

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 694 377**

51 Int. Cl.:

**B01D 61/04** (2006.01)

**B01D 63/10** (2006.01)

**B01D 63/12** (2006.01)

**C02F 1/44** (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/US2015/051295**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.03.2016 WO16048923**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.09.2015 E 15777778 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.08.2018 EP 3197590**

54 Título: **Conjunto de filtración enrollado en espiral que incluye un biofiltro integral**

30 Prioridad:

**24.09.2014 US 201462054408 P**

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

**20.12.2018**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 694 377 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 enrollado en espiral que incluye un biofiltro integral

### Campo

5 La invención está dirigida a conjuntos enrollados en espiral que incluyen uno o más módulos de membrana enrollados en espiral conectados en serie con un biorreactor integral dentro de un recipiente común.

### Introducción

Los conjuntos de filtración enrollados en espiral se usan en una amplia variedad de separaciones de fluidos. En una realización convencional, uno o más módulos de membrana enrollados en espiral ("elementos") están dispuestos en serie e interconectados dentro de un recipiente a 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 membrana enrollados en espiral a menudo se deteriora con el tiempo debido a la incrustación. La incrustación involucra la formación de desechos en varias superficies dentro del módulo. Los tipos más comunes de incrustación incluyen: exfoliación, deposición coloidal o de partículas, incrustación orgánica (adsorción de compuestos orgánicos) y bioincrustación (crecimiento de una biopelícula en varias superficies dentro del módulo). La bioincrustación se gestiona típicamente mediante la introducción de 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 puede tratarse previamente con un biorreactor para reducir los nutrientes que de otro modo contribuirían a la bioincrustación dentro del conjunto enrollado en espiral. Se describen ejemplos en los documentos US2012/0193287; US7045063, EP127243; y H.C. Fleming 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 trata previamente con un biorreactor en un lugar aguas arriba del conjunto enrollado en espiral. Las referencias adicionales incluyen: US2002/074277, US2012/298578, JP2001/239136, DE3413551, DE102012011816 y GB1509712.

### Compendio

25 La presente invención está dirigida a un conjunto de filtración enrollado en espiral que comprende:

- i) un recipiente a presión que comprende un orificio de alimentación, un orificio de concentrado y un orificio de permeado);
- ii) al menos un módulo de membrana enrollada en espiral (2) que comprende al menos una envoltura de membrana enrollada alrededor de un tubo de permeado que forma una vía de permeado hacia el orificio de permeado; y
- 30 iii) un biorreactor que tiene una periferia exterior cilíndrica que se extiende a lo largo de un eje desde un primer extremo hasta un segundo extremo, una entrada situada cerca del primer extremo y una salida situada cerca del segundo extremo y comprende una lámina plana permeable que tiene dos superficies de crecimiento biológico y un espaciador de alimentación que definen canales de flujo que se extienden a lo largo de las superficies de crecimiento biológico de la lámina plana desde la entrada hasta la salida del biorreactor; en el que la lámina plana se
- 35 enrolla en espiral alrededor de una varilla sólida o conducto hueco sellado de la comunicación fluida con la lámina plana y el espacio de alimentación y se conecta en serie al tubo de permeado del módulo de membrana enrollado en espiral y; en donde el módulo de membrana enrollada en espiral y el biorreactor están dispuestos en serie dentro del recipiente a presión.

### Breve descripción de los dibujos

40 Las figuras no están a escala e incluyen vistas idealizadas para facilitar la descripción. Donde ha sido posible, se han utilizado números a lo largo de las figuras y una descripción escrita para designar las mismas características o similares.

La figura 1 es una vista en perspectiva, parcialmente recortada, de un módulo de membrana enrollado en espiral.

Las figuras 2A-B son vistas en alzado de biorreactores enrollados en espiral.

45 La figura 2C es una vista en perspectiva de un biorreactor enrollado en espiral.

Las figuras 3A-D son vistas en sección transversal de varias realizaciones de la presente invención.

Las figuras 4A-D son vistas en sección transversal de varias realizaciones durante una operación de limpieza.

### Descripción detallada

50 La invención incluye un conjunto de filtración enrollado en espiral que incluye un recipiente a presión que incluye un orificio de alimentación, un orificio de concentrado y al menos un orificio de permeado. Un biorreactor y al menos

uno, pero preferiblemente una pluralidad de módulos de membrana enrollados en espiral está dispuesto en serie dentro del recipiente a presión de manera que el líquido de alimentación fluye sucesivamente a través tanto del biorreactor como del módulo o módulos de membrana enrollados en espiral. El biorreactor tiene una periferia exterior cilíndrica que se extiende a lo largo de un eje desde un primer extremo hasta un segundo extremo, con una entrada situada cerca del primer extremo y una salida situada cerca del segundo extremo. En una realización preferida, el biorreactor tiene una configuración enrollada en espiral que comprende: una lámina plana que tiene dos superficies de crecimiento biológico opuestas y un espaciador de alimentación enrollado en espiral alrededor de un eje; en el que el espaciador de alimentación define canales de flujo que se extienden a lo largo de las superficies de crecimiento biológico de la lámina plana de la entrada a la salida del biorreactor. El líquido de alimentación que entra al orificio de alimentación del recipiente fluye hacia la entrada del biorreactor y sale por la salida. Una porción del líquido fluye a través de los módulos de membranas enrollados en espiral para salir del recipiente en el orificio de concentrado con el resto del líquido que pasa a través de las membranas para salir del recipiente en un orificio de permeado. Este diseño se denomina "integral" porque el biorreactor y los módulos de membrana enrollados en espiral están dispuestos en serie dentro de un recipiente a presión común.

Los recipientes a presión usados en la presente invención no están particularmente limitados, pero preferiblemente incluyen una estructura sólida capaz de soportar presiones asociadas con las condiciones de operación. La estructura del recipiente preferiblemente incluye una cámara que tiene una periferia interior correspondiente a la de la periferia externa de los módulos de membrana enrollados en espiral que se han de alojar en ella. La longitud de la cámara corresponde preferiblemente a la longitud combinada del biorreactor y de los módulos de membrana enrollados en espiral que han de ser cargados secuencialmente (axialmente). Preferiblemente, el recipiente contiene de 2 a 8 módulos de membrana enrollados en espiral, véase el documento US 2007/0272628. El recipiente a presión también puede incluir una o más placas de extremo que sellan la cámara una vez cargada con módulos. El recipiente incluye además orificios de fluido para alimentación y concentrado situados en o cerca de los extremos opuestos del recipiente, y al menos un orificio de permeado. Comúnmente, los orificios de permeado están ubicados en ambos extremos opuestos del recipiente. La orientación del recipiente a presión no está particularmente limitada, por ejemplo, tanto orientaciones horizontales como verticales pueden ser usadas. Ejemplos de recipientes a presión aplicables, disposiciones de módulos y carga se describen en los documentos: US 6074595, US 6165303, US 6299772 y US 2008/0308504. Los fabricantes de recipientes a presión incluyen Pentair de Minneapolis MN, Bekaert de Vista CA y Bel Composite de Beer Sheva, Israel.

