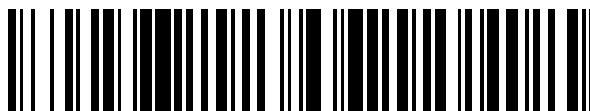


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 478 966**

51 Int. Cl.:

**B01D 69/02** (2006.01)

**B01D 63/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.10.2011** **E 11779899 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.04.2014** **EP 2576028**

54 Título: **Módulo enrollado en espiral que incluye una lámina de membrana con regiones que tienen diferentes permeabilidades**

30 Prioridad:

**26.10.2010 US 406597 P**

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

**23.07.2014**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**JONS, STEVEN, D. y**  
**MARSH III, ALLYN, R.**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 478 966 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

Módulo enrollado en espiral que incluye una lámina de membrana con regiones que tienen diferentes permeabilidades

**Campo de la invención**

- 5 La presente invención se dirige hacia módulos enrollados en espiral y métodos para hacer y usar los mismos.

**Descripción de la técnica relacionada**

- 10 Los módulos enrollados en espiral (también conocidos como "elementos" enrollados en espiral) son bien conocidos para uso en una variedad de separaciones de fluido incluyendo hiperfiltración. La "Hiperfiltración" es un proceso de separación basado en membrana en el que se aplica presión a una solución de alimentación en un lado de una membrana semipermeable. La presión aplicada hace a un "solvente" (por ejemplo agua) pasar a través de la membrana (es decir formar una solución de permeado) mientras que los "solutos" (por ejemplo sales) se rechazan y permanecen en la solución de alimentación. Para superar la fuerza de impulso natural del solvente para moverse de una concentración baja a alta, la presión de alimentación aplicada debe exceder la presión osmótica. Por esta razón, el término "hiperfiltración" se usa a menudo intercambiable con "ósmosis inversa." Para los propósitos de esta descripción, el término "hiperfiltración" abarca tanto ósmosis inversa (RO) como nanofiltración (NF). Y se reconoce además que también se pueden usar módulos que contienen membranas de hiperfiltración en procesos de ósmosis directa o hacia delante.

- 20 El flujo de solvente ( $J_s$ ) de una membrana de hiperfiltración es proporcional al diferencial de presión a través de la membrana menos la diferencia en la presión osmótica entre las soluciones de alimentación y permeado. Ver Mulder, Basic Principles of Membrane Technology, 2ª Ed. (Kluwer Academic Publishers (1996)). Para alimentaciones acuosas, el flujo de agua ( $J_w$ ) se puede definir como:

$$J_w = A (\Delta p - \Delta \pi) \quad (\text{Fórmula I})$$

en donde:

- 25 "A" es el coeficiente de permeabilidad al agua o "permeabilidad al agua" de la membrana;  
 "Δp" es la diferencia en la presión aplicada a través de la membrana (es decir la diferencia de presión de la solución de alimentación y permeado); y

"Δπ" la diferencia en la presión osmótica entre la solución de alimentación y el permeado en las superficies de membrana.

- 30 Durante la operación la solución de alimentación fluye a través de un módulo enrollado en espiral con una parte de solvente (por ejemplo agua) que pasa a través de una membrana semipermeable. Como resultado, la solución de alimentación llega a estar cada vez más concentrada en el soluto (por ejemplo sales) según fluye la alimentación desde el extremo de entrada al de salida del módulo. También, la presión de alimentación aplicada cae según fluye la alimentación a través del módulo. Estos efectos combinados provocan desequilibrios de flujo a través del módulo entre los extremos de entrada y de salida. De manera similar, también puede resultar un desequilibrio de flujo entre el tubo de recogida de permeado y el extremo distal de una hoja de membrana (es decir en una dirección perpendicular al tubo de recogida de permeado). En este caso, la caída de presión a través del separador de permeado provoca una presión de impulso neta mayor cerca del centro del módulo comparado con su periferia exterior. Estos desequilibrios de flujo contribuyen a la polarización y obstrucción (por ejemplo CHAI ET AL: "Ultrasound, gravimetric, and SEM studies of inorganic fouling in spiral-wound membrane modules", DESALINATION, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 208, nº 1-3, 31 de marzo de 2007 (31-03-2007), páginas 277-293, EP022011394, ISSN: 0011-9164, DOI: 10.1016/J.DESAL.2006-06-018.

- 40 Se han propuesto diversas técnicas para reducir los desequilibrios de flujo. Por ejemplo, la US 2007/0272628 describe la combinación de módulos que tienen diferentes características de flujo dentro de un recipiente común. La US 6499606 y EP 1457243 describen módulos de tipo panal de miel con una permeabilidad que varía localmente. Otras técnicas incluyen el uso de longitudes de hojas de membrana más cortas para reducir la caída de presión a lo largo de un separador de permeado. Los separadores de permeado también se pueden elegir que varíen en permeabilidad en la dirección desde el tubo de recogida de permeado a un extremo distal (por ejemplo la US 4792401 y la JP 2009/220070). Aunque cada uno de estos planteamientos reduce los desequilibrios de flujo, se desean nuevos planteamientos.

**Breve resumen de la invención**

50 La presente invención se dirige a un módulo enrollado en espiral que incluye una lámina de membrana con regiones que tienen distintas permeabilidades. En una realización el módulo incluye un tubo de recogida de permeado y al

5 menos una envolvente de membrana enrollada alrededor del tubo de recogida y que define una primera y segunda cara de desplazamiento. La envolvente de membrana comprende una sección de lámina de membrana que tiene una longitud que corresponde a la distancia entre la primera y segunda caras de desplazamiento, una anchura que se extiende en una dirección perpendicular a la longitud, al menos un eje longitudinal que se extiende a lo largo de la longitud de la lámina y que divide la lámina en una región interior y exterior con la región interior situada adyacente al tubo de recogida de permeado, y al menos un eje de latitud que se extiende a lo largo de la anchura de la lámina y que divide la lámina en una región de entrada y de salida con la región de entrada situada adyacente a la primera cara de desplazamiento. La lámina de membrana se caracteriza por tener una permeabilidad al agua media o de soluto media que varía en al menos un 10% entre al menos uno de: i) las regiones interior y exterior y ii) las regiones de entrada y salida. Se describen muchas realizaciones adicionales que incluyen métodos para hacer y usar tales módulos.

**Breve descripción de los dibujos**

15 Las Figuras incluidas ilustran varias realizaciones de la invención. Las Figuras no están a escala e incluyen vistas idealizadas para facilitar la descripción. Donde sea posible, se han usado números iguales en todas las Figuras y descripción escrita para designar los mismos rasgos o similares.

La Figura 1 es una vista en perspectiva, parcialmente seccionada de un módulo de filtración enrollado en espiral.

La Figura 2A es una vista en perspectiva (parcialmente seccionada) de un módulo enrollado en espiral montado parcialmente que incluye dos secciones alineadas de lámina de membrana.

La Figura 2B es una vista en perspectiva de una sección de lámina de membrana.

