lámina (54) plana que proporciona una plataforma para que residan microorganismos. Los microorganismos consumen los nutrientes en la alimentación, de modo que el líquido de "alimentación tratada" que sale del biorreactor se agota de nutrientes antes de pasar a los módulos de membrana devanados en espiral aguas abajo.

Con referencia a las figuras 4 y 5, el conjunto (72) de biorreactor incluye además un primer colector (74) que comprende una trayectoria (80) de alimentación en comunicación de fluido con la primera cara (64) de desplazamiento de cada biorreactor (52). El conjunto (72) de biorreactor también incluye un segundo colector (76) que comprende una trayectoria (82) de alimentación tratada. En algunas realizaciones, cada biorreactor también puede incluir una tapa (78) de extremo que tiene una superficie de sellado y una estructura de bloqueo para sellar reversiblemente el biorreactor a un colector (los documentos US6632356, US8425773 y US7063789 ilustran las estructuras de bloqueo apropiadas que se usan para fijar y sellar las trayectorias de fluido entre módulos de ósmosis inversa adyacentes).

En relación específica con el biorreactor ilustrado en la figura 4, el primer colector (74) está próximo a la primera cara (64) de desplazamiento y el segundo colector (76) está ubicado próximo de la segunda cara (66) de desplazamiento. En tal realización, la trayectoria de flujo de fluido fluye (generalmente indicado mediante flechas) desde una fuente de alimentación de fluido (no mostrada) a lo largo del primer colector (74) y en un patrón de flujo paralelo hacia las primeras caras (64) de desplazamiento, a lo largo de los espaciadores (58) de alimentación y fuera de las segundas caras (66) de desplazamiento de cada biorreactor (52). El líquido de "alimentación tratada" resultante entra luego en el segundo colector (76). El líquido de alimentación tratada continúa a lo largo de la trayectoria de flujo de fluido hacia el orificio (42) de alimentación del recipiente (40) de alta presión, sucesivamente a través de los módulos (2) de membrana de hiperfiltración devanados en espiral en un patrón de flujo en serie y fuera del orificio (43) de concentrado y el orificio (44) de permeado. Los colectores pueden construirse a partir de una variedad de materiales incluyendo tuberías, mangueras de alta presión, etc. Los colectores (74, 76) pueden conectarse a los extremos (60, 62) de los biorreactores (52) mediante una variedad de medios que incluyen tapas de extremo roscadas, abrazaderas de liberación rápida, etc.

La figura 5 ilustra una realización de un conjunto (72) de biorreactor según la invención que utiliza una pluralidad de biorreactores (52) tal como se ilustra en la figura 3B, es decir, que incluye una lámina (54) plana y un espaciador (58) de alimentación devanado en espiral alrededor de un conducto (70) hueco con una superficie (71) interior. El conducto (70) hueco se extiende entre la primera cara (64) de desplazamiento y la segunda cara (66) de desplazamiento. Los biorreactores (52) incluyen además una tapa (78) de extremo sellada alrededor de la segunda cara (66) de desplazamiento, lo que proporciona un paso de fluido desde la segunda cara (66) de desplazamiento al conducto (70) hueco. En la realización de la figura 5, los colectores (74, 76) primero y segundo se incorporan en una carcasa (79) común que incluye una trayectoria (80) de alimentación y una trayectoria (82) de alimentación tratada que están selladas entre sí. La trayectoria (80) de alimentación del primer colector (74) está en comunicación de fluido con una fuente de alimentación de fluido (no mostrada) y la primera cara (64) de desplazamiento de cada biorreactor (52). En tal realización, la trayectoria de flujo de fluido fluye (generalmente indicado mediante flechas) desde una fuente de alimentación de fluido hacia el primer colector (74) y en un patrón de flujo paralelo hacia las primeras caras (64) de desplazamiento, a lo largo de los espaciadores (58) de alimentación hasta las segundas caras (66) de desplazamiento de cada biorreactor (52). El líquido de "alimentación tratada" resultante entra luego en el conducto (70) hueco cerca de su extremo cerca de la segunda cara (66) de desplazamiento y pasa a la primera cara (64) de desplazamiento y hacia la trayectoria (82) de alimentación tratada del primer colector (74). Tal como se describirá en relación con la figura 6, el líquido de alimentación tratada continúa a lo largo de la trayectoria de flujo de fluido hacia el orificio (42) de alimentación del recipiente (40) de alta presión, sucesivamente a través de los módulos (2) de membrana de hiperfiltración devanados en espiral en un patrón de flujo en serie y fuera del orificio (43) de concentrado y el orificio (44) de permeado.