Un recipiente a presión individual o un grupo de recipientes que funcionan juntos, cada uno equipado con uno o más módulos de membrana enrollados en espiral, se pueden denominar "tren" o "paso". El o los recipientes dentro del paso pueden estar dispuestos 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. Se disponen múltiples etapas en serie, por lo que el fluido de concentrado procedente de una etapa de aguas arriba se usa como fluido de alimentación para la etapa de 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 una vía de fluido como se describe en los documentos: US4156645, US6187200, US7144511 y WO2013/130312.

Los módulos de membrana enrollados en espiral ("elementos") útiles en la presente invención no están particularmente limitados e incluyen aquellos diseñados para su uso en ósmosis inversa (OI), nanofiltración (NF), ultrafiltración (UF) y microfiltración (MF). Sin embargo, la invención encuentra una utilidad particular en aplicaciones OI y NF. (OI y NF pueden denominarse colectivamente como hiperfiltración). En general, los módulos de membrana enrollados en espiral incluyen una o más envolturas de membrana y láminas espaciadoras de alimentación enrolladas alrededor de un tubo de recogida de permeado. Las membranas OI utilizadas para formar envolturas son relativamente impermeables a prácticamente todas las sales disueltas y típicamente rechazan más de aproximadamente el 95% de las sales que tienen iones monovalentes tales como el cloruro de sodio. Las membranas de OI también suelen rechazar más de aproximadamente el 95% de las moléculas inorgánicas, así como las moléculas orgánicas con pesos moleculares superiores a aproximadamente 100 Daltons. Las membranas NF son más permeables que las membranas OI y normalmente rechazan menos del 95% de las sales que tienen iones monovalentes, mientras que rechazan más del 50% (y a menudo más del 90%) de las sales que tienen iones divalentes, dependiendo de la especie de ion divalente. Las membranas de NF también rechazan típicamente partículas en el rango nanométrico, así como moléculas orgánicas que tienen pesos moleculares mayores que aproximadamente 200 a 500 Daltons.

En la figura 1 se muestra generalmente un módulo representativo de membrana enrollada en espiral. El módulo (2) se forma enrollando concéntricamente una o más envolturas de membrana (4) y la(s) lámina(s) espaciadora(s) ("espaciadores de alimentación") (6) alrededor de un tubo (8) de recogida de permeado. Cada envoltura de membrana (4) comprende preferiblemente dos secciones sustancialmente rectangulares de lámina (10, 10') de membrana. Cada sección de lámina (10, 10') de membrana tiene una membrana o lado frontal (34) y soporte o lado posterior (36). La envoltura de membrana (4) está formada superponiendo las 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 espaciadora del canal (12) de permeado ("separador de permeado"). Esta estructura de tipo sándwich está asegurada junta, por ejemplo, por sellante (14), a lo largo de tres bordes (16, 18, 20) para formar una envoltura (4) mientras que un cuarto borde, es decir, el "borde proximal" (22) hace tope en el tubo (8) de recogida de permeado de modo que la parte interior de la envoltura (4) (y el espaciador de permeado opcional (12)) está en comunicación

fluida con una pluralidad de aberturas (24) que se extienden a lo largo la longitud del tubo (8) de recogida de permeado. El módulo (2) comprende preferiblemente una pluralidad de envolturas de membrana (4) separadas por una pluralidad de láminas espaciadoras (6) de alimentación. En la realización ilustrada, se forman envolturas de membrana (4) al unir las superficies del lado posterior (36) de paquetes de hojas de membrana colocadas adyacentemente. Un paquete de hojas de membrana comprende una lámina (10) de membrana sustancialmente rectangular plegada sobre sí misma para definir dos "hojas" de membrana en donde, los lados frontales (34) de cada hoja están enfrentados entre sí y el pliegue está alineado axialmente con el borde proximal (22) de la envoltura de membrana (4), es decir, paralelo al tubo (8) de recogida de permeado. Se muestra una lámina (6) espaciadora de alimentación entre lados frontales enfrentados (34) de la lámina (10) de membrana plegada. La lámina (6) espaciadora de alimentación facilita el flujo del fluido de alimentación en una dirección axial (es decir, paralelo con el tubo (8) de recogida de permeado a través del módulo (2). Si bien no se muestra, también se pueden incluir capas intermedias adicionales en el conjunto. Los ejemplos representativos de paquetes de hojas de membrana y su fabricación se describen adicionalmente en el documento US 7875177.

Durante la fabricación del módulo, las láminas (12) espaciadoras de permeado pueden unirse alrededor de la circunferencia del tubo (8) de recogida de permeado con paquetes de hojas de membrana intercaladas entre ellas. Los lados posteriores (36) de hojas (10, 10') de membrana posicionadas adyacentes están sellados alrededor de partes de su periferia (16, 18, 20) para encerrar la lámina (12) espaciadora de permeado para formar una envoltura de membrana (4). En el documento US 5538642 se describen técnicas adecuadas para unir la lámina espaciadora de permeado al tubo de recogida de permeado. La(s) envoltura(s) de membrana (4) y espaciador(es) (6) de alimentación se enrollan o "dan vueltas" concéntricamente alrededor del tubo (8) de recogida de permeado para formar dos caras (30, 32) opuestas de la voluta en los extremos opuestos y el conjunto de espiral resultante se mantiene en su lugar, como por cinta adhesiva u otros medios. Las caras (30, 32) de la voluta se pueden recortar y se puede aplicar opcionalmente un sellante en la unión entre la cara (30, 32) de la voluta y el tubo (8) de recogida de permeado, como se describe en el documento US 7951295. Fibras de vidrio largas se pueden enrollar alrededor del módulo parcialmente construido y se aplica resina (por ejemplo, epoxi líquido) y se endurece. En una realización alternativa, se puede aplicar cinta adhesiva sobre la circunferencia del módulo enrollado como se describe en el documento US 8142588. Los extremos de los módulos pueden estar equipados con un dispositivo o tapa de extremo (no mostrada) contra el plegado telescópico diseñado para evitar que las envolturas de membrana se desplacen bajo la diferencia de presión entre los extremos de la voluta de entrada y salida del módulo. Los 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 de extremo que incluyen una estructura de bloqueo para evitar el movimiento axial relativo entre tapas de extremo comprometidas. Tal estructura de bloqueo entre tapas de extremo puede acoplarse alineando tapas de extremo adyacentes de manera que una o más salientes o cierres que se extienden radialmente hacia dentro desde el interior del cubo externo de una tapa de extremo entren en receptáculos correspondientes dispuestos alrededor del cubo externo de la cara de la tapa de extremo. Las tapas de extremo se acoplan haciendo girar una tapa de extremo con respecto a la otra hasta que los salientes o "cierres" contactan o "enganchan" con una estructura correspondiente del receptáculo. Este tipo de tapa de extremo de bloqueo está disponible en The Dow Chemical Company bajo la marca ILEC™ y se describe con más detalle en los documentos US 6632356 y US 8425773. Si no se usan dichas tapas de extremo, se pueden usar tubos de interconexión para evitar la mezcla del permeado con la alimentación. Para evitar que el fluido de alimentación puentee los elementos dentro del recipiente, se pueden colocar varios tipos de sellos (por ejemplo, tipo Chevron, juntas tóricas, copa en U, etc.) entre la periferia exterior de los elementos y la periferia interior del recipiente. Ejemplos representativos se describen en los documentos: US8758489, US 8388842, US 8110016, US 6299772, US 6066254, US 5851267, US 8377300 y WO2014066035. En algunas realizaciones, los conjuntos de sellado están equipados con un baipás que permite que un fluido de alimentación limitado fluya alrededor de los elementos, por ejemplo, véanse los documentos US 5128037, US 7208088 y US 8778182.