20 La Figura 2C es una vista en perspectiva de una sección de lámina de membrana.

La Figura 3A es una vista en perspectiva de una configuración idealizada para poner en práctica una realización de la invención que muestra un rollo de lámina de membrana que se desenrolla a lo largo de una dirección de rollo paralela a un eje (X) de un tubo de recogida de permeado colocado de manera adyacente.

25 La Figura 3B es una vista en alzado de una configuración idealizada para poner en práctica otra realización de la invención que muestra dos rollos de lámina de membrana que se desenrollan a lo largo de direcciones de rollo paralelas a un eje (X) de un tubo de recogida de permeado colocado de manera adyacente.

La Figura 4A es una vista en perspectiva que muestra una realización de una envolvente de membrana parcialmente montada.

La Figura 4B es una vista en perspectiva de una envolvente de membrana montada.

30 La Figura 4C es una vista en perspectiva de un módulo enrollado en espiral montado parcialmente que incluye la envolvente de membrana de la Figura 4B.

La Figura 4D es una vista en perspectiva del módulo enrollado en espiral montado parcialmente de la Figura 3C tomado en un punto posterior de montaje.

35 La Figura 5A es una vista en perspectiva (parcialmente seccionada) de un módulo enrollado en espiral montado parcialmente que incluye una realización de un paquete de hojas de membrana.

La Figura 5B es una vista en perspectiva (parcialmente seccionada) de un módulo enrollado en espiral montado parcialmente que incluye una envolvente de membrana que está montada con dos paquetes de hojas de membrana.

La Figura 6A es una vista en perspectiva (parcialmente seccionada) de un módulo enrollado en espiral montado parcialmente que incluye una realización alternativa de un paquete de hojas de membrana.

40 La Figura 6B es una vista en alzado de una realización alternativa de un paquete de hojas de membrana.

La Figura 6C es una vista en alzado de aún otra realización de un paquete de hojas de membrana.

La Figura 7 es una vista final de un módulo enrollado en espiral montado parcialmente que muestra seis envolventes de membrana enrolladas alrededor de un tubo de recogida de permeado.

La Figura 8 es una vista en perspectiva de un módulo enrollado en espiral.

45 **Descripción detallada de la invención**

La invención abarca módulos de filtración enrollados en espiral junto con métodos para hacer y usar los mismos. La configuración del módulo enrollado en espiral no está particularmente limitada. Ejemplos representativos de módulos de filtración enrollados en espiral, que corresponden a técnicas de fabricación y modos de operación se describen en: la US 5096584, US 5114582, US 5147541, US 5538642, US 5681467, US 6277282, US 6881336, US

2007/0272628, US 2008/0295951 y US 61/224092. El módulo incluye al menos una envolvente de membrana enrollada concéntricamente alrededor de un tubo de recogida de permeado. La envolvente de membrana se forma preferiblemente de una o más láminas de membrana que están selladas alrededor de una parte de su periferia. Un borde de la envolvente de membrana está alineado axialmente a lo largo de un tubo de recogida de permeado de manera que la envolvente de membrana está en comunicación de fluido con el tubo de recogida de permeado pero de otro modo está sellada al paso de fluido de alimentación a través de la superficie exterior de la envolvente de membrana.

Una realización preferida de un módulo de filtración enrollado en espiral se muestra de manera general en 2 en la Figura 1. El módulo (2) se forma enrollando concéntricamente una o más envolventes de membrana (4) y lámina(s) separadora(s) de canal de alimentación opcional(es) ("separadores de alimentación") (6) alrededor de un tubo de recogida de permeado (8). Cada envolvente de membrana (4) comprende preferiblemente dos secciones sustancialmente rectangulares de lámina de membrana (10, 10'). Cada sección de lámina de membrana (10, 10') tiene una capa de membrana semipermeable o lado delantero (34) y una capa de soporte o lado trasero (36). La envolvente de membrana (4) se forma solapando las láminas de membrana (10, 10') y alineando sus bordes. En una realización preferida, las secciones (10, 10') de lámina de membrana rodean una lámina separadora de canal permeado ("separador de permeado") (12). Esta estructura tipo sándwich se asegura, por ejemplo mediante sellador (14), a lo largo de tres bordes (16, 18, 20) para formar una envolvente (4) mientras que un cuarto borde, es decir un "borde proximal" (22) se apoya en el tubo de recogida de permeado (8) de manera que la parte de dentro de la envolvente (4) (y el separador de permeado opcional (12)) está en comunicación de fluido con una pluralidad de aberturas (24) que se extienden a lo largo de la longitud del tubo de recogida de permeado (8).

El módulo (2) comprende preferiblemente una pluralidad de envolventes de membrana (4) separadas por una pluralidad de láminas separadoras de alimentación (6). En la realización ilustrada, las envolventes de membrana (4) se forman uniendo las superficies del lado de detrás (36) de los "paquetes de hojas de membrana" colocados de manera adyacente. Ejemplos de paquetes de hojas de membrana representativos y métodos para su fabricación se describen además en: la US 4842736; la US 5147541 y la US 2010/0140161. En una realización preferida (como se describirá en más detalle con referencia a las Figuras 5A-5B), un paquete de hojas de membrana comprende una lámina de membrana sustancialmente rectangular (10) doblada sobre sí misma para definir dos "hojas" de membrana en donde los lados delanteros (34) de cada hoja se enfrentan entre sí y el pliegue está alineado axialmente con el borde proximal (22) de la envolvente de membrana (4), es decir en paralelo con el tubo de recogida de permeado (8). Una lámina separadora de alimentación (6) se muestra situada entre los lados delanteros que se enfrentan (34) de la lámina de membrana doblada (10). La lámina separadora de alimentación (6) facilita un flujo de fluido de alimentación en una dirección axial (es decir en paralelo con el tubo de recogida de permeado (8)) a través del módulo (2). Aunque no se muestra, se pueden incluir también capas intermedias adicionales en el montaje. Durante la fabricación del módulo, las láminas separadoras de permeado (12) se pueden unir alrededor de la circunferencia del tubo de recogida de permeado (8) con los paquetes de hojas de membrana intercalados entre medias. Los lados de detrás (36) de hojas de membrana colocadas de manera adyacente (10, 10') están sellados alrededor de las partes de su periferia (16, 18, 20) para encerrar la lámina separadora de permeado (12) para formar una envolvente de membrana (4). La(s) envolvente(s) de membrana (4) y el(los) separador(es) de alimentación (6) están devanados o "enrollados" concéntricamente alrededor del tubo de recogida de permeado (8) para formar una primera o segunda cara de desplazamiento (30, 32) en extremos opuestos y el manojo en espiral resultante se mantiene en su lugar, tal como mediante cinta u otros medios. El sellador (14) usado para sellar los bordes (16, 18, 20) de la envolvente de membrana (4) preferiblemente permite un movimiento relativo de los diversos materiales de lámina durante el proceso de enrollado. Es decir, la velocidad de curado o periodo de tiempo antes de que el sellador (14) llegue a estar pegajoso es preferiblemente más largo que el requerido para montar y enrollar las envolventes de membrana (4) alrededor del tubo de recogida de permeado (8).