La figura 6 ilustra esquemáticamente una realización del conjunto (86) de filtración que incluye una pluralidad de conjuntos (72, 72') de biorreactor tal como se describe con referencia a la figura 5. Aunque no se muestra, el conjunto de biorreactor de la figura 4 también puede usarse en tal conjunto (86). Los conjuntos de biorreactor están

adaptados para la conexión a una fuente (88) de fluido de alimentación a presión y se sitúan aguas arriba de una pluralidad de conjuntos (38) de hiperfiltración. Los fluidos de alimentación representativos incluyen agua salobre, agua de mar y aguas residuales. El conjunto (86) puede incluir una o más bombas (90, 92) para producir la presión de fluido deseada. El conjunto (86) incluye una trayectoria de flujo de fluido (indicada generalmente mediante flechas) que se extiende desde la fuente (88) de alimentación de fluido, a través de los biorreactores (52), hacia los orificios (42) de alimentación de los recipientes (40) de alta presión, a través de los módulos (2) de membrana y fuera de los orificios (43) de concentrado y los orificios (44) de permeado. El concentrado (43') y el permeado (44') de una pluralidad de conjuntos (38) de hiperfiltración pueden combinarse y, opcionalmente, someterse a un tratamiento adicional, por ejemplo tratamiento adicional con conjuntos de hiperfiltración (no mostrados). Los conjuntos (72) de biorreactor y los conjuntos (38) de hiperfiltración pueden conectarse por medio de tuberías, válvulas, sensores de presión, etc. convencionales. En una realización preferida, los conjuntos de biorreactor y los conjuntos de hiperfiltración están dimensionados de tal manera que la caída de presión para el flujo a través de un conjunto de biorreactor sea menor del 10% de la caída de presión a través de un conjunto de hiperfiltración (medido en el arranque usando conjuntos no ensuciados que usan agua pura a 25°C y una velocidad de flujo a través del/de los conjunto(s) de hiperfiltración de 15 gfd). En una realización preferida del sistema de filtración, el área total de la superficie de crecimiento biológico dentro del/de los conjunto(s) de biorreactor es mayor que la suma total del área de membrana contenida dentro de los módulos de hiperfiltración inicial (primero en la serie) en la etapa posterior de recipientes de alta presión paralelos. Los conjuntos de hiperfiltración se hacen funcionar preferiblemente a una recuperación de permeado de al menos el 90% y más preferiblemente el 95%. Este alto nivel de funcionamiento de recuperación de permeado es sostenible debido al impedimento del ensuciamiento biológico proporcionado por el conjunto de biorreactor aguas arriba.

En la realización mostrada en la figura 6, se sitúan válvulas (94) a lo largo de la trayectoria de flujo de fluido cerca de los extremos del colector (74). Las válvulas (94) permiten aislar un conjunto (72) de biorreactor de una fuente (88) común de fluido de alimentación a presión y otros conjuntos (72') de biorreactor. De esta manera, un conjunto (72) de biorreactor individual puede sacarse fuera de línea mientras los otros conjuntos (72') de biorreactor permanecen en funcionamiento con el fluido de alimentación pasando a su través. En algunas realizaciones, puede conectarse un sistema de limpieza portátil a conjuntos (72) de biorreactor aislados. En la figura 6, el conjunto (86) de filtración incluye un conjunto (96) de limpieza opcional que incluye una trayectoria de flujo de limpieza que se extiende desde la trayectoria (80) de alimentación del colector (74) de un conjunto (72) de biorreactor, a través de una fuente de agente (98) de limpieza, hasta la trayectoria (82) de alimentación tratada y a través de los biorreactores (52) individuales para salir del conjunto (72) en la trayectoria (80) de alimentación.

