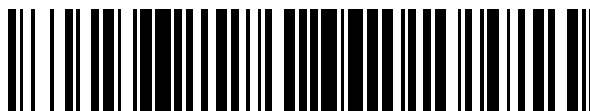


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 899**

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/US2015/051297**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.10.2016 WO16167831**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.09.2015 E 15774815 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019 EP 3283197**

54 Título: **Conjunto de filtración que incluye biorreactores enrollados en espiral y módulos de membrana colocados en recipientes de presión separados**

30 Prioridad:

**16.04.2015 US 201562148365 P**

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

**21.02.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 743 899 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 enrollados en espiral y módulos de membrana colocados en recipientes de presión separados

### Campo

- 5 La invención está dirigida hacia un conjunto de filtración que incluye un conjunto de biorreactores enrollados en espiral situado aguas arriba de un conjunto de membrana de hiperfiltración enrollada en espiral.

### Introducción

Los conjuntos de membranas de "hiperfiltración" enrolladas 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 ("elementos") de membranas enrolladas en espiral están dispuestos en serie e interconectados dentro de un recipiente de presión. Durante la operación, el fluido de alimentación presurizado se introduce 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 membranas enrolladas en espiral a menudo se deteriora con el tiempo debido a ensuciamiento. El ensuciamiento implica la formación de restos 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 bioensuciamiento (crecimiento de una biopelícula en diversas superficies dentro del módulo). El bioensuciamiento se mitiga típicamente introduciendo oxidantes (por ejemplo, lejía), biocidas o agentes bioestáticos en el agua de alimentación aguas arriba del conjunto enrollado en espiral. El agua de alimentación también se puede tratar previamente con un biorreactor para reducir los nutrientes que de otro modo contribuirían al bioensuciamiento dentro del conjunto de membrana enrollada en espiral. Se describen ejemplos en los documentos US2012/0193287; US7045063, EP127243; y H.C. Flemming et al., Desalinización, 113 (1997) 215-225; H. Brouwer et al., Desalinización, vol. 11, ediciones 1-3 (2006) 15-17. En cada uno de estos ejemplos, el agua de alimentación se trata previamente con un biorreactor en una ubicación aguas arriba del conjunto de membrana enrollada en espiral.

### Compendio

La invención se expone según las reivindicaciones adjuntas. La presente invención utiliza una pluralidad de biorreactores enrollados 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 manera que el bioensuciamiento se reduce en el conjunto de hiperfiltración aguas abajo. En una realización preferida, el conjunto de filtración del tema incluye:

i) un conjunto de hiperfiltración que incluye:

a) un recipiente de alta presión que incluye un puerto de alimentación, un puerto de concentrado y un puerto de permeado, y

35 b) una pluralidad de módulos de membrana de hiperfiltración enrollada en espiral dispuestos en serie situados dentro del recipiente de alta presión y cada uno que incluye al menos una envoltura de membrana enrollada alrededor de un tubo de permeado que forma un camino de permeado al puerto de permeado;

ii) un conjunto de biorreactores que incluye:

a) un recipiente de baja presión que incluye un primer y segundo puerto, y

40 b) una pluralidad de biorreactores enrollados en espiral situados dentro del recipiente de baja presión con cada biorreactor que comprende una lámina plana que tiene dos superficies de biocrecimiento opuestas y un separador de alimentación enrollado en espiral alrededor de un eje (Y) para formar una periferia externa cilíndrica que se extiende a lo largo del eje (Y) desde un primer extremo hasta un segundo extremo con una cara de rolo de entrada situada cerca del primer extremo y una cara de rolo de salida situada cerca del segundo extremo; y

45 iii) un camino de flujo de fluido que se extiende desde una fuente de alimentación de fluido: a) hacia el primer puerto del recipiente de baja presión, a través de las entradas de las caras de rolo y fuera de las caras de rolo de salida de los biorreactores a través de los conductos centrales y fuera del segundo puerto del recipiente de baja presión, y b) hacia el puerto de alimentación del recipiente de alta presión, a través de los módulos de membrana y fuera del puerto de concentrado y del puerto de permeado.

En una realización preferida, el camino de flujo de fluido sigue un patrón de flujo paralelo a través de los biorreactores del conjunto de biorreactores y un patrón de flujo en serie a través de los módulos de membrana del conjunto de hiperfiltración. En otra realización, los biorreactores enrollados en espiral se colocan en una disposición paralela dentro del recipiente de baja presión. En otra realización más, los biorreactores se colocan en una

disposición en serie dentro de una cámara interna cilíndrica del recipiente de baja presión. Se describen muchas realizaciones adicionales.

### Breve descripción de los dibujos

5 Las figuras no están a escala e incluyen vistas idealizadas para facilitar la descripción. Dónde sea posible, se han usado números similares en todas las figuras y escrito una descripción para designar características iguales o similares.

La Figura 1 es una vista en perspectiva, parcialmente cortada, de un módulo de membrana enrollada en espiral.

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

Las Figuras 3A-B son vistas en alzado de biorreactores enrollados en espiral.

La Figura 3C es una vista en perspectiva de un biorreactor enrollado en espiral.

15 La Figura 4 es una vista en sección transversal de un conjunto de biorreactores que no está según la presente invención, incluyendo una pluralidad de biorreactores enrollados en espiral colocados en una disposición paralela dentro de un recipiente de baja presión.

La Figura 5 es una vista en sección transversal de una realización de un conjunto de biorreactores que incluye una pluralidad de biorreactores enrollados en espiral colocados en una disposición en serie dentro de un recipiente de baja presión.

La Figura 6 es una vista esquemática de una realización del conjunto de filtro del asunto.

### 20 Descripción detallada

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 biorreactores situado aguas arriba de un conjunto de hiperfiltración. Con tal disposición, los bionutrientes presentes en el fluido de alimentación se consumen por microorganismos presentes en el conjunto de biorreactores y están menos disponibles para causar bioensuciamiento en el conjunto de hiperfiltración aguas abajo.

30 El conjunto de biorreactores incluye una pluralidad de biorreactores enrollados en espiral situados dentro de un recipiente de presión (baja) común. El conjunto de hiperfiltración incluye una pluralidad de módulos de membrana enrollada en espiral situados en una disposición en serie y un patrón de flujo en serie dentro de un recipiente de presión (alta) común. En operación, una fuente de fluido de alimentación presurizado (por ejemplo, aguas residuales presurizadas a 0,1 a 1 MPa) pasa a lo largo de un camino de flujo de fluido sucesivamente a través del conjunto de biorreactores y el conjunto de hiperfiltración. Se pueden incluir operaciones adicionales de la unidad de filtro a lo largo del camino de flujo de fluido. Por ejemplo, un dispositivo de microfiltración (diámetro promedio de poro de 0,1 a 10  $\mu\text{m}$ ) o un dispositivo de ultrafiltración (diámetro promedio de poro de 0,001-0,1  $\mu\text{m}$ ), por ejemplo, un módulo de membrana de fibra hueca o un filtro de cartucho (diámetro promedio de poro de 10 a 50  $\mu\text{m}$ ) se puede colocar a lo largo del camino de flujo de fluido en una ubicación que incluye entre el conjunto de hiperfiltración y el conjunto de biorreactores y entre una fuente de fluido de alimentación y el conjunto de biorreactores. Se pueden usar diversas combinaciones de uno o más conjuntos de biorreactores con uno o más conjuntos de hiperfiltración. Por ejemplo, un único conjunto de biorreactores puede suministrar fluido tratado previamente a una pluralidad de conjuntos de hiperfiltración, o bien colocados en una configuración de flujo paralelo unos con otros, o bien en una configuración en serie en donde se suministra o bien un permeado o bien un concentrado desde 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 un conjunto común de hiperfiltración aguas abajo.