Las flechas mostradas en la Figura 1 representan las direcciones de flujo aproximadas (26, 28) del fluido de alimentación y permeado durante la operación. El fluido de alimentación entra en el módulo (2) desde una cara de desplazamiento de entrada (30) y fluye a través del(de los) lado(s) delantero(s) (34) de la(s) lámina(s) de membrana y existe el módulo (2) en la cara de desplazamiento de salida opuesta (32). El fluido de permeado fluye a lo largo de la lámina separadora de permeado (12) en una dirección aproximadamente perpendicular al flujo de alimentación como se indica por la flecha (28). Los trayectos de flujo de fluido reales varían con los detalles de construcción y las condiciones de operación.

Los materiales para construir diversos componentes de módulos enrollados en espiral son bien conocidos en la técnica. Selladores adecuados para sellar las envolventes de membrana incluyen uretanos, epoxis, siliconas, acrilatos, adhesivos de fusión en caliente y adhesivos de curado ultravioleta (UV). Aunque 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 se hacen típicamente de materiales plásticos tales como acrilonitrilo-butadieno-estireno, cloruro de polivinilo, polisulfona, poli (óxido de fenileno), poliestireno, polipropileno, polietileno o similares. Los materiales de poliéster tejido se usan comúnmente como separadores de permeado. Separadores de permeado adicionales se describen en la US 2010/0006504. Separadores de alimentación representativos incluyen materiales de malla de polietileno, poliéster, y polipropileno tales como aquéllos disponibles comercialmente bajo el nombre comercial de VEXAR™ de Conwed Plastics. Separadores de alimentación adicionales se describen en la US 6881336.

5 Durante la fabricación del módulo, se pueden enrollar fibras de vidrio largas alrededor del módulo construido parcialmente y aplicar y endurecer resina (por ejemplo epoxi líquido). En una realización alternativa, se puede aplicar cinta en la circunferencia del módulo enrollado como se describe en la US 61/255121 de McCollam. Los extremos de los módulos a menudo están equipados con un dispositivo anti telescópico o tapón extremo (no mostrado) diseñado para impedir que las envolturas de membrana se desplacen bajo el diferencial de presión entre los extremos de desplazamiento de entrada y de salida del módulo. El tapón extremo está equipado comúnmente con un sellador elastomérico (no mostrado) para formar una conexión estanca a los fluidos entre el módulo y un recipiente de presión (no mostrado). Ejemplos de diseños de tapón extremo incluyen aquéllos disponibles en The Dow Chemical Company, es decir tapones extremo de enclavamiento *iLEC*<sup>TM</sup> y aquéllos descritos en la US 6632356 y la US 12/545098 de Hallan, et al. El alojamiento exterior de un módulo puede incluir sellos de fluido para proporcionar un sello dentro del recipiente de presión como se describe en la US 6299772 y US 6066254 de Huschke et al. y la US 2010/0147761 de McCollam. Detalles adicionales relativos a varios componentes y construcción de los módulos enrollados en espiral se proporcionan en la literatura ver por ejemplo la US 5538642 de Solie que describe una técnica para unir el separador de permeado al tubo de recogida de permeado y la WO 2007/067751 de Jons et al. que describe las operaciones de recorte y el uso de un adhesivo UV para formar un sello de punto de inserción.

10 La lámina de membrana comprende al menos una capa de membrana semipermeable (lado delantero) y una capa de soporte (lado trasero) en disposición plana entre sí para formar una estructura compuesta. La capa de soporte no está particularmente limitada sino que preferiblemente comprende una tela no tejida o esterilla laminar fibrosa que incluye fibras que se pueden orientar. Alternativamente, se puede usar una tela tejida tal como un tejido de vela. Ejemplos representativos de capas de soporte se describen en la US 4214994, US 4795559, US 5435957, US 5919026, US 6156680, US 7048855, US 2008/0295951 y US 2010/0193428. En realizaciones preferidas, la capa de soporte se proporciona como un rollo de material de lámina sobre el que se aplica una capa de membrana. La capa de soporte comprende preferiblemente fibras no tejidas orientadas en la dirección del rollo de manera que la capa de soporte tiene un módulo elástico en la dirección del rollo (es decir la dirección longitudinal) que es al menos 1,5 veces mayor y preferiblemente al menos 3 veces mayor que el módulo elástico en una dirección perpendicular a la dirección del rollo (es decir la dirección a lo ancho). De manera similar, la lámina de membrana formada con la capa de soporte también tiene preferiblemente un módulo elástico en la dirección del rollo (es decir la dirección longitudinal) que es al menos 1,5 veces mayor y más preferiblemente 3 veces mayor que el módulo elástico en una dirección perpendicular a la dirección del rollo (es decir la dirección a lo ancho). Como se usa en la presente memoria, el término "módulo elástico" se refiere al módulo de Young o elasticidad de tracción, es decir la relación de la tensión de tracción a la deformación de tracción, que se mide por ASTM (D882-09). Una capa de soporte que incluye fibras orientadas en la dirección del rollo proporciona un módulo con resistencia dimensional mejorada a lo largo de la longitud de los módulos. Esta resistencia añadida puede ser particularmente útil cuando se hacen módulos largos, es decir módulos por encima de 1 metro de longitud. Se entenderá por los expertos en la técnica que las fibras de capas de soporte se extienden a lo largo de una variedad de direcciones y que el término "orientadas" está destinado a referirse a un valor relativo, es decir una dirección de alineamiento dominante de las fibras, en lugar de un valor absoluto.

15 La capa de soporte preferiblemente incluye un soporte de polímero micro poroso que puede estar fundido en la tela no tejida o esterilla de tejido fibroso antes mencionada. El soporte micro poroso es preferiblemente de alrededor de 25-125 micras de espesor. El soporte micro poroso preferiblemente comprende un material polimérico que tiene tamaños de poro que son de suficiente tamaño para permitir esencialmente el paso sin restricciones de permeado pero no lo bastante grande para interferir con el puentado sobre una capa de membrana semipermeable formada sobre el mismo. Por ejemplo, el tamaño de poro del soporte preferiblemente oscila desde alrededor de 0,001 a 0,5 micras. En algunos casos los diámetros de poro mayores de alrededor de 0,5 micras permiten a la capa de membrana semipermeable hundirse en los poros e interrumpir una configuración de lámina plana. Ejemplos de soportes micro porosos incluyen aquéllos hechos de: polisulfona, poliéter sulfona, poliimida, poliamida, polieterimida, poliacrilonitrilo, poli(metacrilato de metilo), polietileno, polipropileno, y diversos polímeros halogenados tales como el fluoruro de polivinilideno. El soporte micro poroso se puede hacer también de otros materiales. El soporte micro poroso proporciona solidez pero ofrece poca resistencia al flujo de fluido debido a su porosidad relativamente alta.