Un conjunto (72) de biorreactor puede alternar entre un modo de funcionamiento y un modo de limpieza. En el modo de funcionamiento, el fluido pasa desde la trayectoria (80) de alimentación, a través de biorreactores (52) paralelos, es decir, desde las primeras caras (64) de desplazamiento hasta las segundas caras (66) de desplazamiento, y sale del conjunto del biorreactor a través de la trayectoria (82) de alimentación tratada. La trayectoria del flujo de limpieza puede ser en el mismo sentido o invertido en comparación con el modo de funcionamiento, o pueden usarse combinaciones de sentidos de flujo. El conjunto de limpieza puede incluir una bomba (100) independiente y un conjunto (102) de válvula. El conjunto de limpieza (96) y la trayectoria de flujo relacionada se aíslan de los conjuntos (38) de hiperfiltración y, como tal, puede usarse una gama más amplia de agentes de limpieza sin comprometer la integridad de las membranas de los conjuntos (38) de hiperfiltración. Los agentes de limpieza representativos incluyen disoluciones ácidas que tienen un pH menor de 2, disoluciones básicas que tienen un pH mayor de 12, disoluciones que incluyen biocidas, disoluciones acuosas a temperatura elevada (por ejemplo, mayor de 40°C, 60°C u 80°C) y oxidantes, por ejemplo disoluciones acuosas de cloro (por ejemplo, al menos 10 ppm, 100 ppm o incluso 1000 ppm de cloro). Preferiblemente, el fluido de limpieza tiene un tiempo de residencia promedio de menos de 10 segundos (de 1 a 10 segundos) dentro del biorreactor; más preferiblemente, la residencia promedio es menor de 5 segundos dentro del biorreactor.

Después de la limpieza, el conjunto (72) de biorreactor puede enjuagarse, por ejemplo con uno o más de agua limpia, fluido de alimentación o una disolución de inoculación que incluya microorganismos de manera similar a la descrita con respecto al conjunto de limpieza. La disolución de inoculación puede incluir líquido extraído previamente del conjunto del biorreactor (por ejemplo, antes o durante la limpieza). También puede dosificarse un nutriente durante al menos una parte del modo de funcionamiento. En una realización preferida, la diferencia de presión a través de un biorreactor (52) o conjunto (72) de biorreactor se mide en el modo de funcionamiento, y la diferencia de presión medida activa el cambio del modo de funcionamiento al modo de limpieza. Preferiblemente, la diferencia de presión a través del conjunto (72) de biorreactor es menor de 10 psi (más preferiblemente menor de 5 psi) después del modo de limpieza. En una realización, el modo de limpieza comienza después de que una caída de presión medida del biorreactor supere los 10 psi, o más preferiblemente después de que superen los 20 psi.

Se han descrito muchas realizaciones de la invención y, en algunos casos, ciertas realizaciones, selecciones, intervalos, constituyentes u otras características se han caracterizado como "preferidas". Tales designaciones de características "preferidas" no deben interpretarse de ninguna manera como un aspecto esencial o crítico de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Conjunto (86) de filtración, que comprende:

i) un conjunto (38) de hiperfiltración, que comprende:

5 a) un recipiente (40) de alta presión que comprende un orificio (42) de alimentación, un orificio (43) de concentrado y un orificio (44) de permeado;

b) una pluralidad de módulos (2) de membrana de hiperfiltración devanados en espiral dispuestos en serie ubicados dentro del recipiente (40) de alta presión y que comprenden cada uno al menos una envoltura (4) de membrana devanada alrededor de un tubo (8) de permeado que forma una trayectoria de permeado al orificio (44) de permeado;

10 ii) un conjunto (72) de biorreactor, que comprende:

15 a) una pluralidad de biorreactores (52) devanados en espiral, que comprenden, cada uno, una lámina (54) plana que tiene dos superficies (56, 56') opuestas de crecimiento biológico y un espaciador (58) de alimentación devanado en espiral alrededor de un eje (Y) para formar un perímetro exterior cilíndrico que se extiende a lo largo del eje (Y) desde un primer extremo (60) hasta un segundo extremo (62) con una primera cara (64) de desplazamiento ubicada cerca del primer extremo (60) y una segunda cara (66) de desplazamiento ubicada cerca del segundo extremo (62); y

iii) una trayectoria de flujo de fluido adaptada para la conexión de fluido con una fuente (88) de alimentación de fluido y que se extiende:

a) en un patrón de flujo paralelo a través de los biorreactores (52), y posteriormente