Los materiales para construir diversos componentes de módulos de membrana enrollados en espiral son bien conocidos en la técnica. Los sellantes adecuados para sellar las envolturas de membrana incluyen uretanos, resinas epoxi, siliconas, acrilatos, adhesivos de fusión en caliente y adhesivos curables por UV. Aunque, menos común, pueden usarse también otros medios de sellado tales como la aplicación de calor, presión, soldadura ultrasónica y cinta adhesiva. Los tubos de recogida de permeado están hechos típicamente de materiales plásticos 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 separadores de permeado. Se describen separadores de permeado adicionales en el documento US8388848. Los espaciadores de alimentación representativos incluyen polietileno, poliéster y materiales de malla de polipropileno tales como los disponibles comercialmente con el nombre comercial VEXAR™ de Conwed Plastics. Los espaciadores de alimentación preferidos se describen en el documento US 6881336. Alternativamente, el espaciador de alimentación puede comprender una pluralidad de regiones elevadas formadas en la lámina de membrana, por ejemplo, un estampado en relieve formado por una matriz o rodillo, esferas o líneas de polímero depositadas sobre la lámina de membrana, una película corrugada, etc. (véanse, por ejemplo, los documentos US 6632357 y US 7311831).

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, poliétersulfona, poliamidas, fluoruro de polivinilideno, etc.

Una lámina de membrana preferida incluye membranas de tipo de FilmTec Corporación FT-30™ es decir, una membrana compuesta de lámina plana que comprende una capa de refuerzo (cara posterior) de una banda de refuerzo no tejida (por ejemplo, una tela no tejida tal como tejido de fibra de poliéster disponible en Awa Paper Company), una capa intermedia que comprende un soporte poroso que tiene un espesor típico de aproximadamente 25-125 µm y capa discriminante superior (lado frontal) que comprende una capa de poliamida de película delgada que tiene un espesor típicamente inferior de aproximadamente 1 micra, por ejemplo de 0,01 micras a 1 micra, pero más comúnmente de alrededor de 0,01 a 0,1 µm. La capa de refuerzo no está particularmente limitada, pero preferiblemente comprende una tela no tejida o una manta de banda fibrosa que incluye fibras que pueden estar orientadas. Alternativamente, se puede usar una tela tejida como tela de vela. Los ejemplos representativos se describen en los documentos US 4214994; US 4795559; US 5435957; US 5919026; US 6156680; US 8608964 y US 7048855. El soporte poroso es típicamente un material polimérico que tiene tamaños de poro que son de tamaño suficiente para permitir el paso esencialmente no restringido de permeado, pero no lo suficientemente grande como para interferir con el puenteo de una capa de película de poliamida fina formada sobre el mismo. Por ejemplo, el tamaño de poro del soporte oscila preferiblemente de aproximadamente 0,001 a 0,5 µm. Los ejemplos no limitantes de soportes porosos incluyen los 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 discriminante 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 microporoso como se describe en los documentos US 4277344 y US 6878278.

Las flechas mostradas en la figura 1 representan las direcciones aproximadas de flujo (26, 28) de los fluidos de alimentación y permeado (también denominado "producto" o "filtrado") durante el funcionamiento. El fluido de alimentación entra al módulo (2) desde una cara (30) de entrada de la voluta y fluye a través del o de los lados frontales (34) de la lámina o láminas de membrana y sale del módulo (2) en la cara (32) opuesta de salida de la voluta. El fluido permeado fluye a lo largo de la lámina (12) espaciadora de permeado en una dirección aproximadamente perpendicular al flujo de alimentación según lo indicado por la flecha (28). Las vías de flujo de fluido reales varían con los detalles de la construcción y las condiciones de funcionamiento.

Aunque hay módulos disponibles en una variedad de tamaños, un módulo de OI industrial común está disponible con un diámetro estándar 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 enrollan de 26 a 30 envueltas de membrana individuales alrededor del tubo de recogida de permeado (es decir, para tubos de recogida de permeado que tienen un diámetro exterior de aproximadamente 1,5 a 1,9 pulgadas (3,8 cm - 4,8 cm)). También se pueden usar módulos menos convencionales incluyendo los descritos en el documento US8496825.

El diseño o configuración del biorreactor para uso en la presente invención no está particularmente limitado. Por ejemplo, se pueden usar configuraciones de enrollado en espiral, fibra hueca, lecho fluidificado y placa y tipo de bastidor, pero en cada caso. la periferia externa del biorreactor es preferiblemente cilíndrica y está dimensionada para ajustarse dentro del recipiente de presión que contiene módulos de membrana enrollados en espiral. Preferiblemente, el biorreactor tiene un diámetro exterior dentro del intervalo del 10% de una distancia seleccionada entre 185 mm y 370 mm. Estas dimensiones son similares a las de los módulos de membrana enrollados en espiral de 8 pulgadas (20,3 cm) de diámetro estándar y permiten que el biorreactor se ajuste dentro de las dimensiones más comunes de recipientes y tuberías de tamaño similar. Aunque los extremos de entrada y salida del biorreactor cilíndrico pueden ser planos, se pueden usar otras configuraciones. Por ejemplo, cuando el recipiente comprende un orificio lateral para el líquido de alimentación, se puede obtener un mayor volumen del biorreactor extendiendo el biorreactor más cerca del extremo de aguas arriba del recipiente en ubicaciones que no interfieren con el flujo de salida del orificio de alimentación del recipiente. En una realización preferida, el recipiente tiene un orificio de entrada lateral y la unidad de biorreactor se extiende (por ejemplo, un extremo en forma de cuña cilíndrica o de cono) en una región del recipiente en una posición axial paralela al orificio de entrada.