20 En una realización preferida, la capa de membrana semipermeable de la lámina de membrana comprende una membrana de hiperfiltración, es decir una membrana semipermeable adecuada para procesos de hiperfiltración. Tales membranas y procesos se conocen a menudo como ósmosis inversa (RO) y nanofiltración (NF). Para los propósitos de esta descripción, el término "hiperfiltración" abarca tanto procesos de RO como de NF. Las membranas de RO son relativamente impermeables virtualmente a todas las sales disueltas y típicamente rechazan más de alrededor del 95% de las sales que tienen iones monovalentes tales como el cloruro de sodio. Las membranas compuestas 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 compuestas 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 divalentes - dependiendo de la especie de iones divalentes. La membrana de NF también rechaza típicamente partículas en la gama de nanómetros así como moléculas orgánicas que tengan pesos moleculares mayores de aproximadamente 200 a 500 Dalton.

En una realización preferida, la capa de membrana de hiperfiltración comprende una capa de poliamida de película delgada que tiene un espesor de menos de alrededor de 1 micra y más preferiblemente desde alrededor de 0,010 a 0,1 micras. Debido a su delgadez relativa, la capa de poliamida se describe comúnmente en términos de su cobertura de recubrimiento o carga en el soporte micro poroso, por ejemplo desde alrededor de 2 a 5000 mg de poliamida por metro cuadrado de área de superficie de soporte micro poroso y más preferiblemente desde alrededor de 50 a 500 mg/m<sup>2</sup>. La capa de poliamida está formada preferiblemente por una reacción de poli-condensación de interfaz entre un monómero de amina poli-funcional y un monómero de haluro de acilo poli-funcional en la superficie del soporte de polímero micro poroso, como se describe de manera general en la US 4277344 y US 5658460 de Cadotte et al. y la US 6878278 de Mickols. Más específicamente, la capa de membrana de poliamida se puede preparar polimerizando de manera interfacial un monómero de amina poli-funcional con un haluro de acilo poli-funcional, (en donde cada término se destina para referirse tanto al uso de una especie única como múltiples especies), en al menos una superficie de un soporte micro poroso. Como se usa en la presente memoria, el término "poliamida" se refiere a un polímero en el que los enlaces de amida (-C(O)NH-) ocurren a lo largo de la cadena molecular. El monómero de amina poli-funcional y haluro de acilo poli-funcional se suministran más comúnmente al soporte micro poroso por medio de un paso de recubrimiento de la solución, donde el monómero de amina poli-funcional se recubre típicamente de una solución de base acuosa y el haluro de acilo poli-funcional de una solución de base orgánica. Aunque los pasos de recubrimiento no necesitan seguir un orden específico, el monómero de amina poli-funcional se recubre preferiblemente en el soporte micro poroso primero seguido por el haluro de acilo poli-funcional. El recubrimiento se puede consumir mediante pulverización, recubrimiento de película, enrollando, o a través del uso de un tanque de inmersión entre otras técnicas de recubrimiento. La solución en exceso se puede eliminar del soporte mediante cuchilla de aire, secadores, hornos y similares.

El monómero de amina poli-funcional puede tener grupos amino primarios o secundarios y pueden ser aromáticos (por ejemplo, m-fenilendiamina, p-fenilendiamina, 1,3,5-triaminobenceno, 1,3,4-triaminobenceno, ácido 3,5-diaminobenzoico, 2,4-diaminotolueno, 2,4-diaminoanisol y xililendiamina) o alifáticos (por ejemplo, etilendiamina, propilendiamina y tris-(2-diaminoetil)amina). Ejemplos de monómeros de amina poli-funcionales preferidos incluyen aminas primarias que tienen dos o tres grupos amino, por ejemplo, m-fenilendiamina, y aminas alifáticas secundarias que tienen dos grupos amino tales como la piperacina. El monómero de amina poli-funcional se puede aplicar al soporte micro poroso como una solución de base acuosa. La solución acuosa puede contener desde alrededor del 0,1 a alrededor del 20 por ciento en peso y más preferiblemente desde alrededor del 0,5 a alrededor del 6 por ciento en peso de monómero de amina poli-funcional. Una vez recubierto en el soporte micro poroso, se puede eliminar opcionalmente la solución acuosa en exceso.

El haluro de acilo poli-funcional está recubierto preferiblemente de una solución de base orgánica incluyendo un solvente no polar. Alternativamente, el haluro de acilo poli-funcional se puede suministrar en una fase de vapor (por ejemplo, para especies de haluros de ácido poli-funcionales que tienen suficiente presión vapor). El haluro de acilo poli-funcional es preferiblemente aromático y contiene al menos dos y preferiblemente tres grupos haluro de acilo por molécula. Debido a su coste más bajo y a su mayor disponibilidad, generalmente se prefieren los cloruros frente a otros haluros tales como bromuros o yoduros. Un haluro de acilo poli-funcional preferido es el cloruro de trimesoilo (TMC). El haluro de acilo poli-funcional se puede disolver en un solvente no polar en una gama de alrededor del 0,01 al 10 por ciento en peso, preferiblemente del 0,05 al 3 por ciento en peso, y se puede suministrar como parte de una operación de recubrimiento continua. Solventes adecuados son aquellos que son capaces de disolver el haluro de acilo poli-funcional y que son inmiscibles con agua, por ejemplo, hexano, ciclohexano, heptano e hidrocarburos halogenados tales como la serie FREON. Solventes preferidos incluyen aquellos que constituyen poca amenaza para la capa de ozono y que son lo suficientemente seguros en términos de sus puntos de inflamación e inflamabilidad para someterse a un procesamiento de rutina sin tomar precauciones especiales. Un solvente no polar preferido es ISOPAR™ disponible en Exxon Chemical Company. La solución de base orgánica también puede incluir pequeñas cantidades de otros materiales.

Una vez puestos en contacto entre sí, el haluro de acilo poli-funcional y el monómero de amina poli-funcional reaccionan en su interfaz de superficie para formar una capa o película de poliamida. Esta capa, a menudo conocida como una "capa de discriminación" de poliamida o "capa de película delgada," proporciona la membrana compuesta con sus medios principales para separación de soluto (por ejemplo sales) de solventes (por ejemplo agua). El tiempo de reacción del haluro de acilo poli-funcional y el monómero de amina poli-funcional puede ser menor de un segundo pero los tiempos de contacto típicamente oscilan desde alrededor de 1 a 60 segundos, después de los que el líquido en exceso se puede eliminar opcionalmente por medio de un cuchillo de aire, baño(s) de agua, secador o similar. La eliminación del agua o solvente orgánico en exceso se puede lograr secando a temperaturas elevadas, por ejemplo desde alrededor de 40°C a alrededor de 120°C, aunque se puede usar secado al aire a temperatura ambiente.

La capa de poliamida puede incluir uno o más recubrimientos incluyendo aquellos descritos en la US 6280853, US 6878278, US 2009/0159527 y US 2010/0143733 de Mickols y la US 2007/0251883 y US 2008/0185332 de Niu et al.