45 Los módulos ("elementos") de membrana enrollada en espiral útiles en la presente invención incluyen aquéllos diseñados para su uso en ósmosis inversa (RO) y nanofiltración (NF), conocidas colectivamente como "hiperfiltración". En general, los módulos de membrana enrollada en espiral incluyen una o más envolturas de membrana y láminas separadoras de alimentación enrolladas alrededor de un tubo de recogida de permeado. Las membranas de RO usadas para formar envolturas son relativamente impermeables para virtualmente todas las sales disueltas y típicamente rechazan más de alrededor del 95% de sales que tienen iones monovalentes tales como cloruro de sodio. Las membranas de RO también rechazan típicamente más de alrededor del 95% de moléculas inorgánicas, así como moléculas orgánicas con pesos moleculares mayores que aproximadamente 100 Dalton. Las membranas de NF son más permeables que las membranas de RO y típicamente rechazan menos de alrededor del 95% de las sales que tienen iones monovalentes, mientras que rechazan más de alrededor del 50% (y a menudo más del 90%) de las sales que tienen iones bivalentes, dependiendo de la especie de ion bivalente. Las membranas

de NF también rechazan típicamente partículas en el intervalo de nanómetro, así como moléculas orgánicas que tienen pesos moleculares mayores que aproximadamente 200 a 500 Dalton.

Un módulo de membrana enrollada en espiral representativo se muestra de manera general en la Figura 1. El módulo (2) se forma enrollando concéntricamente una o más envolturas (4) de membrana y lámina o láminas (6) separadoras de alimentación ("separadores de alimentación") alrededor de un tubo (8) de recogida de permeado. Cada envoltura (4) de membrana comprende preferiblemente dos secciones (10, 10') sustancialmente rectangulares de lámina de membrana. Cada sección (10, 10') de la lámina de membrana tiene una membrana o lado (34) frontal y un soporte o lado (36) posterior. La envoltura (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) separadora de canal de permeado ("separador de permeado"). Esta estructura de tipo sándwich se asegura entre sí, por ejemplo, mediante sellador (14), a lo largo de tres bordes (16, 18, 20) para formar la envoltura (4) mientras que un cuarto borde, es decir, el "borde proximal" (22) se apoya en el tubo (8) de recogida de permeado de modo que la parte interior de la envoltura (4) (y el separador (12) de permeado opcional) está en comunicación fluida 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 envolturas (4) de membrana separadas por una pluralidad de láminas (6) separadoras de alimentación. En la realización ilustrada, las envolturas (4) de membrana se forman uniendo las superficies del lado (36) posterior de paquetes de hojas de membrana colocadas adyacentes. Un paquete de hojas de membrana comprende una lámina (10) de membrana sustancialmente rectangular doblada sobre sí misma para definir dos "hojas" de membrana en donde los lados (34) frontales de cada hoja están enfrentados entre sí y el pliegue está alineado axialmente con el borde (22) proximal de la envoltura (4) de membrana, es decir, paralelo con el tubo (8) de recogida de permeado. Se muestra una lámina (6) separadora de alimentación situada entre los lados (34) frontales enfrentados de la lámina (10) de membrana plegada. La lámina (6) separadora de alimentación facilita el flujo de fluido de alimentación en una dirección axial (es decir, paralela con el tubo (8) de recogida de permeado) a través del módulo (2). Aunque no se muestran, también se pueden incluir en el conjunto capas intermedias adicionales. Ejemplos representativos de paquetes de hojas de membrana y su fabricación se describen además en el documento US 7875177.

Durante la fabricación del módulo, se pueden unir láminas (12) separadoras de permeado alrededor de la circunferencia del tubo (8) de recogida de permeado con paquetes de hojas de membrana intercalados entre las mismas. Los lados (36) posteriores de las hojas (10, 10') de membrana colocadas de manera adyacente están sellados alrededor de partes de su periferia (16, 18, 20) para encerrar la lámina (12) separadora de permeado para formar envoltura (4) de membrana. Técnicas adecuadas para unir la lámina separadora de permeado al tubo de recogida de permeado se describen en el documento US 5538642. La envoltura o envolturas (4) de membrana y el separador o separadores (6) de alimentación se enrollan o "ruedan" concéntricamente alrededor del tubo (8) de recogida de permeado para formar dos caras (30, 32) de rollo opuestas en los extremos opuestos y el manojó en espiral resultante se mantiene en su lugar, tal como mediante cinta u otros medios. Las caras de rollo del (30, 32) se pueden recortar entonces y se puede aplicar, opcionalmente, un sellador en la unión entre la cara (30, 32) de rollo y el tubo (8) de recogida de permeado, como se describe en el documento US 7951295. Se pueden enrollar fibras de vidrio largas alrededor del módulo parcialmente construido y resina (por ejemplo, epoxi líquido) aplicada y endurecida. En una realización alternativa, la cinta se puede aplicar en la circunferencia del módulo enrollado como se describe en el documento US 8142588. Los extremos de los módulos se pueden equipar con un dispositivo antitelescópico o una tapa extrema (no mostrada) diseñada para evitar que las envolturas de membrana se desplacen bajo el diferencial de presión entre los extremos de rollo de entrada y de salida del módulo. Ejemplos representativos se describen en: los documentos US 5851356, US 6224767, US 7063789, US 7198719 y WO2014/120589. Aunque no es un aspecto requerido de la invención, las realizaciones preferidas de la invención incluyen tapas extremas que incluyen una estructura de bloqueo para evitar el movimiento axial relativo entre las tapas extremas acopladas. Tal estructura de bloqueo entre las tapas extremas se puede acoplar alineando las tapas extremas adyacentes para que una o más proyecciones o agarraderas que se extienden radialmente hacia dentro desde el interior del cubo externo de una tapa extrema, entren en los receptáculos correspondientes dispuestos alrededor del cubo externo de la tapa extrema enfrentada. Las tapas extremas se acoplan entonces girando una tapa extrema con relación a la otra hasta que las proyecciones o "agarraderas" entran en contacto o se "enganchan" con una estructura correspondiente del receptáculo. Este tipo de tapa extrema de bloqueo está disponible en The Dow Chemical Company bajo la marca iLEC™ y se describe además en los documentos US 6632356 y US8425773. Si no se usan tales tapas extremas, se pueden usar tubos de interconexión para evitar la mezcla de permeado con alimentación. Con el fin de restringir que el fluido de alimentación derive los elementos dentro del recipiente, se pueden colocar diversos tipos de sellos (por ejemplo, tipo Chevron, juntas tóricas, tipo copa en U, etc.) entre la periferia externa de los elementos y la periferia interna 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 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 enrollada en espiral son bien conocidos en la técnica. Selladores adecuados para sellar envolturas de membrana incluyen uretanos, epoxis, siliconas, acrilatos, adhesivos de fusión en caliente y adhesivos curables por UV. Aunque es menos común, también