La periferia externa del biorreactor puede ser acabada de la misma manera que la descrita anteriormente con respecto a los módulos de membrana enrollados en espiral, por ejemplo, cinta adhesiva, fibra de vidrio. etc. El biorreactor puede estar encerrado alternativamente en una carcasa moldeada, termo-retractilada, o extruida (por ejemplo, de PVC o CPVC). El diámetro externo también es preferiblemente el mismo o similar al de los módulos de membrana enrollados en espiral a fin de proporcionar un ajuste similar dentro del recipiente a presión. Sin embargo, pueden disponerse sellos de salmuera alrededor del biorreactor para compensar las diferencias en el diámetro exterior en comparación con los módulos de membrana enrollados en espiral. Alternativa o adicionalmente, el biorreactor puede incluir dispositivos contra el plegado telescópico que se usan comúnmente en conexión con módulos de membrana enrollados en espiral. En una realización, el biorreactor incluye una tapa de extremo que se enclava con un módulo de membrana enrollado en espiral adyacente (véanse, por ejemplo, los documentos US6632356 y US8425773).

El biorreactor está preferiblemente dispuesto dentro del recipiente en una ubicación aguas arriba de al menos uno y preferiblemente todos los módulos de membrana enrollados en espiral dentro del recipiente. Con tal disposición, los bionutrientes presentes en el agua de alimentación son consumidos por los microorganismos presentes en el biorreactor y están menos disponibles para los módulos de membrana enrollados en espiral aguas abajo, reduciendo

así la bioincrustación en los módulos de membrana. Debido a que el biorreactor está dentro del recipiente, el espacio se conserva y no se requiere presurización y contención adicional de un biorreactor. Como el biorreactor no sirve como un dispositivo de filtración de membrana, la acumulación de biopelículas dentro del biorreactor tiene poco impacto en la eficiencia de separación de los módulos de membrana enrollados en espiral aguas abajo. Si el crecimiento biológico eventualmente restringe el flujo de alimentación a través del biorreactor, el biorreactor puede limpiarse o reemplazarse.

El biorreactor incluye superficies de crecimiento biológico y canales de flujo que se extienden desde la entrada hasta la salida. El biorreactor tiene preferentemente un tamaño suficiente para proteger los módulos enrollados en espiral aguas abajo. Debido a los caudales relativamente altos deseados en muchas realizaciones de la invención, las superficies de crecimiento pueden definirse como aquellas superficies adyacentes a los canales de flujo que conectan la entrada y la salida del biorreactor. Preferiblemente, el biorreactor tiene un área superficial de crecimiento biológico que es al menos igual, y más preferiblemente al menos 1,5 veces o al menos 2,0 veces, el área superficial de la membrana (expuesta a la alimentación) dentro del módulo adyacente enrollado en espiral. Sin embargo, el área total de la membrana dentro del recipiente es menos importante, de modo que la relación entre el área plana de la lámina dentro del biorreactor y el área de las superficies de membrana expuestas en los módulos de hiperfiltración aguas abajo es preferiblemente menor que 1,0 y más preferiblemente menor que 0,5.

Para operar a elevados caudales mientras se elimina la mayor parte de los bionutrientes que pueden causar incrustaciones en los módulos de membrana enrollados en espiral de aguas abajo, se desea una gran área de crecimiento biológico contactando los canales de flujo, mientras se proporciona aún una resistencia mínima al flujo a través del biorreactor. Preferiblemente, el volumen vacío (volumen no ocupado por un sólido entre las 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 relación de área de crecimiento biológico a volumen de 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 o tubular puede proporcionar superficies de crecimiento biológico, mientras que los canales de flujo pueden ser proporcionados por el espacio entre o por medio de un material espaciador que incluye ranuras o vías de flujo (por ejemplo, material tejido, etc.).

Las figuras 2A, 2B y 2C ilustran varias realizaciones del biorreactor en una configuración enrollada en espiral. Más específicamente, el biorreactor (38) se muestra con una periferia exterior cilíndrica que se extiende a lo largo de un eje (Y) desde un primer extremo (76) hasta un segundo extremo (76') con una entrada (46) situada cerca del primer extremo (76), y una salida (48) situada cerca del segundo extremo (76'). El biorreactor (38) incluye una lámina plana (40) que tiene dos superficies de crecimiento biológico opuestas (50, 50') y un espaciador (42) de alimentación enrollado en espiral alrededor de un eje (Y); donde el espaciador (42) de alimentación define canales de flujo (43) que se extienden a lo largo de las superficies de crecimiento biológico (50, 50') de la lámina plana (40) desde la entrada (46) a la salida (48) del biorreactor (38). El proceso de enrollamiento crea canales de flujo (43) adyacentes a superficies de crecimiento biológico (50, 50') en el lado opuesto de la lámina plana (40).

En la figura 2B, la lámina plana (40) y el espaciador (42) están enrollados en espiral alrededor de un conducto hueco (44). En una realización alternativa no mostrada, el conducto hueco puede reemplazarse con una varilla sólida. Aunque se muestra en la figura 2B como que incluye un conducto hueco (44), el conducto del biorreactor (38) es preferiblemente impermeable y así sellado de la comunicación directa del fluido con la lámina plana (40) y el espaciador (42) de alimentación y está conectado en serie a los tubos (8) de permeado de los módulos enrollados en espiral (2, 2', 2'', 2'''). (Las figuras 3B y 3C ilustran conjuntos con una disposición similar). Por lo tanto, el biorreactor no funciona como un módulo de membrana enrollado en espiral porque la lámina plana no produce un permeado que fluye al interior del conducto. Más bien, la alimentación pasa a una entrada (46) del biorreactor, pasa a lo largo de los canales de flujo del espaciador (42) de alimentación y sale por una salida (48), como generalmente se indica mediante flechas en la figura 2C. Mientras pasa a través del biorreactor (38), el líquido (por ejemplo, agua) entra en contacto con la lámina plana (40) que proporciona una plataforma para que residan los microorganismos. Los nutrientes en la alimentación son consumidos por microorganismos, de modo que el líquido que sale del biorreactor (38) está agotado de sus nutrientes antes de pasar a los módulos de membrana enrollados en espiral aguas abajo (mostrados en la figura 3).

El espaciador (42) de alimentación proporciona preferiblemente canales de flujo (43) de entre 0,1 mm y 1,5 mm, más preferiblemente de entre 0,15 mm y 1,0 mm, entre superficies de crecimiento biológico adyacentes (50, 50'). Un canal de menos de 0,15 mm es ocluido más fácilmente por el 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 para crear un crecimiento biológico que se desea para eliminar nutrientes problemáticos. Al igual que con los módulos de membrana enrollados en espiral (2, 2', 2'', 2'''), el biorreactor (38) enrollado en espiral puede fabricarse con más de una lámina plana y espaciador superpuestos, pero se prefiere usar solo una única lámina plana.