En una realización preferida, la lámina de membrana tiene regiones con distintas permeabilidades al agua, por ejemplo la permeabilidad al agua varía a través de partes de la longitud o anchura (o ambas) de la lámina de membrana. Para los propósitos de esta descripción, el término "permeabilidad al agua" ("A") se define como:

$$A = J_w / (\Delta p - \Delta \pi) \quad (\text{Fórmula II})$$

en donde:

" $J_w$ " es el flujo de agua de la membrana,

5 " $\Delta p$ " es la diferencia en la presión aplicada a través de la membrana (es decir la diferencia en la presión de la solución de alimentación y el permeado), y

" $\Delta \pi$ " la diferencia en la presión osmótica entre la solución de alimentación y el permeado en las superficies de membrana.

10 El valor de "A" (valor A) es una constante de la membrana que depende principalmente de la temperatura y en mucha menor medida, otras condiciones de operación. Para los propósitos de la presente descripción, el valor A para una región de membrana se puede medir dividiendo el flujo de agua por la presión diferencial, donde el flujo se mide a 25°C usando agua pura a un pH de 7 con una presión diferencial suficiente para provocar un flujo de aproximadamente 1 L/m<sup>2</sup>/día. Mediciones precisas del valor A pueden requerir humedecer la membrana colocándola primero en una solución de alcohol, tal como alcohol isopropílico al 25%, y luego equilibrarla en agua antes de la medición.

15 La lámina de membrana también, o alternativamente, puede tener regiones de distintas permeabilidades de soluto, por ejemplo la permeabilidad de soluto varía a través de partes de la longitud o anchura (o ambas) de la lámina de membrana. Para los propósitos de esta descripción, el término "permeabilidad de soluto" ("B") se define como:

$$B = (J_w \times SP) / (1 - SP) \quad (\text{Fórmula III})$$

en donde:

20 " $J_w$ " es el flujo de agua de la membrana y " $SP$ " es el paso de soluto fraccional a través de la membrana.

Similar al valor A, el valor de B (valor B) de una membrana cambia con la temperatura. Los valores B también pueden cambiar con la resistencia iónica y el pH. Un experto en la técnica reconocerá que la polarización puede causar mediciones para sobreestimar el paso de soluto a través de la membrana. Se obtiene mejor un valor B preciso en el límite de la mezcla de la superficie alta. Para los propósitos de la presente descripción, el valor B para un soluto sobre una región de membrana se puede calcular midiendo el flujo y paso de soluto usando una solución acuosa que comprende 500 ppm del soluto (por ejemplo NaCl) a 25°C, pH 7, con una presión diferencial suficiente para provocar un flujo de aproximadamente 1 L/m<sup>2</sup>/día.

30 La variación en la permeabilidad al agua media (o permeabilidad al soluto media) de la lámina de membrana preferiblemente corresponde a regiones específicas de la lámina de membrana usada para hacer envoltentes de membrana o paquetes de hojas. Por ejemplo, la permeabilidad al agua media de una sección de la lámina de membrana se puede variar como entre una región interior (adyacente al tubo de recogida de permeado y que extiende la longitud de la sección) y una región exterior (distal al tubo de recogida de permeado y que extiende la longitud de la sección), entre las regiones de entrada y salida situadas adyacentes a las caras de desplazamiento opuestas del módulo, o ambas. En este sentido, se pueden reducir los desequilibrios de flujo a través de la lámina de membrana. La diferencia en las permeabilidades al agua medias (o permeabilidad al soluto media) entre las regiones anteriormente mencionadas es preferiblemente al menos del 10%, 25% o incluso 40%. El término "permeabilidad al agua media" se refiere a una media numérica de al menos 10, (pero más preferiblemente al menos 25) valores A medidos en ubicaciones distribuidas uniformemente a través de la región entera de la lámina de membrana usando agua pura a 25°C, pH 7, y una presión diferencial suficiente para provocar un flujo de aproximadamente 1 L/m<sup>2</sup>/día. El término "permeabilidad al soluto media" se refiere a una media numérica de al menos 10, (pero más preferiblemente al menos 25) valores B medidos en ubicaciones distribuidas uniformemente a través de la región entera de la lámina de membrana usando una solución acuosa que comprende 500 ppm de soluto (por ejemplo NaCl) a 25°C, pH 7 con un presión diferencial suficiente para provocar un flujo de aproximadamente 1 L/m<sup>2</sup>/día. En el cálculo de permeabilidades al agua y soluto medias, se excluyen del cálculo las ubicaciones en la lámina de membrana que no presentan esencialmente ningún flujo. Tales ubicaciones típicamente corresponden a las líneas de pegado. De manera similar, también se excluyen las ubicaciones sin una capa de barrera intacta, tales como las que pueden resultar de arañazos y otros daños. A fin de clarificar que se excluyen tales ubicaciones, se puede usar la frase "área de membrana activa".

50 Los métodos para preparar láminas de membrana que tienen tales variaciones en la permeabilidad al agua media y/o la permeabilidad al soluto media no están particularmente limitados y pueden implicar controlar las condiciones bajo las que se forma la capa semipermeable. Por ejemplo, durante la formación de una capa de poliamida de película delgada, la concentración, relación estequiométrica o temperatura de la poliamida que forma los reactivos (por ejemplo monómero de amino poli-funcional y monómero de haluro acilo poli-funcional) se puede variar de

manera controlada durante el recubrimiento. Alternativamente, el espesor o composición de un recubrimiento opcional (como se describe en la US 6280853; la US 2009/0159527 y US 2010/0143733 de Mickols y la US 2007/0251883 y la US 2008/0185332 de Niu et al.) se puede variar a través de la anchura y/o longitud de la lámina de membrana para impartir las diferencias deseadas en la permeabilidad al agua media.

5 La Figura 2A ilustra un módulo enrollado en espiral montado parcialmente que incluye dos secciones alineadas (10, 10') de lámina de membrana que tienen longitudes que corresponden aproximadamente a la longitud de un tubo de recogida de permeado (8) y una anchura que se extiende en una dirección perpendicular a la longitud. Cada sección (10, 10') incluye al menos un eje longitudinal (Y) que se extiende a lo largo de la longitud de la lámina y que divide la lámina en una región interior (37) y exterior (39) con la región interior (37) situada adyacente al tubo de recogida de permeado (8) y la región exterior (39) situada distal al tubo (8). Cada sección (10, 10') además incluye al menos un eje de latitud (Z) que se extiende a lo largo de la anchura de la lámina de membrana y que divide la lámina en una región de entrada (41) y de salida (43) con la región de entrada (41) situada adyacente a la primera cara de desplazamiento (30) y la región de salida (43) situada adyacente a la segunda cara de desplazamiento (32). Aunque no se muestra en la Figura 2A, las caras de desplazamiento (30, 32) se forman tras enrollar las secciones de membrana (10, 10') alrededor del tubo de recogida de permeado (como se muestra en la Figura 1).