se pueden usar otros medios de sellado, tales como aplicación de calor, presión, soldadura ultrasónica y cinta. Los tubos de recogida de permeado están hechos típicamente de materiales plásticos tales como acrilonitrilo butadieno estireno, cloruro de polivinilo, polisulfona, poli (óxido de fenileno), poliestireno, polipropileno, polietileno o similar. Se usan comúnmente materiales de poliéster de tejido de punto como separadores de permeado. Se describen separadores de permeado adicionales en el documento US8388848. Los separadores de alimentación representativos incluyen materiales de malla de polietileno, poliéster y polipropileno, tales como los disponibles comercialmente bajo el nombre comercial VEXAR™ de Conwed Plastics. Los separadores de alimentación preferidos se describen en el documento US 6881336. En una realización preferida, el separador de alimentación usado en la presente invención tiene un grosor de menos de 0,5 mm. Alternativamente, el separador de alimentación puede comprender una pluralidad de regiones elevadas formadas en la lámina de membrana, por ejemplo, un estampado en relieve estampado formado por un troquel o rodillo, esferas o líneas de polímero depositadas en 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 se puede usar una amplia variedad de materiales, por ejemplo, materiales de acetato de celulosa, polisulfona, polietersulfona, poliamidas, fluoruro de polivinilideno, etc. Una lámina de membrana preferida incluye membranas de tipo FT-30™ de FilmTec Corporation, es decir, una membrana de compuesto de lámina plana que comprende una capa de refuerzo (parte posterior) de una red de refuerzo no tejida (por ejemplo, una tela no tejida, tal como tela de fibra de poliéster disponible en Awa Paper Company), una capa intermedia que comprende un soporte poroso que tiene un espesor típico de alrededor de 25-125  $\mu\text{m}$  y una capa de discriminación superior (lado frontal) que comprende una capa de poliamida de película delgada que tiene un espesor típicamente de menos de alrededor de 1 micra, por ejemplo, desde 0,01 micras hasta 1 micra, pero más comúnmente desde alrededor de 0,01 hasta 0,1  $\mu\text{m}$ . La capa de refuerzo no está particularmente limitada, pero preferiblemente comprende una estera de red de tela no tejida o fibrosa que incluye fibras que se pueden orientar. Alternativamente, se puede usar una tela tejida tal como tela de vela. Ejemplos representativos se describen en los documentos US 4214994; US 4795559; US 5435957; US 5919026; US 6156680; US8608964 y US 7048855. El soporte poroso es típicamente un material polimérico que tiene tamaños de poro que son de un tamaño suficiente para permitir esencialmente el paso no restringido de permeado pero no lo suficientemente grande para interferir con el puenteado por encima de una capa de poliamida de película delgada formada sobre el mismo. Por ejemplo, el tamaño de poro del soporte oscila preferiblemente desde alrededor de 0,001 hasta 0,5  $\mu\text{m}$ . Ejemplos no limitantes de soportes porosos incluyen aquéllos hechos de: polisulfona, polietersulfona, poliimida, poliamida, polieterimida, poliacrilonitrilo, poli (metacrilato de metilo), polietileno, polipropileno y diversos polímeros halogenados tales como fluoruro de polivinilideno. La capa de discriminación está formada preferiblemente por una reacción de policondensación interfacial entre un monómero de amina polifuncional y un monómero de haluro de acilo polifuncional en la superficie de la capa de polímero microporoso como se describe en los documentos US 4277344 y US 6878278.

Las flechas mostradas en la Figura 1 representan las direcciones (26, 28) de flujo aproximadas de fluido alimentación y permeado (también conocido como “producto” o “filtrado”) durante la operación. El fluido de alimentación entra en el módulo (2) desde una cara (30) de rollo de entrada y fluye a través del lado o lados (34) frontales de la lámina o láminas de membrana y sale del módulo (2) en la cara (32) de rollo de salida opuesta. El fluido permeado fluye a lo largo de la lámina (12) separadora de permeado en una dirección aproximadamente perpendicular al flujo de alimentación como se indica por la flecha (28). Los caminos de flujo de fluido reales varían con los detalles de construcción y las condiciones de operación.

Aunque los módulos están disponibles en una variedad de tamaños, un módulo de RO industrial común está disponible con un diámetro estándar de 20,3 cm (8 pulgadas) y una longitud de 101,6 cm (40 pulgadas). Para un módulo típico de 20,3 cm (8 pulgadas) de diámetro, se enrollan 26 a 30 envolturas de membrana individuales alrededor del tubo de recogida de permeado (es decir, para tubos de recogida de permeado que tienen un diámetro externo de alrededor de 3,8 cm a 4,8 cm (1,5 a 1,9 pulgadas)). También se pueden usar módulos menos convencionales, incluyendo los descritos en el documento US8496825.

Las Figuras 2A-B ilustran dos realizaciones clásicas de conjuntos de hiperfiltración (38) adecuados para la presente invención. Como se muestra, el conjunto (38) incluye un recipiente (40) de alta presión que incluye un puerto (42) de alimentación, un puerto (43) de concentrado y un puerto (44) de permeado. Se conoce y se puede usar una variedad de configuraciones similares incluyendo combinaciones de puertos situados a los lados y extremos de la presión (40). Una pluralidad de módulos (2, 2', 2'', 2''', 2''') de membrana enrollada en espiral están dispuestos en serie dentro del recipiente (40) de presión. El recipiente de presión usado en la presente invención no está particularmente limitado pero preferiblemente incluye una estructura sólida capaz de resistir las presiones asociadas con las condiciones de operación. En la medida que las presiones de fluido usadas durante la operación típicamente exceden 1,5 MPa (por ejemplo, 1,6 a 2,6 MPa para agua salobre, 6 a 8 MPa para agua de mar), recipientes de presión usados en hiperfiltración se conocen en la presente memoria como recipientes de “alta” presión. La estructura del recipiente incluye preferiblemente una cámara (46) que tiene una periferia interna que corresponde a la de la periferia externa de los módulos de membrana enrollada en espiral a ser alojados dentro de la misma, por ejemplo, cilíndrica. La longitud de la cámara corresponde preferiblemente a la longitud combinada de los módulos de membrana enrollada en espiral a ser cargados secuencialmente (axialmente). Preferiblemente, el recipiente contiene al menos 2 a 8 módulos de membrana enrollada en espiral dispuestos en serie con sus respectivos tubos (8) de

permeado en comunicación fluida unos con otros para formar un camino de permeado al puerto (44) de permeado. El flujo de fluido hacia el puerto (42) de alimentación y fuera de los puertos (43, 44) de concentrado y permeado generalmente se indican mediante flechas. El recipiente (40) de presión también puede incluir una o más placas (48, 50) extremas que sellan la cámara (46) una vez cargada con los módulos (2). La orientación del recipiente de presión no está particularmente limitada, por ejemplo, se pueden usar orientaciones tanto horizontales como verticales. Ejemplos de recipientes de presión aplicables, disposiciones de módulos y carga se describen en: los documentos US 6074595, US 6165303, US 6299772, US 2007/0272628 y US 2008/0308504. Fabricantes de recipientes de presión incluyen Pentair de Minneapolis 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 enrollada en espiral, se pueden conocer como "tren" o "paso". El recipiente o recipientes dentro del paso se pueden disponer en una o más etapas, en donde cada etapa contiene uno o más recipientes que operan en paralelo con respecto a un fluido de alimentación. Las múltiples etapas están dispuestas en serie, con el fluido concentrado de una etapa aguas arriba que se usa como fluido de alimentación para la etapa aguas abajo, mientras que el permeado de cada etapa se recoge sin reprocesamiento adicional dentro del paso. Los sistemas de hiperfiltración de múltiples pasos se construyen interconectando pasos individuales a lo largo de un camino de fluido 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 biorreactores que incluye una pluralidad de biorreactores situados dentro de un recipiente de baja presión. Los biorreactores preferidos usados en la presente invención incluyen una configuración enrollada en espiral similar a la descrita anteriormente con respecto a los módulos de membrana. Sin embargo, como no ocurre ninguna separación de fluidos en el biorreactor, el biorreactor preferiblemente no incluye ninguna envoltura de membrana. Como se muestra mejor en las Figuras 3A-C, biorreactores (52) aplicables incluyen una lámina (54) plana que tiene dos superficies (56, 56') de biocrecimiento opuestas y un separador (58) de alimentación enrollado en espiral alrededor de un eje (Y) para formar una periferia externa cilíndrica que se extiende a lo largo del eje (Y) desde un primer extremo (60) hasta un segundo extremo (62) con una cara (64) de rolo de entrada situada cerca del primer extremo (60) y la cara (66) de rolo de salida situada cerca del segundo extremo (62). En particular respecto a la realización ilustrada en la Figura 3B, la lámina (54) plana y el separador (58) están enrollados en espiral alrededor de un conducto (70) hueco. 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 se puede reemplazar con una varilla sólida. Aunque se muestra en la Figura 3B como que incluye un conducto (70) hueco, el conducto del biorreactor es preferiblemente impermeable y, de este modo, está sellado de comunicación fluida directa con la lámina plana y el separador de alimentación, excepto a través de los extremos del conducto. La superficie (71) interna del conducto (70) está preferiblemente en comunicación fluida con la lámina plana y el separador de alimentación sólo a través de las caras (64, 66) de rolo de entrada o salida.