Como se mencionó, la lámina plana (40) del biorreactor (38) comprende dos superficies de crecimiento biológico opuestas (externas) (50, 50'). La lámina plana puede ser impermeable. Alternativamente, para ayudar en la limpieza, las superficies de crecimiento biológico opuestas (50, 50') pueden estar en comunicación fluida entre sí a través de la matriz de la lámina plana (40). Aunque no particularmente limitado, esta lámina plana permeable puede incluir una lámina generalmente impermeable con perforaciones, una membrana UF o MF, material tejido o no tejido, matriz

fibrosa, etc. Ejemplos de materiales adecuados se describen 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 de crecimiento biológico (50, 50') en ambas caras externas que están separadas por un espaciador (42) de alimentación. Los materiales preferidos incluyen láminas de polímero que tienen tamaños de poro mayores que 0,1 µm o mayores que 10 µm. La lámina de polímero también puede incluir macro poros de tamaños superiores a 10 µm, que facilitan el flujo del fluido perturbador a las regiones incrustadas durante la limpieza. Los polímeros aplicables incluyen, pero no están limitados a, polietileno, polipropileno, polisulfona, poliétersulfona, poliamidas y poli (fluoruro de vinilideno). Como el biorreactor de esta invención preferiblemente opera a caudales relativamente altos, el espesor de la lámina plana es preferiblemente menor que el espesor del espaciador. Preferiblemente, el espesor de la lámina plana es inferior a 1 mm, y más preferiblemente inferior a 0,5 mm, o incluso inferior a 0,2 mm.

El espaciador (42) de alimentación del biorreactor (38) enrollado en espiral no está particularmente limitado e incluye los espaciadores de alimentación descritos anteriormente en conexión con los módulos de membrana enrollados en espiral. Se desea que la mayor parte de la lámina plana adyacente a un espaciador no resulte ocluida por contacto con el espaciador. Las estructuras preferidas para espaciadores incluyen un material laminar similar a una red que tiene puntos de intersección de mayor espesor que el grosor medio de los cordones entre ellos. El espaciador puede ser una colección de regiones elevadas de la lámina plana, tal como las formadas por una operación de formación de relieve, mediante la aplicación de líneas adhesivas a la lámina plana, o fijando bolas de revestimiento de núcleo (envolvente de tamaño apropiado a la superficie. Una vez enrollado en espiral, el espaciador de alimentación proporciona preferiblemente canales de flujo de 0,10 mm a 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 proporcionan en un formato de lámina, las secciones de separador (42) de alimentación próximo y de lámina plana (40) se pueden unir selectivamente juntas, por ejemplo, adheridas juntas a lo largo de porciones de su periferia o regiones intermitentes en sus superficies. Tal unión agrega fuerza al biorreactor y mitiga el plegado de forma telescópica.

En las figuras 3A-D se muestran en general realizaciones representativas del tema de conjunto de filtración enrollado en espiral, que incluyen un recipiente a presión (52) con un orificio (54) de alimentación, un orificio (56) de concentrado y un orificio (58) de permeado. El orificio (54) de alimentación está adaptado para la conexión con una fuente presurizada de líquido de alimentación que puede entrar en el recipiente (52). El orificio (56) de concentrado está adaptado para la conexión a un camino para su reutilización o eliminación. El orificio (58) de permeado está adaptado para la conexión a una vía fuera del recipiente para su almacenamiento, uso o tratamiento posterior. Cuatro módulos de membrana enrollados en espiral (2, 2', 2" y 2''') están dispuestos en serie dentro del recipiente (52) con un primer elemento (2) de la serie situado más cerca de un primer extremo (60) del recipiente a presión (52) y un último elemento (2''') de la serie posicionado adyacente a un segundo extremo opuesto (62) del recipiente a presión (52). Para propósitos de claridad, los "extremos" del vaso incluyen aquellas partes que se extienden más allá de los extremos distales o axiales de los módulos situados dentro del recipiente. Por ejemplo, el orificio (54) de alimentación y el orificio (56) de concentrado pueden estar situados en los lados radiales de un recipiente cilíndrico o en una posición axial como se ilustra en las figuras 3A, C y D. Los tubos (8) de permeado de los módulos de membrana enrollados en espiral (2, 2', 2", 2''') se conectan en serie para formar una vía de permeado (mostrada por flechas) que está conectada al orificio (58) de permeado. Los medios para conectar el conducto (44) y los tubos (8) de los módulos no están particularmente limitados. Por ejemplo, los tubos (64) de interconexión o las tapas de extremo (no mostradas) que incluyen típicamente sellados ajustados por presión o juntas tóricas son comunes en la técnica y son adecuados para su uso en la presente invención. Una vía de permeado puede alternativamente dividirse con una barrera de flujo completa o parcial, como en el documento US 4046685, para dirigir el permeado desde diferentes módulos de membrana enrollados en espiral en el recipiente a los extremos opuestos del recipiente. Mientras se muestran incluidos cuatro módulos, se pueden usar otras cantidades, por ejemplo, 1 a 12.

El biorreactor (38) está en posición adyacente al primer extremo (60) del recipiente (52) en serie y aguas arriba de todos los módulos de membrana enrollados en espiral (2, 2', 2", 2'''), pero puede colocarse alternativamente entre los módulos de membrana enrollados en espiral o situados cerca del segundo extremo (62) del recipiente (52). En realizaciones preferidas, el biorreactor está situado aguas arriba de al menos un módulo de membrana enrollado en espiral, pero más preferiblemente de todos los módulos de membrana enrollados en espiral. Aunque no se muestra, se puede utilizar una pluralidad de biorreactores dentro de un solo recipiente, y los biorreactores adyacentes en serie se pueden considerar como uno solo. En funcionamiento, el líquido de alimentación fluye sucesivamente a través del biorreactor y el módulo de membrana enrollado en espiral.

En las figuras 3A-D, el biorreactor (38) extiende a lo largo de un eje desde un primer extremo (76) a un segundo extremo (76') canales de flujo (43) que se extienden entre la entrada (46) y la salida (48), situados en los primeros (76) y segundos (76') extremos opuestos. Con referencia específica a las figuras 3A y 3D, el biorreactor (38) incluye una varilla maciza (78) o eje central. En estas realizaciones, no fluye permeado a través del biorreactor. En contraste, los biorreactores en las realizaciones de las figuras 3B y 3C incluyen un conducto hueco (44) que está conectado con los tubos (8) de permeado de los módulos de membrana enrollados en espiral (2, 2', 2", 2''') para formar una vía de permeado para que el permeado salga del recipiente (52) a través del orificio (56) de permeado. En las realizaciones de las figuras 3A, 3B y 3D, se proporciona un único orificio (58) de permeado mientras que en la figura 3C, se proporcionan orificios (58) de permeado en ambos extremos (60, 62) del recipiente (52).