En una realización preferida, al menos una pero preferiblemente ambas secciones (10, 10') de la lámina de membrana se caracterizan por tener una permeabilidad al agua media (o permeabilidad al soluto media (por ejemplo NaCl)) que varía en al menos el 10% entre al menos una de: i) las regiones interior (37) y exterior (39) y ii) las regiones de entrada (41) y de salida (43). En otras realizaciones, la permeabilidad al agua media varía en al menos un 25% o incluso un 40% entre tales regiones. En una realización preferida, la permeabilidad al agua media de la región exterior (39) de la lámina de membrana es al menos un 10%, 25% o incluso un 40% mayor que la permeabilidad al agua media de la región interior (37). En otra realización, la permeabilidad al agua media de la región de salida (43) de la lámina de membrana es al menos un 10%, 25% o incluso un 40% mayor que la permeabilidad al agua media de la región de entrada (41). Aún en otra realización, existen ambas de las condiciones precedentes, es decir tanto las regiones exterior como de salida tienen permeabilidades al agua medias al menos un 10%, 25% o incluso un 40% mayores que la permeabilidad al agua media de las regiones interior y de entrada, respectivamente. Aún en otra realización, la permeabilidad al soluto (por ejemplo NaCl) media de la región de salida (43) de la lámina de membrana es al menos un 10%, 25% o incluso un 40% mayor que la permeabilidad al soluto media de la región de entrada (41). Las realizaciones pueden incluir estos rasgos en combinación. Por ejemplo, la región exterior (39) puede tener una permeabilidad al agua media que excede la región interior (37) en un 10%, mientras que la región de salida (43) de la lámina de membrana es al menos un 25% o incluso un 40% mayor que la región de entrada (41).

Aunque se muestra como que son iguales en tamaño, las regiones interior (37) y exterior (39); y las regiones de entrada (41) y de salida (43) no necesitan ser de tamaño equivalente. Aunque se muestra como que está dividida en dos regiones (37, 39) a lo largo de la longitud y dos regiones (41, 43) a lo largo de la anchura, se pueden incluir regiones adicionales. Por ejemplo, como se ilustra en las Figuras 2B y 2C, la sección de la lámina de membrana puede incluir múltiples ejes longitudinales (Y, Y') y de latitud (Z, Z') que definen una pluralidad de regiones a lo largo de la longitud (37, 37', 39) y la anchura (41, 41', 43) de la lámina (10). Cada región longitudinal y de latitud es preferiblemente de al menos 25 mm de ancho, y más preferiblemente de al menos 50 mm de ancho. En una realización preferida, la lámina de membrana comprende una región interior y exterior que cada una comprende el 25% del área de membrana activa de la lámina más cercana al tubo de recogida de permeado (8) y al borde distal, respectivamente, (con el 50% restante que constituye una región intermedia). En otra realización, la lámina de membrana comprende una región de entrada y de salida cada una que comprende el 25% del área de la membrana activa de la lámina más cercana a la primera y segunda caras de desplazamiento (con el 50% restante que constituye una región central). Aún en otra realización, están presentes ambas condiciones precedentes.

La Figura 3A es una vista en perspectiva de una configuración idealizada para poner en práctica varias realizaciones de la invención. Durante la fabricación de un módulo enrollado en espiral, la primera y segunda secciones (10, 10') de la lámina de membrana se eliminan de un rollo común (38) que tiene una anchura (W) y montan en una envolvente de membrana o paquete de hojas de membrana (no mostrado). La manera en la que se eliminan las secciones (10, 10') del rollo (38) no está particularmente limitada pero comprende preferiblemente desenrollar (representado por la flecha de dos direcciones curvada (40)) la lámina de membrana del rollo (38) a lo largo de una dirección de rollo (42, 42') y separar, por ejemplo cortando las secciones rectangulares (como se representa por las líneas de puntos (44)) de la lámina de membrana del rollo (38). Una vez eliminadas del rollo (38) las secciones rectangulares (10, 10') tienen una anchura que corresponde a la anchura del rollo (38) y una longitud que corresponde preferiblemente a la longitud del tubo de recogida de permeado (8), (por ejemplo la longitud de las secciones no necesita ser exactamente la misma que la del tubo (8) ya que la lámina en exceso se puede recortar posteriormente). La longitud de las secciones (10, 10') es preferiblemente al menos dos veces más grande que la anchura, pero más preferiblemente al menos 2,5, 3, 5, 7, 10 o en algunas realizaciones al menos 15 veces más grande. Como se describirá posteriormente, los módulos hechos conforme a las realizaciones de la presente invención pueden tener longitudes por encima de 1 metro de longitud y en algunas realizaciones, longitudes al menos de 1,75 metros, 2,75 metros, 3,75 metros, 4,75 metros e incluso 5,75 metros de longitud.



Como se describirá en conexión con otras Figuras, una envolvente de membrana o paquete de hojas de membrana se puede formar solapando y alineando las secciones rectangulares de la lámina de membrana. En la configuración idealizada de la Figura 3A, las secciones (10, 10') de la lámina de membrana se proporcionan en una orientación de solapamiento desenrollando la lámina de membrana desde un rollo común (38) e invirtiendo la dirección del rollo por medio de un rodillo (46). En la configuración idealizada de la Figura 2A, la lámina de membrana se desenrolla a lo largo de una dirección de rollo (42, 42') que es paralela y está alineada de manera adyacente con un eje (X) definido por el tubo de recogida de permeado (8). Aunque se prefiere este alineamiento, no es requerido. Es decir, los paquetes de hojas de membrana o envoltentes de membrana se pueden preparar en una ubicación remota y posteriormente ser alineados con un tubo de recogida de permeado (8) durante el montaje del módulo. No obstante, en cualquiera de las dos realizaciones la dirección del rollo (42, 42') de cada sección (10, 10') de la lámina de membrana es preferiblemente paralela con el eje (X) definido por el tubo de recogida de permeado (8).

La Figura 3B ilustra otra configuración idealizada para poner en práctica una realización de la invención usando dos rollos de membrana separados (38, 38'), ambos mostrados con secciones desenrolladas parcialmente de lámina de membrana con direcciones de rollo opuestas que se extienden a lo largo de un trayecto paralelo al eje (X) de un tubo de recogida de permeado colocado de manera adyacente (8). Como con la realización de la Figura 3A, la configuración ilustrada proporciona láminas de membrana (10, 10') en una orientación de solapamiento que está alineada de manera adyacente con el tubo de recogida de permeado (8). Aunque mostrados en extremos opuestos del tubo de recogida de permeado (8), los rollos de membrana (38, 38') también se pueden colocar y desenrollar desde un extremo común.

El rollo (38) en el que está enrollada la lámina de membrana se puede dotar o bien con el lado de membrana (34) o bien lado de soporte (36) encarando hacia fuera. En la realización de la Figura 3A, la lámina de membrana se desenrolla en una dirección de rollo (42, 42') de manera que el lado de soporte (36) encara hacia fuera y las secciones de solapamiento (10, 10') están orientadas de manera que sus lados de membrana (34) están encarándose entre sí. Como se describirá en conexión con las Figuras 5-6, esta configuración es útil para hacer paquetes de hojas de membrana. Mientras, si la lámina de membrana fuera invertida, (es decir de manera que se encaran los lados de soporte (36) de las secciones de solapamiento (10, 10')), la configuración es útil para hacer las envolventes de membrana como se describe en conexión con las Figuras 4A-4D. Ambos planteamientos son aplicables a la presente invención.