Las Figuras 4 y 5 ilustran dos conjuntos de biorreactores (72) que incluyen una pluralidad de biorreactores (52) en espiral individuales. Cada una de las Figuras 3, 4 y 5 muestra que el biorreactor no funciona como un módulo de membrana enrollada en espiral, en el sentido que la lámina plana no produce un permeado por sí misma. Más bien, la alimentación pasa a una cara (64) de rolo de entrada del biorreactor, pasa a lo largo de los canales (68) de flujo del separador (58) de alimentación y sale a través de una cara (66) de rolo de salida. Sin embargo, en la presente invención, la alimentación que fluye a través de los canales de flujo ha de ser encaminada de nuevo a través del biorreactor por medio del conducto (70) central. Esto se describe en conexión con la Figura 5, donde el flujo de fluido entra en el conducto después de pasar a través de la cara (66) de rolo de salida. Al tiempo que 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 los microorganismos. Los nutrientes en la alimentación se consumen por los microorganismos, de modo que el líquido que sale del biorreactor se agota de nutrientes antes de pasar a los módulos de membrana enrollada en espiral aguas abajo.

El separador (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 biocrecimiento adyacentes. Un canal de menos de 0,15 mm se ocluye más fácilmente por biocrecimiento, de modo 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 biocrecimiento que se desea para eliminar nutrientes problemáticos. Como con los módulos (2, 2', 2'', 2''', 2''''') de membrana enrollada en espiral, el biorreactor (52) enrollado en espiral se puede hacer con más de una lámina plana y un separador superpuestos, pero se prefiere usar como máximo dos láminas (54) planas separadas por los separadores (58). Lo más preferiblemente, cada biorreactor comprende sólo una única lámina (54) plana enrollada en espiral. En una realización preferida, la longitud desenrollada de la lámina (54) plana de un biorreactor (52) aguas arriba excede la longitud desenrollada de una envoltura (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 envoltura (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 biocrecimiento y canales (68) de flujo que se extienden desde la cara (64) de rolo de entrada hasta la cara (66) de rolo de salida. Debido a las tasas de flujo relativamente altas deseadas en muchas realizaciones de la invención, las superficies de crecimiento se pueden definir como aquellas

superficies adyacentes a los canales (68) de flujo que conectan la cara (64) de rolo de entrada y la cara (66) de rolo de salida del biorreactor (52). Con el fin de operar a tasas de flujo altas al tiempo que se elimina la mayor parte de bionutrientes que pueden conducir a ensuciamiento en los módulos de membrana enrollada en espiral aguas abajo, se desea una gran área de superficie de biocrecimiento que entre en contacto con los canales de flujo, mientras que aún se proporciona una resistencia mínima a fluir a través del biorreactor. Preferiblemente, el volumen vacío (volumen no ocupado por un sólido entre superficies de biocrecimiento) de canales de flujo comprende al menos un 65% (más preferiblemente un 75% o incluso un 85%) del volumen del biorreactor. La relación del área de superficie de biocrecimiento al volumen del biorreactor para cada biorreactor está preferiblemente entre  $15 \text{ cm}^{-1}$  y  $150 \text{ cm}^{-1}$  (más preferiblemente entre  $20 \text{ cm}^{-1}$  y  $100 \text{ cm}^{-1}$ ). En una realización, una lámina plana puede proporcionar superficies de biocrecimiento, mientras que los canales de flujo se pueden proporcionar por el espacio entre o por medio de un material separador que incluye surcos o caminos 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') de biocrecimiento opuestas pueden estar en comunicación fluida una con otra 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 UF o MF, un material tejido o no tejido, una 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 biocrecimiento en ambas caras externas que están separadas por un separador (58) de alimentación. Los materiales preferidos incluyen láminas de polímero que tienen tamaños de poro mayores que  $0,1 \mu\text{m}$ , o mayores que  $10 \mu\text{m}$ . La lámina de polímero también puede incluir macroporos de tamaños mayores que  $10 \mu\text{m}$  que facilitan la perturbación del fluido en las regiones ensuciadas durante la limpieza. Polímeros aplicables incluyen, pero no se limitan a, polietileno, polipropileno, polisulfona, polietersulfona, poliamidas y fluoruro de polivinilideno. Como el biorreactor de esta invención opera preferiblemente a tasas de flujo relativamente altas, el espesor de la lámina plana es preferiblemente menor que el espesor del separador. Preferiblemente, el espesor de la lámina plana es menor que 1 mm, y más preferiblemente menor que 0,5 mm, menor que 0,2 mm, o incluso menor que 0,1 mm. El grosor de la lámina (54) plana en los biorreactores (52) es preferiblemente menor que un 25% del grosor de las envolturas (4) de una membrana en los módulos (2) de hiperfiltración aguas abajo.

El separador (58) de alimentación de un biorreactor (52) no está particularmente limitado e incluye los separadores de alimentación descritos anteriormente en conexión con los módulos de membrana enrollada en espiral. Se desea que la mayoría de la lámina plana adyacente a un separador no esté ocluida por contacto con el separador. Estructuras preferidas para separadores incluyen un material de lámina tipo red que tiene puntos de intersección de mayor espesor que el grosor promedio de los hilos entre los mismos. El separador puede ser una colección de regiones elevadas de la lámina plana, tal como formado por un paso en relieve, mediante la aplicación de líneas adhesivas a la lámina plana, o mediante la fijación de bolas de núcleo/carcasa dimensionadas apropiadamente a la superficie. Una vez enrollado en espiral, el separador de alimentación proporciona preferiblemente canales de flujo de desde 0,10 mm hasta 1,5 mm, más preferiblemente desde 0,15 mm hasta 1,0 mm, entre superficies de biocrecimiento adyacentes de la lámina plana. Cuando se proporciona en un formato de lámina, se pueden unir entre sí selectivamente secciones de separador (58) de alimentación y láminas (54) planas próximas, por ejemplo, adherir entre sí a lo largo de partes de su periferia o regiones intermitentes en sus superficies. De manera similar, las superficies de biocrecimiento adyacentes se pueden fijar en algunas ubicaciones para evitar el movimiento relativo entre las mismas, pero aún permitir el movimiento de alimentación a través del canal de flujo. Tal unión añade resistencia al biorreactor, evitando la extrusión del separador y mitigando el efecto telescopio.

La periferia externa del biorreactor (52) es preferiblemente cilíndrica y se puede terminar de la misma manera que se ha descrito anteriormente con respecto a los módulos de membrana enrollada en espiral, por ejemplo, cinta, fibra de vidrio, etc. El biorreactor se puede encerrar alternativamente en un moldeado, un retractilado o una carcasa extruida (por ejemplo, PVC o CPVC). Alternativamente o además, el biorreactor puede incluir dispositivos antitelescópicos que se usan comúnmente en conexión con módulos de membrana enrollada en espiral. En una realización, el biorreactor incluye una tapa extrema que se enclava con un módulo de membrana enrollada en espiral adyacente (véanse, por ejemplos, los documentos US6632356 y US8425773). En otra realización, para evitar la mezcla de la alimentación que ha sido tratada por el biorreactor con la alimentación que no ha sido tratada, la tapa extrema puede proporcionar sellos para conectarse con cámaras de recogida dentro del recipiente de baja presión. En otra realización, la tapa extrema puede proporcionar sellos y/o características de bloqueo para conectarse a biorreactores adyacentes.