20 b) hacia el orificio (42) de alimentación del recipiente (40) de alta presión, sucesivamente a través de los módulos (2) de membrana de hiperfiltración devanados en espiral en un patrón de flujo en serie y fuera del orificio (43) de concentrado y el orificio (44) de permeado;

en el que el conjunto (72) de biorreactor comprende además unos colectores (74, 76) primero y segundo en comunicación de fluido con cada biorreactor (52),

25 el primer colector (74) está en comunicación de fluido con la primera cara (64) de desplazamiento y

el segundo colector (76) está en comunicación de fluido con la segunda cara (66) de desplazamiento de cada biorreactor (52),

y en el que la trayectoria de flujo de fluido se extiende:

30 a) en un patrón de flujo paralelo desde el primer colector (74) y hacia la primera cara (64) de desplazamiento, a lo largo del espaciador (58) de alimentación y fuera de la segunda cara (66) de desplazamiento de cada biorreactor (52) y hacia el segundo colector (76), y

b) hacia el orificio (42) de alimentación del recipiente (40) de alta presión, sucesivamente a través de los módulos (2) de membrana de hiperfiltración devanados en espiral en un patrón de flujo en serie y fuera del orificio (43) de concentrado y el orificio (44) de permeado;

35 en el que:

la lámina (54) plana y el espaciador (58) de alimentación de cada biorreactor (52) se devanan en espiral alrededor de un conducto (70) hueco que se extiende entre la primera cara (64) de desplazamiento y la segunda cara (66) de desplazamiento y que tiene una superficie (71) interior;

40 los colectores (74, 76) primero y segundo están en una carcasa (79) común, el primer colector (74) incluye una trayectoria (80) de alimentación, el segundo colector (76) incluye una trayectoria (82) de alimentación tratada, y la trayectoria (80) de alimentación y la trayectoria (82) de alimentación tratada están selladas entre sí hacia la carcasa (79) común; y

45 el biorreactor (52) comprende además una tapa (78) de extremo sellada alrededor de la segunda cara (66) de desplazamiento que proporciona un paso de fluido desde la segunda cara (66) de desplazamiento hacia el conducto (70) hueco;

en el que la trayectoria (80) de alimentación del primer colector (74) está en comunicación de fluido con la primera cara (64) de desplazamiento de cada biorreactor (52), y la superficie (71) interior del conducto (70) hueco está en comunicación de fluido con la segunda cara (66) de desplazamiento y la trayectoria (82) de alimentación tratada del segundo colector (76); y

en el que la trayectoria de flujo de fluido se extiende:

- a) en un patrón de flujo paralelo desde el primer colector (74) y hacia la primera cara (64) de desplazamiento, a lo largo del espaciador (58) de alimentación hasta la segunda cara (66) de desplazamiento, a través del conducto (70) hueco y hacia la trayectoria (82) de alimentación tratada del primer colector (74), y
 - 5 b) hacia el orificio (42) de alimentación del recipiente (40) de alta presión, sucesivamente a través de los módulos (2) de membrana de hiperfiltración devanados en espiral en un patrón de flujo en serie y fuera del orificio (43) de concentrado y el orificio (44) de permeado.
2. Conjunto (86) de filtración según la reivindicación 1, que comprende además una pluralidad de conjuntos (72) de biorreactor cada uno en comunicación de fluido con el conjunto (38) de hiperfiltración, en el que la trayectoria de flujo de fluido se extiende desde el segundo colector (76) de cada conjunto (72) de biorreactor y hacia el orificio (42) de alimentación del conjunto (38) de hiperfiltración.
 - 10 3. Conjunto (86) de filtración según la reivindicación 1, en el que la periferia exterior de cada biorreactor (52) incluye una cubierta (84) exterior que está expuesta a la presión ambiental.
 4. Conjunto (86) de filtración según la reivindicación 1, que comprende al menos un dispositivo de microfiltración o ultrafiltración ubicado a lo largo de la trayectoria de flujo de fluido en una ubicación que incluye al menos uno de:
 - 15 a) entre el conjunto (38) de hiperfiltración y el conjunto (72) de biorreactor, y
 - b) entre una fuente (88) de alimentación de fluido y el conjunto (72) de biorreactor.
 5. Conjunto (86) de filtración según la reivindicación 1, que comprende además una pluralidad de conjuntos (38) de hiperfiltración cada uno en comunicación de fluido con el conjunto (72) de biorreactor, en el que la trayectoria de flujo de fluido se extiende desde el segundo colector (82) del conjunto (72) de biorreactor y hacia el orificio (42) de alimentación de cada conjunto (38) de hiperfiltración.
 - 20 6. Conjunto (86) de filtración según la reivindicación 1, en el que el conjunto (86) de filtración incluye una pluralidad de conjuntos (72) de biorreactor paralelos y válvulas (94) que permiten aislar cada conjunto (72) de biorreactor de una fuente (88) común de fluido de alimentación a presión y otros conjuntos (72') de biorreactor.
 - 25