Como se describió previamente, no están particularmente limitados los métodos para preparar láminas de membrana que tienen variaciones en la permeabilidad al agua media y/o permeabilidad al soluto media. En referencia adicional a las Figuras 3A y 3B, se puede usar un proceso de fabricación de membrana continua en donde la química y/o recubrimientos de membrana se varían en la dirección a lo ancho (W) durante la producción del rollo de membrana (38). Por ejemplo, durante la formación de una capa semipermeable, se pueden aplicar diferentes reactivos o diferentes concentraciones de reactivos a posiciones diferentes en una superficie de soporte. En una reacción entre *m*-fenilendiamina y cloruro de trimesoilo, aplicar una concentración menor de amina al lado izquierdo de la membrana que al derecho provocará una permeabilidad al agua mayor para el lado izquierdo de la lámina. De manera similar, adicional a una cantidad pequeña de un monómero diferente, tal como *m*-fenilendiamina, a una reacción de piperacina y cloruro de trimesoilo puede reducir la permeabilidad al agua y sal a través de la anchura (W) de la lámina de membrana. De igual modo, también se puede usar enfriamiento o calor dirigido para variar la permeabilidad a través de la lámina de membrana. También se pueden aplicar o eliminar reactivos en diferentes ubicaciones bajo la línea para diferentes posiciones a través de la lámina de membrana, ya que el tiempo de reacción también puede ser un parámetro relevante en la determinación de las propiedades de rendimiento. Alternativamente, el espesor o la composición de un recubrimiento opcional (como se describe en la US 6280853; la US 2009/0159527 y la US 2010/0143733 de Mickols y la US 2007/0251883 y la US 2008/0185332 de Niu et al.) se puede variar a través de la anchura de la membrana para impartir las diferencias deseadas en permeabilidad al agua o soluto media.

Otro planteamiento para obtener una lámina de membrana con regiones de distinta permeabilidad al agua o permeabilidad al soluto es variar las propiedades a lo largo de la dirección del rollo (42). En un proceso de fabricación de membrana continua esto se puede hacer repitiendo periódicamente las condiciones que influyen en la formación de la membrana según se mueve la lámina de membrana (10) en la dirección de rollo (42). Como se describe para variantes a través de la anchura de la membrana, hay muchos parámetros que se pueden variar en el proceso para inducir las variaciones deseadas en las permeabilidades. Se pueden variar las condiciones bajo las que se forma la capa semipermeable (tiempo, temperatura, concentraciones, monómeros) o se pueden modificar las propiedades de la membrana después de su formación (como mediante recubrimiento o tratamiento posterior). Por ejemplo, en una reacción entre *m*-fenilendiamina y cloruro de trimesoilo, la posición en la que se aplica el cloruro de trimesoilo es un parámetro que se puede repetir en la escala de tiempo requerida. La concentración de amino aplicada también se puede repetir a la tasa deseada. Como se apreciará por los expertos en la técnica, la tasa a la que las condiciones necesitan ser repetidas depende de la velocidad de línea. La tasa de repetición llega a ser menos desafiante para realizaciones en donde la lámina de membrana está orientada con la dirección de rollo (42) paralela al tubo de recogida de permeado, particularmente si el módulo enrollado en espiral es más largo de 1 metro. Aunque los módulos enrollados en espiral son típicamente de a lo sumo un metro de longitud, hay una ventaja en el uso de longitudes más largas que 1,75 metros, 2,75 metros, 3,75 metros, 4,75 metros e incluso 5,75 metros. En una realización, la lámina de membrana usada para hacer los módulos se proporciona en un rollo continuo (38) y tiene

variaciones periódicas en la permeabilidad al agua o soluto (por ejemplo NaCl) media en la dirección del rollo (42), con un periodo entre 2 y 20 metros.

Las Figuras 4A-4D ilustran una realización de una envolvente de membrana y un módulo enrollado en espiral. Volviendo a la Figura 4A, se muestra de manera general una envolvente de membrana montada parcialmente en 4 incluyendo una primera y segunda sección rectangular (10, 10') de lámina de membrana. La envolvente de membrana (4) se forma mediante las secciones de solapamiento (10, 10') de manera que las direcciones de rollo (42) de ambas láminas (10, 10') son paralelas. Las secciones de solapamiento (10, 10') están dispuestas preferiblemente de manera que la dirección de rollo de ambas secciones son paralelas entre sí, y las regiones interior, exterior, de entrada y de salida de cada sección de lámina de membrana son directamente opuestas entre sí (como se muestra mejor en la Figura 2A). Los bordes de las secciones (10, 10') están alineados y sellados juntos a lo largo de tres bordes. El método para sellar las secciones juntas no está particularmente limitado, (por ejemplo aplicación de adhesivo o sellador (48), aplicación de cinta, aplicación localizada de calor y presión, etc.). Una vez sellados juntos como se muestra en la Figura 4B, la envolvente de membrana (4) incluye un borde no sellado o "borde próximo" (22) que es paralelo a las direcciones de rollo (42) de las secciones (10, 10'). La Figura 4C muestra la envolvente de membrana (4) en alineación a lo largo del tubo de recogida de permeado (8) de manera que el borde proximal (22) es paralelo con el eje (X) y en una posición proximal a lo largo del tubo de recogida de permeado (8). Una vez alineado, el borde proximal (22) está en comunicación de fluido con la(s) abertura(s) (24) a lo largo del tubo de recogida de permeado (8) pero está preferiblemente sellado de manera que el fluido de alimentación que fluye a través del módulo (mostrado como la flecha 26 en la Figura 1) se evita que pase directamente dentro del tubo de recogida de permeado (8). La Figura 4D muestra la envolvente de membrana (4) que está enrollada concéntricamente alrededor del tubo de recogida de permeado (8). Como se describió previamente, la envolvente de membrana (4) se puede formar en una ubicación remota y posteriormente ser alineada a lo largo de un tubo de recogida de permeado (como se muestra en la Figura 4C) durante el montaje del módulo. Alternativamente, la envolvente de membrana se puede formar de láminas de membrana que ya están alineadas con el tubo de recogida de permeado como se ilustra en las Figuras 3A-3B.

La Figura 5A ilustra una realización de un paquete de hojas de membrana montado parcialmente, mostrado de manera general en 50. El paquete de hojas de membrana (50) tiene cuatro bordes y se pueden preparar eliminando una parte rectangular de la lámina de membrana de un rollo (no mostrado). La parte se dobla entonces a lo largo de un eje paralelo con la dirección de rollo (42) de la lámina de membrana para formar una primera (52) y segunda (54) hoja que se extiende desde un pliegue (56). La parte se dobla de manera que los lados de membrana (34) de las hojas (52, 54) se encaran entre sí, preferiblemente con sus bordes alineados (es decir ambas hojas 52, 54 tienen aproximadamente la misma dimensión).