La periferia externa del biorreactor (52) es preferiblemente cilíndrica y está dimensionada para caber dentro de un recipiente de presión. En una realización preferida, el biorreactor tiene un diámetro externo dentro del 10% de una distancia seleccionada de 185 mm y 370 mm. Estas dimensiones pueden ser similares a las de módulos de membrana enrollada en espiral de diámetro de 20,3 cm (8 pulgadas) estándar y permiten que el biorreactor encaje dentro de las dimensiones más comunes de recipientes y tuberías dimensionadas de manera similar. Aunque las caras (64, 66) de rolo del biorreactor (52) cilíndrico pueden ser planas, se pueden usar otras configuraciones. Por ejemplo, cuando el biorreactor (52) que está dentro de un recipiente (73) a presión comprende un puerto lateral para alimentar líquido, se puede obtener un aumento de volumen del biorreactor extendiendo el biorreactor más cerca del extremo aguas arriba del recipiente en ubicaciones que no interfieran con el flujo fuera de los puertos del recipiente.

Una pluralidad de biorreactores (52) está situada dentro de un recipiente de presión común. Los biorreactores se pueden disponer en una disposición en paralelo (Fig. 4) o en serie (Fig. 5); sin embargo, el camino de flujo de fluido a través de los biorreactores es preferiblemente un patrón de flujo paralelo.

5 El recipiente de presión puede ser igual o similar a los descritos en conexión con el conjunto de hiperfiltración. Sin embargo, por razones de claridad, los recipientes a presión usados en el conjunto de biorreactores se caracterizan en la presente memoria como de "baja" presión simplemente debido a sus presiones operativas típicas, por ejemplo, 60 kPa a 600 kPa. Sin embargo, en algunas realizaciones puede ser preferible operar el conjunto de biorreactores a presiones de fluido similares a las usadas en el conjunto de hiperfiltración.

10 La Figura 4 ilustra una realización de un conjunto de biorreactores (72) que incluye un recipiente (73) de baja presión que define una primera (74) y una segunda (76) cámara separadas por un divisor (78) que incluye un primer puerto (80) en comunicación fluida con la primera cámara (74) y el segundo puerto (82) en comunicación fluida con la segunda cámara (76). Los biorreactores (52) enrollados en espiral están colocados en una disposición paralela dentro del recipiente de baja presión con la cara (64) de rolo de entrada de cada biorreactor en comunicación fluida con la primera cámara (76) y la cara (66) de rolo de salida de cada biorreactor en comunicación fluida con la segunda cámara (78). Un camino de flujo de fluido se extiende desde la fuente de alimentación de fluido (no mostrada) hacia el primer puerto (80) del recipiente (73) de baja presión, hacia la primera cámara (74), a través de la cara (64) de rolo de entrada y la cara (66) de rolo de salida de los biorreactores (52), hacia la segunda cámara (76) del recipiente de baja presión y fuera del segundo puerto (82) del recipiente de baja presión.

20 La Figura 5 ilustra una realización de un conjunto de biorreactores (72) que incluye un recipiente (73) de baja presión que incluye una cámara (84) que tiene un primer puerto (80) y un segundo puerto (82). Los biorreactores (52) enrollados en espiral están colocados en una disposición en serie dentro del recipiente (73) de baja presión. Como se indica de manera general por las flechas, un camino de flujo de fluido se extiende desde una fuente de alimentación de fluido (no mostrada) a través del primer puerto (80) y hacia la cámara (84) del recipiente (73) de baja presión, a través de las caras (64) de rolo de entrada y fuera de las caras (66) de rolo de salida de los biorreactores (52), y fuera del segundo puerto (82) del recipiente (73) de baja presión. Como con el dispositivo ilustrado en la Figura 4, el camino de flujo de fluido sigue generalmente un patrón de flujo paralelo a través de los biorreactores. (El camino de flujo de fluido se divide en dos o más caminos "paralelos" antes de la recombinación). Según la invención, los biorreactores (52) incluyen un conducto (70) central como se ilustra en la Figura 3B, en donde los conductos (70) de los biorreactores (52) están en comunicación fluida unos con otros y con la salida (82).

30 La Figura 6 ilustra esquemáticamente una realización del conjunto de filtración (86) que incluye una pluralidad de conjuntos de biorreactores (72, 72') adaptados para la conexión a una fuente de fluido (88) de alimentación presurizada y colocadas aguas arriba de una pluralidad de conjuntos de hiperfiltración (38). Fluidos de alimentación representativos incluyen agua salobre, agua de mar y aguas residuales. El conjunto puede incluir una o más bombas (90, 92) para producir la presión de fluido deseada. Preferiblemente, una bomba (92) existe al menos entre un recipiente (73) de baja presión para biorreactores (52) y un recipiente (40) de alta presión para módulos (2) de membrana de hiperfiltración. El conjunto (86) incluye un camino de flujo de fluido (generalmente indicado por flechas) que se extiende desde la fuente (88) de alimentación de fluido hasta los primeros puertos (80) de los recipientes (73) de baja presión, a través de los biorreactores (52) y fuera del segundo puerto (82), hacia los puertos (42) de alimentación de los recipientes (40) de alta presión, a través de los módulos (2) de membrana y fuera de los puertos (43) de concentrado y los puertos (44) de permeado. El concentrado (43') y el permeado (44') de una pluralidad de conjuntos de hiperfiltración (38) se pueden combinar y, opcionalmente, someter a un tratamiento adicional, por ejemplo, tratamiento adicional con conjuntos de hiperfiltración (no mostrados). Los conjuntos de biorreactores (72) y los conjuntos de hiperfiltración (38) se pueden conectar por medio de tuberías, válvulas, sensores de presión, etc. estándar. En una realización preferida, los conjuntos de biorreactores y los conjuntos de hiperfiltración están dimensionados de manera que la caída de presión para el flujo a través de un conjunto de biorreactores es menor que el 10% de la caída de presión a través de un conjunto de hiperfiltración (como se mide al inicio usando conjuntos no ensuciados usando agua pura a 25°C y una tasa de flujo a través del conjunto o conjuntos de hiperfiltración de 24,9 l/m<sup>2</sup>·h (15 gfd). En una realización preferida del sistema de filtración, el área total de la superficie de biocrecimiento dentro del conjunto o conjuntos de biorreactores es mayor que la suma total del área de membrana contenida dentro del conjunto o conjuntos de hiperfiltración de plomo (primero en serie) en la etapa posterior de recipientes de alta presión paralelos. Los conjuntos de hiperfiltración se operan preferiblemente en una recuperación de permeado de al menos el 90% y más preferiblemente el 95%. Este alto nivel de operación de recuperación de permeado es sostenible debido a la prevención de bioensuciamiento proporcionado por el conjunto de biorreactores aguas arriba.

55 En la realización mostrada en la Figura 6, las válvulas (94) se colocan cerca del primer y segundo puertos (80, 82) de cada conjunto de biorreactores (72). Las válvulas (94) permiten que un conjunto de biorreactores (72) se aisle de una fuente común de fluido (88) de alimentación presurizado y otros conjuntos de biorreactores (72'). De esta forma, un conjunto de biorreactores (72) individual se puede sacar fuera de línea mientras los otros conjuntos de biorreactores (72') permanecen en operación con el fluido de alimentación que pasa a través de los mismos. En algunas realizaciones, se puede conectar un sistema de limpieza portátil a conjuntos de biorreactores (72) aislados. En la Figura 6, el conjunto de filtración (86) incluye un conjunto de limpieza (96) opcional que incluye un camino de flujo de limpieza que se extiende desde el primer puerto (80) de un conjunto de biorreactores (72), a través de una



fuelle de agente (98) de limpieza, al segundo puerto (82) y a través de los biorreactores (52) individuales dentro de un recipiente (73) de baja presión para salir del conjunto (72) en el primer puerto (80).