Fig 1

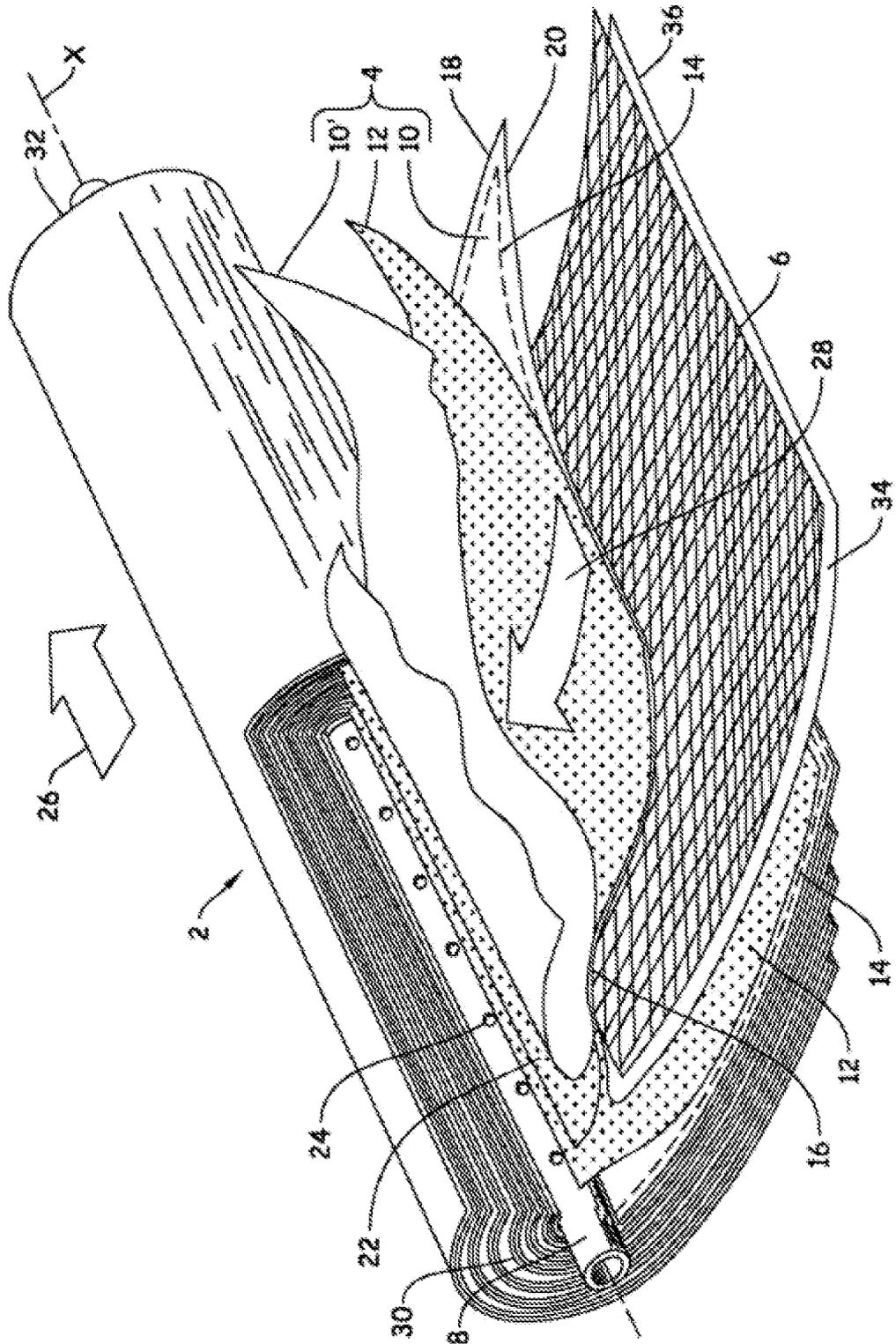