Los orificios en el recipiente a presión (52) pueden ser específicos del biorreactor (38). En las figuras 3C y 3D, el recipiente (52) comprende dos placas extremas opuestas (80, 80'), un orificio (54) de alimentación, un orificio (56) de concentrado y al menos un orificio (58) de permeado. Sin embargo, la placa de extremo (80) más cercana a la unidad de biorreactor puede comprender un orificio de fluido adicional conectado al biorreactor (38). En la figura 3D, el conjunto de filtración incluye un conducto hueco (44) que se extiende a través del biorreactor. El conducto (44) conecta dichos canales de flujo (43) en el biorreactor con un orificio (además a orificios de alimentación, de concentrado y de permeado) en la tapa de extremo del recipiente. Con esta disposición, la figura 3D muestra además dos orificios separados en el recipiente en comunicación con los canales (43) de flujo del biorreactor. Esto forma una vía continua potencial para el flujo de fluido dentro del recipiente, a través de los canales (43) de flujo del biorreactor, y fuera del recipiente, y dicha vía no pasa a través de módulos enrollados en espiral.

El biorreactor puede alternar entre un modo de funcionamiento y un modo de limpieza. En el modo de funcionamiento, el fluido del orificio de alimentación entra al biorreactor en su entrada y sale del biorreactor en su salida. Preferiblemente, el fluido 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 inferior a 5 segundos dentro del biorreactor. Preferiblemente, la velocidad promedio del líquido que entra en la unidad de biorreactor es menor que la velocidad promedio del líquido que se mueve a través del módulo de membrana enrollado en espiral adyacente.

En el modo de limpieza, un fluido de limpieza contacta con las superficies de crecimiento biológico (50, 50') adyacentes a los canales de flujo (43). La figura 4 ilustra diferentes métodos para limpiar un biorreactor dentro de un recipiente. En la figura 4A, se suministra un fluido de limpieza a través de todo el módulo en una dirección comúnmente utilizada para el flujo de alimentación. En la figura 4B, el fluido de limpieza se filtra a través del recipiente en la dirección inversa de modo que los contaminantes en el biorreactor no se filtran a través de los módulos de membrana enrollados en espiral. Un conjunto de filtración puede configurarse alternativamente de modo que el interior de un conducto hueco (44) que se extiende a través del biorreactor (38) esté en contacto de fluido con la entrada (46) o la salida (48) del biorreactor. Como se ilustra en las figuras 4C y 4D, una ventaja de esta configuración es que puede permitir que un fluido de limpieza pase a través del biorreactor (38) y no pase sustancialmente a través de los módulos de membrana enrollados en espiral (2, 2', 2'', 2'''). En estas realizaciones, la cantidad de flujo a través de los módulos enrollados en espiral de aguas abajo se reduce y dependerá en última instancia de la resistencia relativa proporcionada para el flujo de concentrado del recipiente. Esto permite el uso de agentes de limpieza que de otra manera degradarían las membranas de los módulos enrollados en espiral. Por ejemplo, el fluido de limpieza utilizado para limpiar la unidad de biorreactor puede seleccionarse de una solución menor de pH 1, una solución mayor de pH 13, una solución superior a 60 °C, o una solución que contiene un agente oxidante. En un proceso preferido, el biorreactor funciona a una presión media inferior durante el modo de limpieza que durante el modo de funcionamiento. Esto permite alcanzar temperaturas más altas con mayor facilidad y también limita los riesgos potenciales de fugas de líquido de limpieza.

En una realización preferida, la diferencia de presión a través del biorreactor se mide en el modo operativo, y el cambio del modo operativo al modo de limpieza se desencadena por la diferencia de presión medida. La figura 3D ilustra cómo puede conectarse un conducto hueco (44) a través del biorreactor a un dispositivo (82) de medición de presión para permitir la medición de la presión en su salida. El conducto hueco (44) descrito previamente para fines de limpieza también sería suficiente también para medir la presión entre el biorreactor y el OI utilizando sensores de presión fuera del recipiente. En una realización preferida, la unidad de biorreactor tiene una caída de presión de menos de 10 psi (0,703 Kg/cm<sup>2</sup>) (más preferiblemente menos de 5 psi (0,3515 Kg/cm<sup>2</sup>)) después del modo de limpieza. En una realización, el modo de limpieza se inicia después de que una caída de presión del biorreactor excede los 10 psi (0,703 Kg/cm<sup>2</sup>), o más preferiblemente después de que exceda los 20 psi (1,406 Kg/cm<sup>2</sup>).

Puede fomentarse una población de crecimiento biológico particular dentro del biorreactor, particularmente después de la transición desde el modo de limpieza al modo de funcionamiento. Después de una limpieza, el biorreactor puede inocularse (por ejemplo, con un conjunto particular de bacterias). El inoculante puede derivarse de soluciones previamente extraídas del biorreactor. Un nutriente también puede dosificarse durante al menos una parte del modo operativo.