5 Un conjunto de biorreactores (72) puede alternar entre un modo operativo y un modo de limpieza. En el modo operativo, el fluido del primer puerto (80) pasa a través de biorreactores (52) paralelos, desde la cara (64) de rolo de entrada hasta la cara (66) de rolo de salida, que sale del conjunto de biorreactores en su segundo puerto (82). El camino de flujo de limpieza se puede invertir, o se pueden usar combinaciones de direcciones de flujo. El conjunto de limpieza puede incluir una bomba (100) y un conjunto de válvula (102) separados. El conjunto de limpieza (96) y el camino de flujo relacionado están aislados de los conjuntos de hiperfiltración (38), y como tal, se puede usar un intervalo más amplio de agentes de limpieza sin comprometer la integridad de las membranas de los conjuntos de hiperfiltración (38). Agentes de limpieza representativos incluyen soluciones ácidas que tienen un pH de menos de 2, soluciones básicas que tienen un pH mayor que 12, soluciones que incluyen biocidas, soluciones acuosas a temperatura elevada (por ejemplo, mayor que 40°C, 60°C u 80°C) y oxidantes, por ejemplo, soluciones 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 (1 a 10 segundos) dentro del biorreactor; más preferiblemente, la residencia promedio es menor que 5 segundos dentro del biorreactor.

20 Después de la limpieza, el conjunto del biorreactor (72) se puede enjuagar, por ejemplo, con uno o más de agua limpia, fluido de alimentación o una solución de inoculación que incluya microorganismos de una manera similar a la descrita con respecto al conjunto de limpieza. La solución de inoculación puede incluir líquido previamente extraído del conjunto de biorreactores (por ejemplo, antes o durante la limpieza). También se puede dosificar un nutriente durante al menos una parte del modo operativo. En una realización preferida, la diferencia de presión a través de un biorreactor (52) o conjunto de biorreactores (72) se mide en el nodo operativo, y la conmutación desde el modo operativo al modo de limpieza se activa por la diferencia de presión medida. Preferiblemente, la diferencia de presión a través del conjunto de biorreactores (72) es menor que 10 psi (más preferiblemente menor que 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 exceda 10 psi, o más preferiblemente después de que exceda 20 psi.

30 Se han descrito muchas realizaciones de la invención y, en algunos casos, ciertas realizaciones, selecciones, intervalos, componentes u otras características se han caracterizado como que son "preferidas". Tales designaciones de características "preferidas" no se deberían interpretar de ninguna manera como un aspecto esencial o crítico de la invención. Por ejemplo, se apreciará que un biorreactor enrollado en espiral tiene ventajas, pero que diversas configuraciones alternativas podrían incluir fibra hueca, placa y marco, un lecho lleno de partículas y un lecho fluidizado. Para otras geometrías, todavía se prefiere que el biorreactor sea cilíndrico, que los canales (68) de flujo que se extienden a través del biorreactor tengan un volumen vacío de al menos un 65% (más preferiblemente un 75% o incluso un 85%) del volumen del biorreactor, y que la relación del área de superficie de biocrecimiento a volumen de biorreactor para cada biorreactor esté preferiblemente entre 15 cm<sup>-1</sup> y 150 cm<sup>-1</sup> (más preferiblemente entre 20 cm<sup>-1</sup> y 100 cm<sup>-1</sup>).

**REIVINDICACIONES**

1. Un conjunto de filtración (86) que comprende:

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

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

b) una pluralidad de módulos (2) de membrana de hiperfiltración enrollada en espiral dispuestos en serie situada dentro del recipiente (40) de alta presión y que comprende cada uno al menos una envoltura de membrana enrollada (4) alrededor de un tubo (8) de permeado que forma un camino de permeado al puerto (44) de permeado;

10 ii) un conjunto de biorreactores (72) que comprende:

a) un recipiente (73) de baja presión que comprende un primer (80) y un segundo (82) puerto,

15 b) una pluralidad de biorreactores (52) enrollados en espiral situados dentro del recipiente (73) de baja presión con cada biorreactor que comprende una lámina (54) plana que tiene dos superficies (56, 56') de biocrecimiento opuestas y un separador (58) de alimentación enrollado en espiral alrededor de un eje (Y) para formar una periferia externa cilíndrica que se extiende a lo largo del eje (Y) desde un primer extremo (60) hasta un segundo extremo (62) con una cara (64) de rolo de entrada situada cerca del primer extremo (60) y una cara (66) de rolo de salida situada cerca del segundo extremo (62) y un conducto (70) central, en donde los conductos (70) centrales de los biorreactores (52) están en comunicación fluida unos con otros y con el segundo puerto (82); y

20 iii) un camino de flujo de fluido adaptado para la conexión de fluido con una fuente (88) de alimentación de fluido y que pasa:

a) hacia el primer puerto (80) del recipiente (73) de baja presión, a través de las entradas de las caras (64) de rolo y fuera de las caras (66) de rolo de salida de los biorreactores (52), a través de los conductos (70) centrales y fuera del segundo puerto (82) del recipiente (73) de baja presión, y

25 b) hacia el puerto (42) de alimentación del recipiente (40) de alta presión, a través de los módulos (2) de membrana de hiperfiltración enrollada en espiral y fuera del puerto (43) de concentrado y el puerto (44) de permeado.

30 2. El conjunto de filtración (86) de la reivindicación 1 en donde el camino de flujo de fluido sigue un patrón de flujo paralelo a través de los biorreactores (52) del conjunto de biorreactores (72) y un patrón de flujo en serie a través de los módulos de membrana (2) del conjunto de hiperfiltración (38).

3. El conjunto de filtración (86) de la reivindicación 1 en donde:

el recipiente (73) de baja presión define una primera (74) y segunda (76) cámara separadas por un divisor (78) en donde el primer puerto (80) está en comunicación fluida con la primera cámara (74) y el segundo puerto (82) está en comunicación fluida con la segunda cámara (76);

35 los biorreactores (52) se colocan en una disposición paralela dentro del recipiente (73) de baja presión con la cara (64) de rolo de entrada de cada biorreactor (52) en comunicación fluida con la primera cámara (74) y la cara (66) de rolo de salida de cada biorreactor (52) en comunicación fluida con la segunda cámara (76); y

40 el camino de flujo de fluido se extiende: a) hacia el primer puerto (80) del recipiente (73) de baja presión, hacia la primera cámara (74), a través de la cara (64) de rolo de entrada y la cara (66) de rolo de salida de los biorreactores (52), hacia la segunda cámara (76) del recipiente (73) de baja presión, y fuera del segundo puerto (82) del recipiente (73) de baja presión, y b) hacia el puerto (42) de alimentación del recipiente (40) de alta presión, a través de los módulos (2) de membrana de hiperfiltración enrollada en espiral y fuera del puerto (43) de concentrado y del puerto (44) de permeado.

45 4. El conjunto de filtración (86) de la reivindicación 1 en donde: el recipiente (73) de baja presión comprende una cámara (84) interna cilíndrica en comunicación fluida con el primer (80) y el segundo (82) puerto y los biorreactores (52) se colocan en una disposición en serie dentro de la cámara interna cilíndrica del recipiente (73) de baja presión.