Fig 2

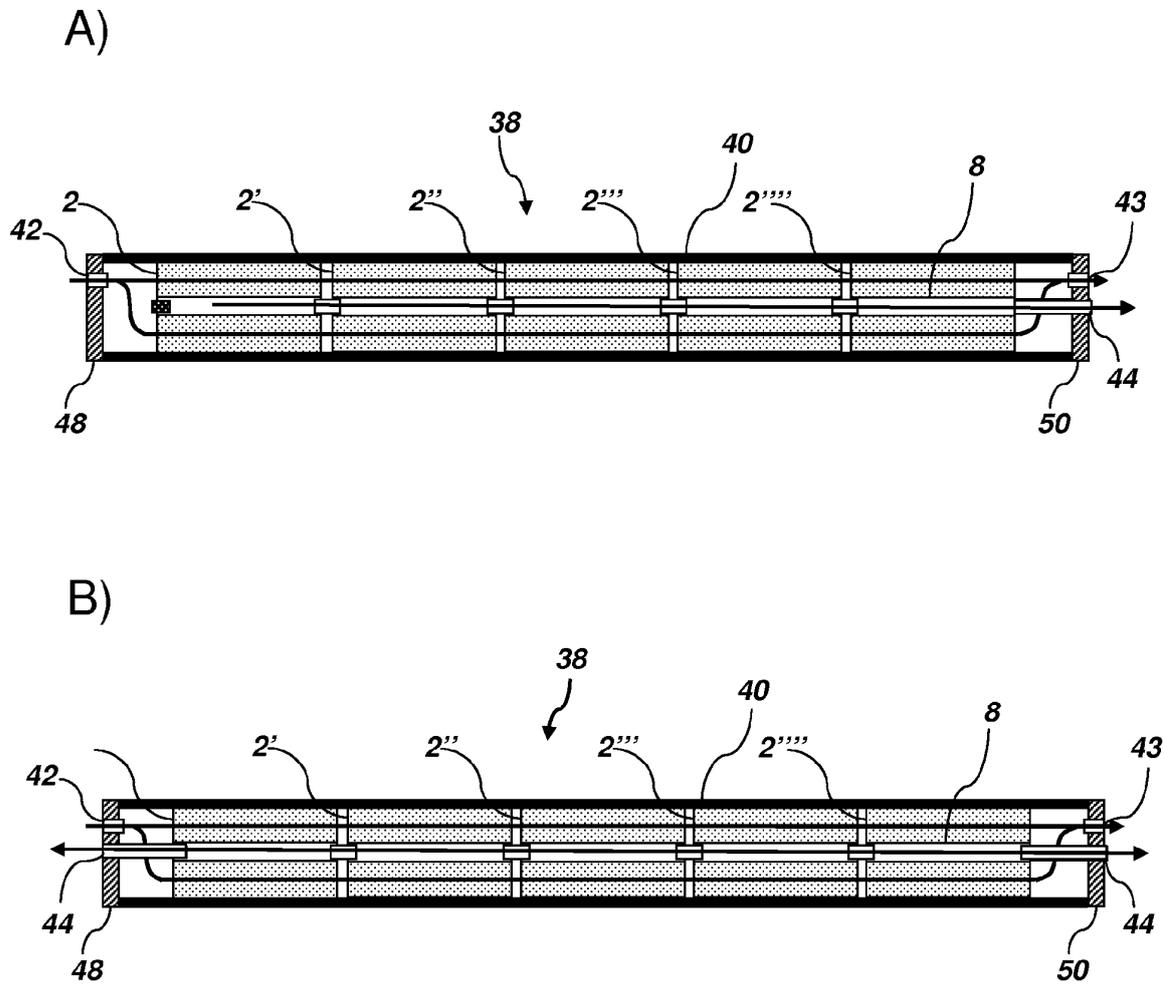