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



**REIVINDICACIONES**

1. Un conjunto de filtración enrollado en espiral que comprende:
  - i) un recipiente a presión (52) que comprende un orificio (54) de alimentación, un orificio (56) de concentrado y un orificio (58) de permeado;
  - 5 ii) al menos un módulo de membrana enrollada en espiral (2) que comprende al menos una envoltura de membrana (4) enrollada alrededor de un tubo (8) de permeado que forma una vía de permeado al orificio (58) de permeado; y
  - 10 iii) un biorreactor (38) que tiene una periferia exterior cilíndrica que se extiende a lo largo de un eje (Y) desde un primer extremo (76) hasta un segundo extremo (76'), una entrada (46) situada cerca del primer extremo (76) y una salida (48) situada cerca del segundo extremo (76') y comprende una lámina plana permeable (40) que tiene dos superficies de crecimiento biológico opuestas (50, 50') y un espaciador (42) de alimentación que define canales de flujo (43) que se extienden a lo largo de superficies de crecimiento biológico (50, 50') de la lámina plana (40) desde la entrada (46) a la salida (48) del biorreactor (38); donde la lámina plana (40) está enrollada en espiral alrededor de una varilla sólida o conducto hueco (44) sellado de la comunicación fluida con la lámina plana (40) y el espaciador (42) de alimentación y conectado en serie al tubo (8) de permeado del módulo de membrana enrollado en espiral (2) y; en donde el módulo de membrana enrollada en espiral (2) y el biorreactor (38) están dispuestos en serie dentro del recipiente a presión (52).
2. El conjunto de la reivindicación 1, en el que la lámina plana (40) es permeable y las dos superficies de crecimiento biológico opuestas (50, 50') están en comunicación fluida entre sí.
3. El conjunto de la reivindicación 1 que comprende además una pluralidad de módulos de membrana enrollados en espiral (2, 2', 2'', 2'''), comprendiendo cada uno al menos una envoltura de membrana (4) enrollada alrededor de un tubo (8) de permeado, y en el que los módulos de membrana enrollados en espiral (2, 2', 2'', 2''') están dispuestos en serie dentro del recipiente a presión (52) con un primer elemento (2) de la serie posicionado más cerca de un primer extremo (60) el recipiente a presión (52) y un último elemento (2''') de la serie posicionado adyacente a un segundo extremo opuesto (62) del recipiente a presión (52), donde los tubos (8) de permeado de los elementos enrollados en espiral son conectados en serie para formar una vía de permeado que está conectada a la salida (58) de permeado, y en el que el biorreactor (38) está dispuesto dentro de dicha serie en una ubicación aguas arriba de al menos un módulo de membrana enrollado en espiral (2).
4. El conjunto de la reivindicación 3, en el que el biorreactor (38) está dispuesto dentro de la serie en una ubicación aguas arriba de todos los módulos de membrana enrollados en espiral (2, 2', 2'', 2''').
5. El conjunto de la reivindicación 1, donde el espaciador (42) de alimentación del biorreactor (38) proporciona canales de flujo (43) de 0,10 mm a 1,5 mm entre superficies de crecimiento biológico adyacentes (50, 50') de la lámina plana (40).
6. El conjunto de la reivindicación 1, en el que los canales de flujo tienen un volumen vacío entre las superficies de crecimiento biológico que no está ocupado por un sólido, y en el que el volumen vacío de los canales de flujo es al menos el 65% del volumen del biorreactor.