5. El conjunto de filtración (86) de la reivindicación 1 que comprende al menos un dispositivo de microfiltración o de ultrafiltración situado a lo largo del camino de flujo de fluido en una ubicación que incluye al menos una de:

i) entre el conjunto de hiperfiltración (38) y el conjunto de biorreactores (72), y

50 ii) entre una fuente (88) de alimentación de fluido y el conjunto de biorreactores (72).

6. El conjunto de filtración (86) de la reivindicación 1 que comprende además una pluralidad de conjuntos de hiperfiltración (38) cada uno en comunicación fluida con el conjunto de biorreactores (72), en donde el camino de flujo de fluido se extiende desde el segundo puerto (82) del recipiente (73) de baja presión del conjunto de biorreactores (72) y hacia el puerto (42) de alimentación de cada conjunto de hiperfiltración (38).
- 5 7. El conjunto de filtración (86) de la reivindicación 1 que comprende además una pluralidad de conjuntos de biorreactores (52) cada uno en comunicación fluida con el conjunto de hiperfiltración (38), en donde el camino de flujo de fluido se extiende desde el segundo puerto (82) de cada conjunto de biorreactores (72) y hacia el puerto (42) de alimentación del conjunto de hiperfiltración (38).
- 10 8. El conjunto de filtración (86) de la reivindicación 1 en donde la lámina (54) plana del biorreactor (52) es permeable y las dos superficies (56, 56') de biocrecimiento opuestas están en comunicación fluida una con otra.