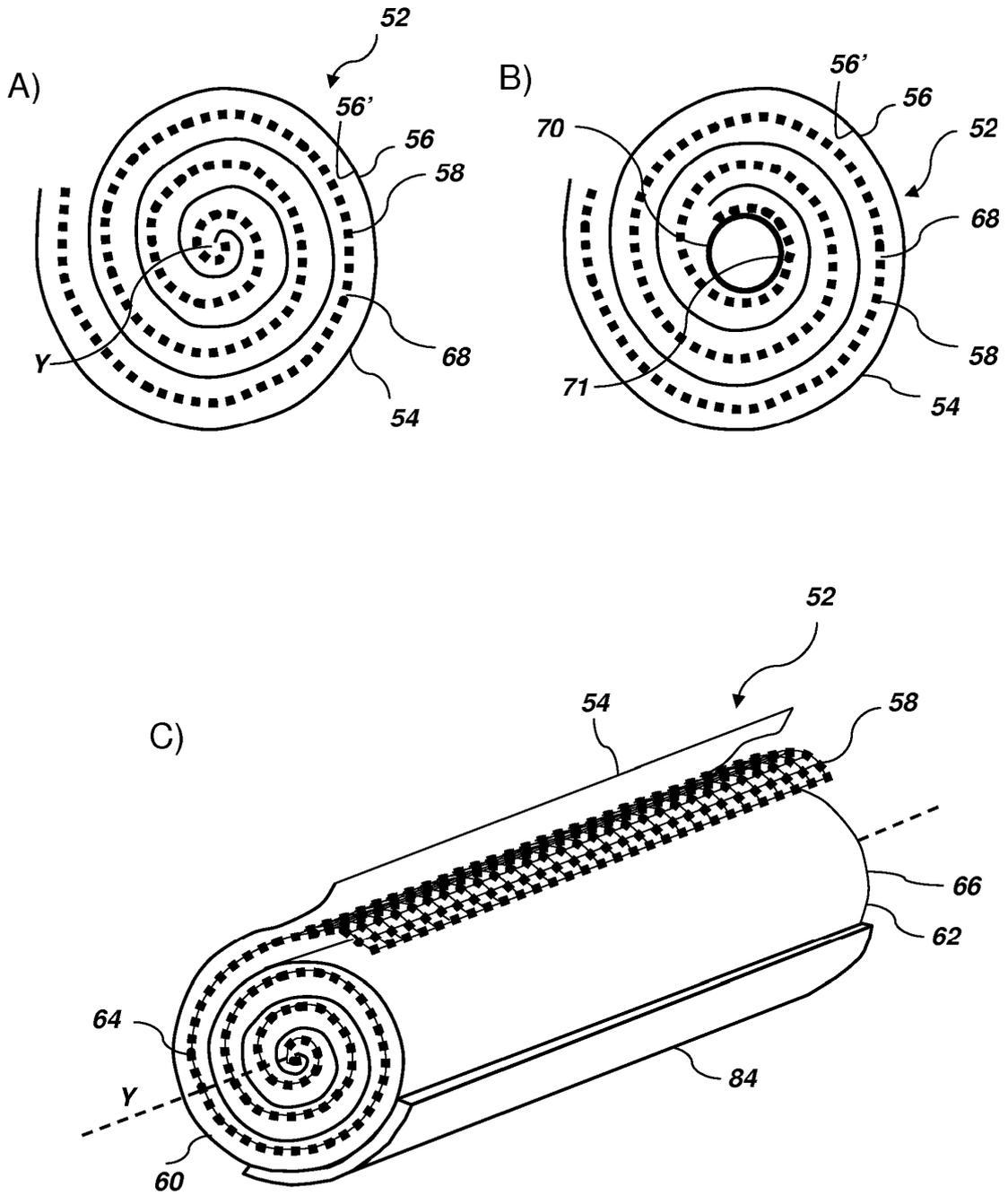