Fig 1

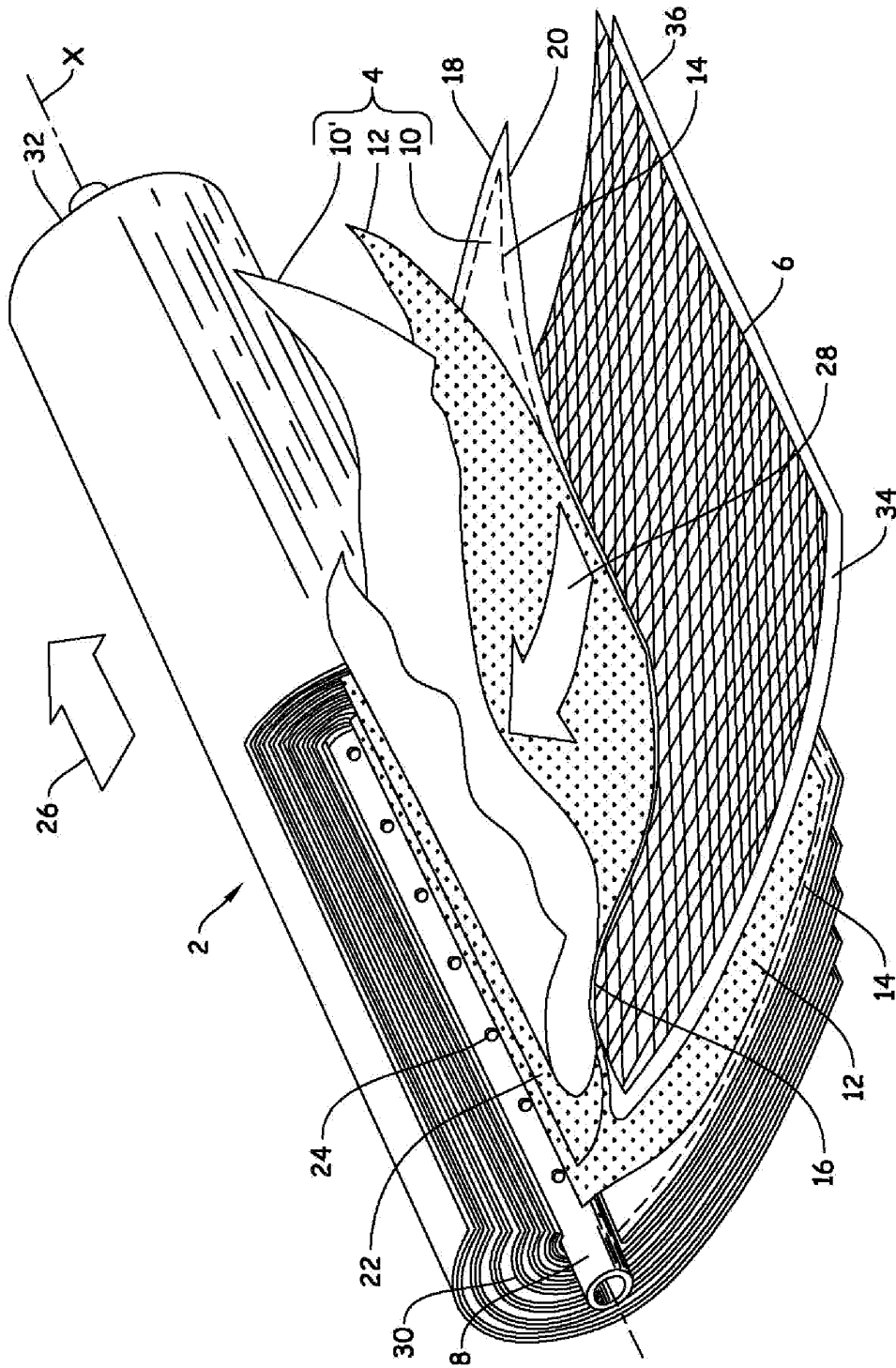


Fig. 1

Fig 2

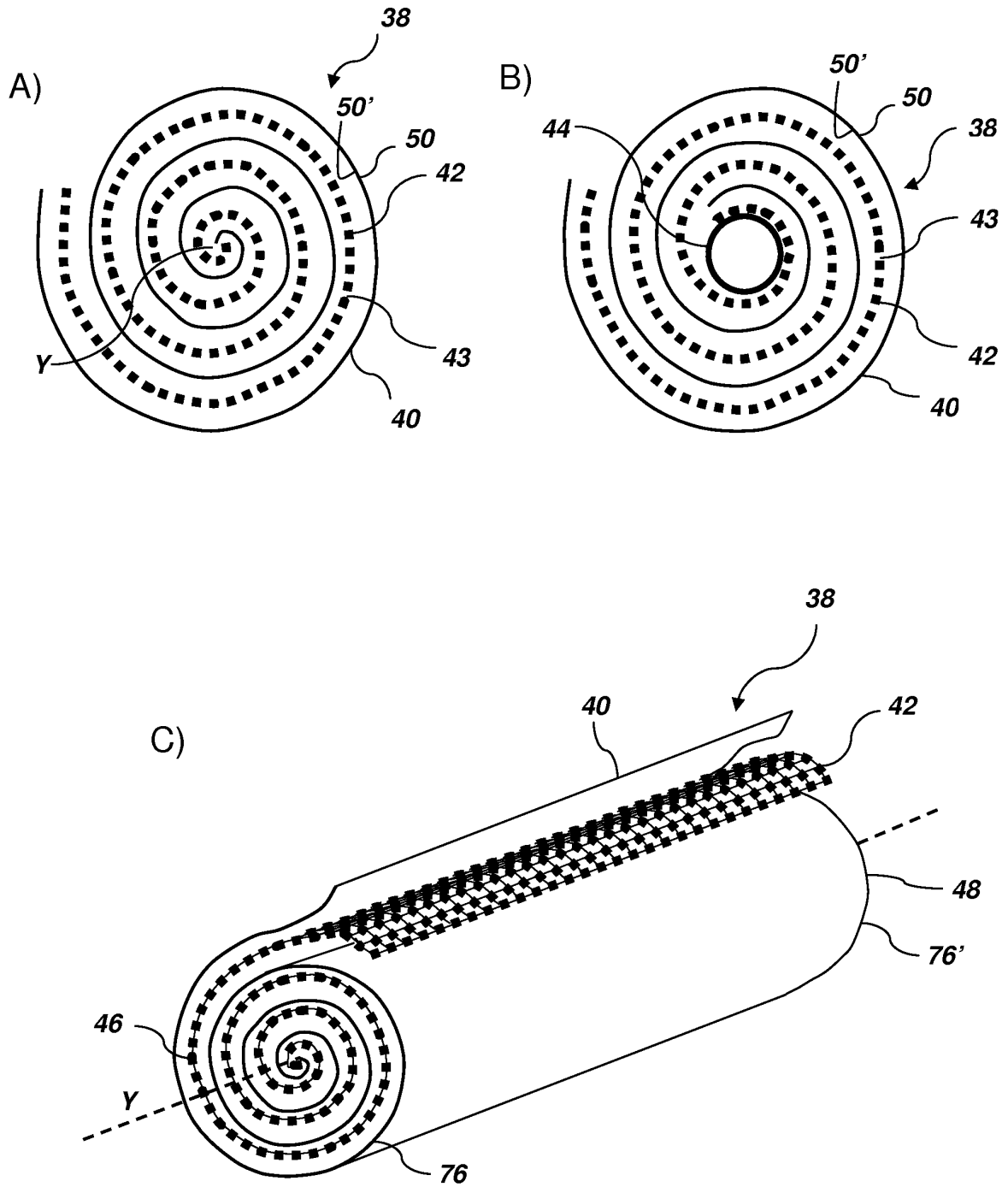


Fig 3

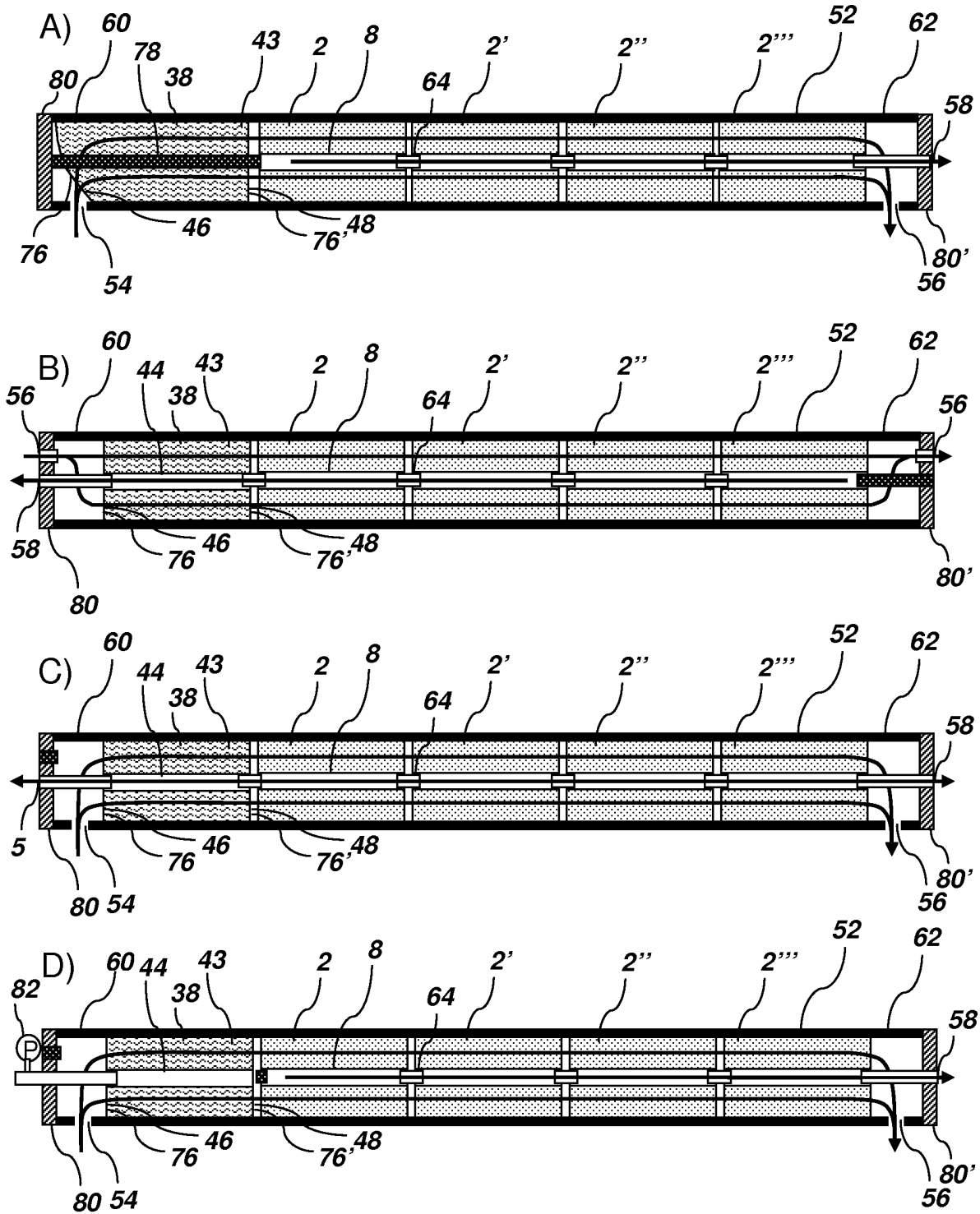


Fig 4