Fig 1

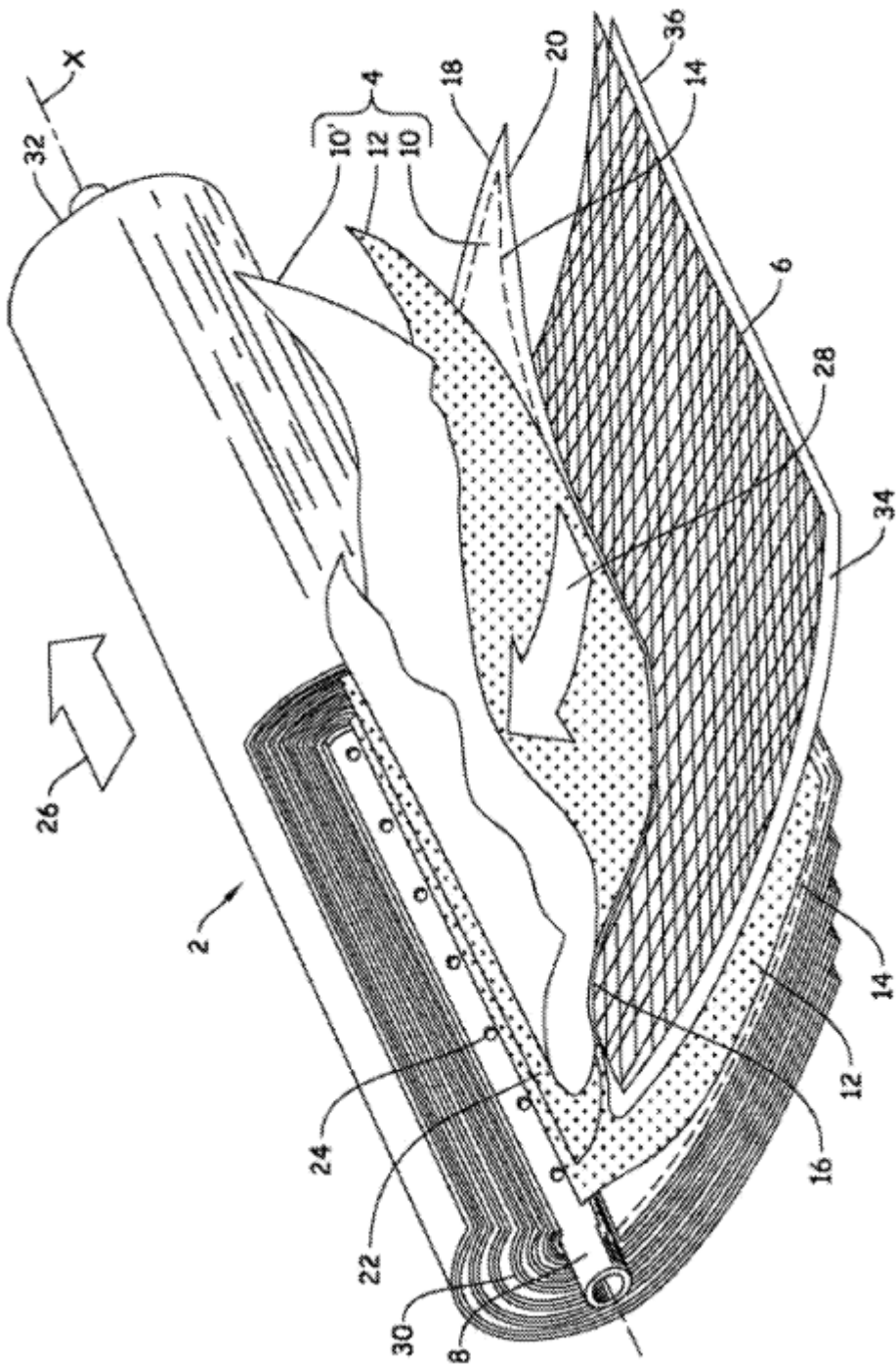


Fig 2

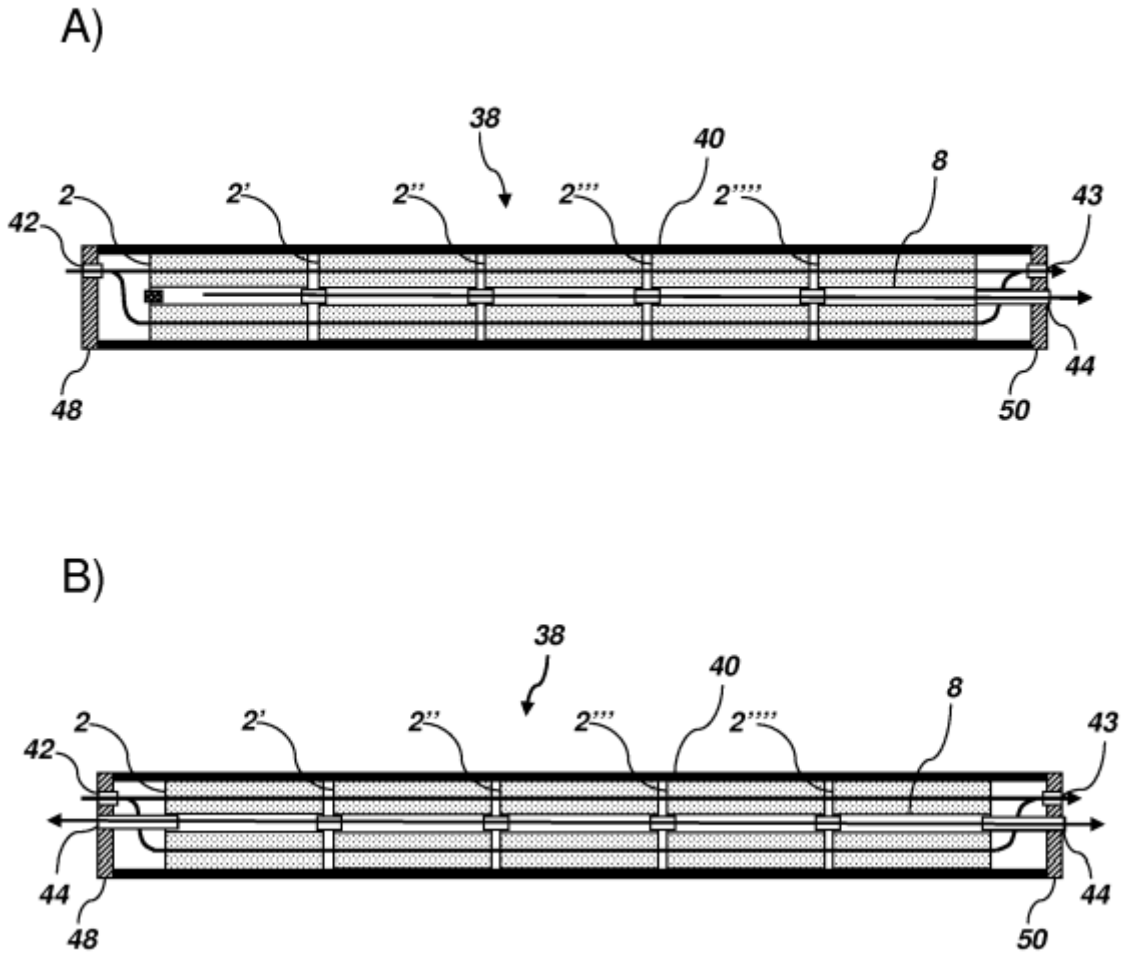


Fig 3

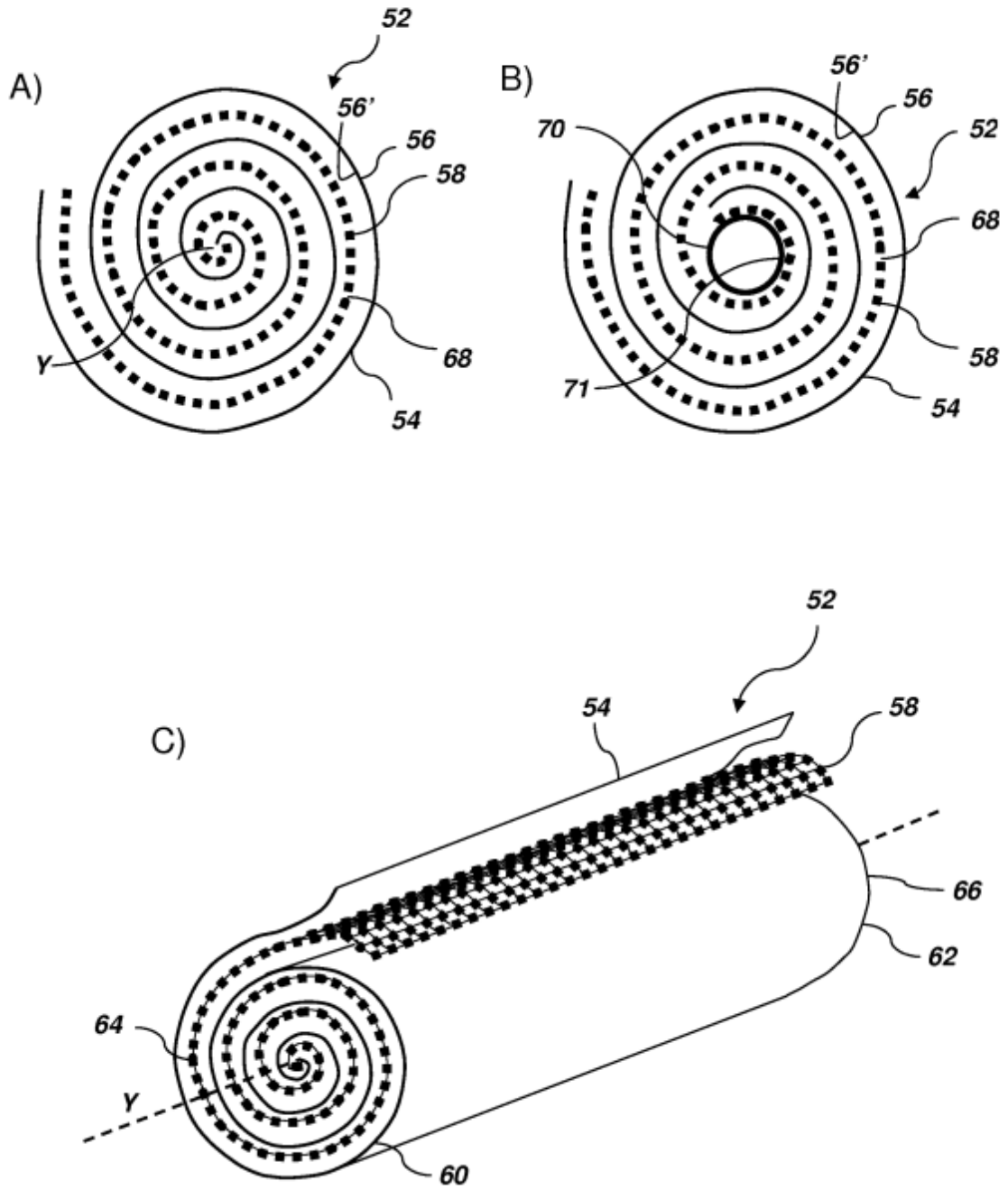


Fig 4

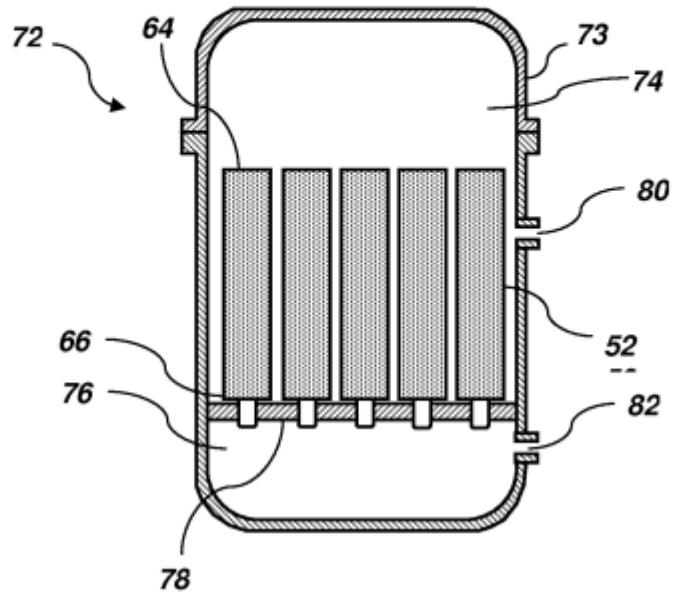


Fig. 5

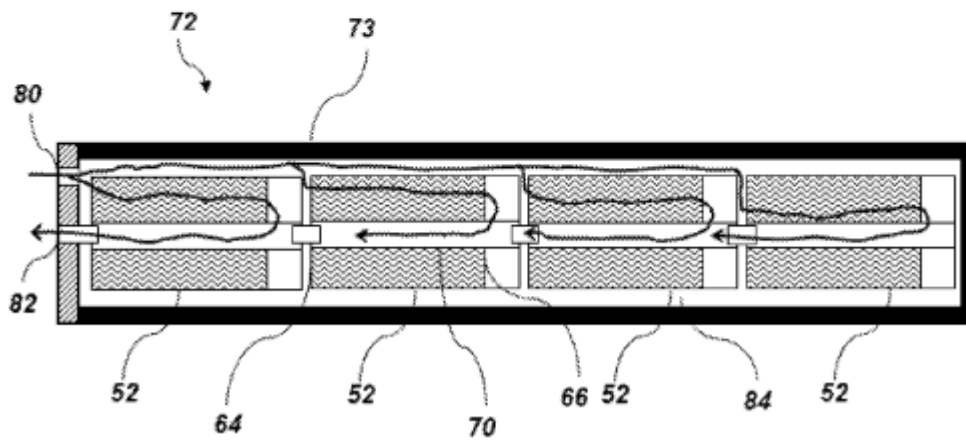


Fig 6