Fig 3



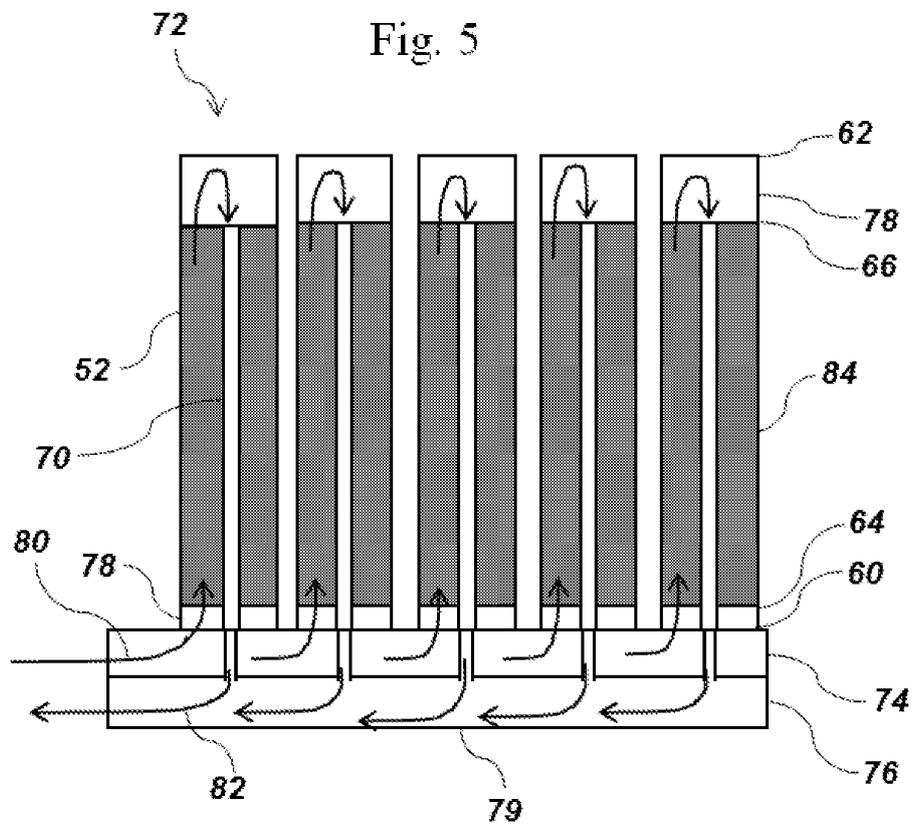
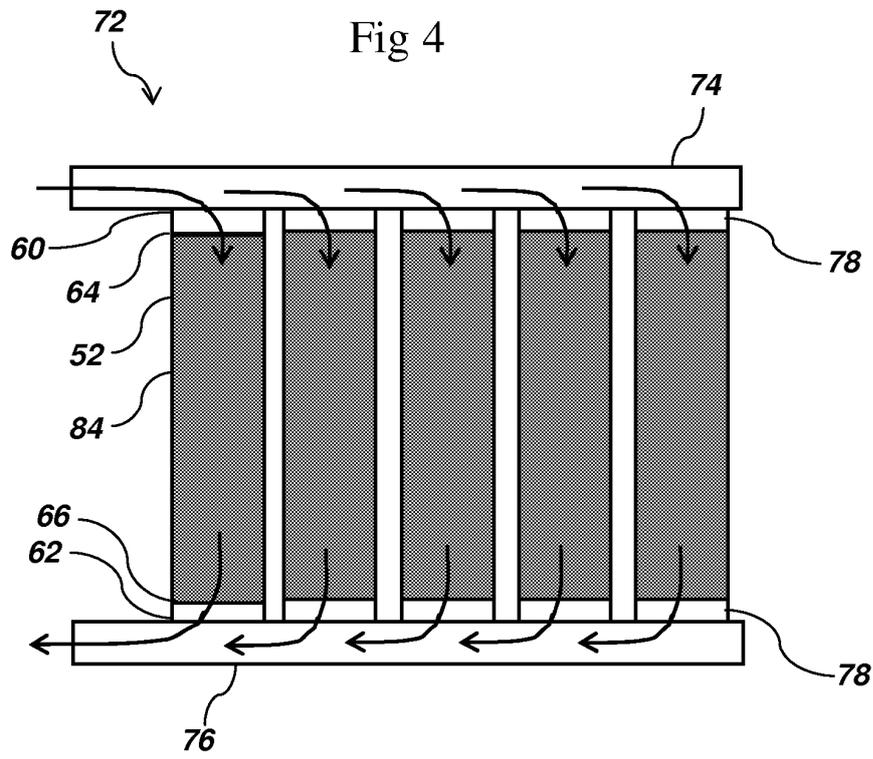


Fig. 6