Como se muestra en la Figura 5B, se puede formar una envolvente de membrana (4) solapando un primer paquete de hojas de membrana (50') sobre un segundo paquete de hojas de membrana (50) de manera que el lado de soporte (no mostrado) de una hoja de membrana (54') del primer paquete de hojas de membrana (50') encara el lado de soporte (36) de una hoja de membrana (52) del segundo paquete de hojas de membrana (50). Los bordes del primer o segundo paquetes de hojas de membrana (50, 50') están alineados de manera que los pliegues (56, 56') de cada uno están alineados y son paralelos entre sí. Las hojas de membrana enfrentadas (54', 52) están selladas juntas a lo largo de tres bordes (48) perimetralmente de manera que un cuarto borde no sellado define un borde proximal (22) que está alineado y es paralelo a los pliegues (56, 56') del primer y segundo paquetes de hojas de membrana (50, 50'). Como con las realizaciones de la Figura 1 y las Figuras 4C-4D, el borde proximal (22) de la envolvente de membrana (22) está en comunicación de fluido con el tubo de recogida de permeado a través de aberturas (24).

La Figura 6A ilustra una realización alternativa de un paquete de hojas de membrana (50") que comprende una primera y segunda sección rectangular (10, 10') de lámina de membrana. Las secciones (10, 10') se eliminan de al menos un rollo (no mostrado). Cada sección (10, 10') tiene cuatro bordes y dos lados opuestos incluyendo un lado de membrana (34) y un lado de soporte (36). El paquete de hojas de membrana (50") se forma solapando la primera sección (10) sobre la segunda (10') de manera que la dirección de rollo (42) de ambas secciones (10, 10') son paralelas entre sí y el lado de membrana (34) de ambas secciones (10, 10') se encaran entre sí. Los bordes de las secciones (10, 10') están alineados y ambas secciones están selladas juntas a lo largo de un borde alineado (58) que es paralelo a la dirección de rollo (42) de ambas secciones (10, 10'), en lo sucesivo conocido como un "borde sellado" (58). Los medios para sellar el borde sellado (58) no están limitados. Por ejemplo, en las realizaciones de las Figuras 6A y 6B, se dispone cinta (60) a lo largo de la longitud del borde sellado (58); mientras que la Figura 6C ilustra una realización en donde se aplican calor y presión (representado por flechas hacia dentro) para sellar las secciones (10, 10') juntas para formar el borde sellado (58). Aunque no se muestran, se pueden usar también selladores tales como adhesivos para formar el borde sellado (58). Se pueden formar envolventes de membrana usando los paquetes de hojas de membrana (50") de la Figura 6A de la misma manera que se describe en conexión con la Figura 5B.

Como se muestra en la Figura 7, el módulo enrollado en espiral (2) puede incluir una pluralidad de envolventes de membrana (4). Aunque se muestran seis envolventes de membrana, realizaciones preferidas incluyen al menos 3, y en algunas realizaciones al menos 20 o incluso 50. El módulo enrollado en espiral (2) comprende un dominio interior (62) (representado por el área dentro de un círculo concéntrico interior mostrado con líneas discontinuas) que

5 comprende un 25% del área de membrana del módulo y está situado más cercano (es decir concéntricamente alrededor) al tubo de recogida de permeado (8). El módulo (2) además comprende un dominio exterior (64) (representado por el área fuera del círculo concéntrico exterior mostrado con líneas discontinuas) que comprenden un 25% del área de membrana total del módulo y está situado lo más distal alrededor del tubo de recogida de permeado (8). El 50% restante del área de membrana total se sitúa dentro del dominio intermedio (68). La permeabilidad al agua media (o permeabilidad al soluto media) de la membrana situada dentro del dominio exterior (64) del módulo es preferiblemente al menos un 10%, 25% o incluso un 40% mayor que la permeabilidad al agua media (o permeabilidad al soluto) de la lámina de membrana en el dominio interior del módulo (62).

10 La Figura 8 ilustra otra realización de la invención en donde el módulo enrollado en espiral (2) comprende un dominio de entrada y de salida (70, 72) cada uno que comprende un 25% del área de membrana total del módulo y se sitúan adyacentes a la primera y segunda caras de desplazamiento (30, 32), con el 50% restante del área de membrana que constituye un dominio central (74). La permeabilidad al agua media (o permeabilidad al soluto media) de la membrana situada dentro del dominio de entrada (70) es preferiblemente al menos un 10%, 25% o incluso un 40% mayor que la permeabilidad al agua media (o permeabilidad al soluto media) de la membrana en el dominio de salida del módulo (72).

15 Las realizaciones pueden incluir una combinación de rasgos descritos en conexión con las realizaciones de las Figuras 7 y 8. Por ejemplo, el dominio de salida puede tener una permeabilidad al agua media que excede el dominio interior en un 10%, 25%, o incluso un 40%, aunque la membrana en el dominio de salida del módulo es al menos un 25% o incluso un 40% mayor que la membrana en el dominio de entrada del módulo.

20 Como se muestra en la Figura 1, los módulos enrollados en espiral de la presente invención pueden incluir opcionalmente una o más láminas separadoras de canal de alimentación (6). Durante la fabricación de un módulo enrollado en espiral, se puede colocar una lámina separadora de canal de alimentación en alineamiento plano (es decir solapada) con una envolvente de membrana anterior a enrollar la envolvente de membrana alrededor del tubo de recogida de permeado. Un módulo enrollado en espiral con dominios de entrada y de salida que difieren sustancialmente en las permeabilidades al agua y/o soluto medias es particularmente ventajoso cuando se usa un separador de alimentación que se caracteriza por tener una caída de presión mayor que 1,5 bar cuando se fluyen a través del mismo 0,12 m/seg de agua a 25°C.

25 Como también se muestra en la Figura 1, los módulos enrollados en espiral de la presente invención pueden incluir opcionalmente una o más láminas separadoras de canal de permeado (12). Una lámina separadora de canal de permeado se puede colocar dentro de la envolvente de membrana de manera que la lámina de permeado se extiende desde el borde proximal de la envolvente de membrana anterior a enrollar la envolvente alrededor del tubo de recogida de permeado. Un módulo enrollado en espiral con dominios interior y exterior que difieren sustancialmente en las permeabilidades al agua y/o soluto es particularmente ventajoso cuando el separador de canal de permeado tiene una resistencia relativamente alta para fluir en la dirección perpendicular al tubo de recogida de permeado. En una geometría preferida, el coeficiente de caída de presión "C<sub>p</sub>" en la lámina separadora de permeado (en la dirección perpendicular al tubo de recogida de permeado) se elige para el módulo en base a la ecuación de más abajo:

(Fórmula IV)

$$C_p \equiv \frac{1}{Q_p(x)} \frac{dP(x)}{dx} > \frac{K}{A_{med} W^2}$$

en donde:

40 "W" es la anchura de la lámina de membrana (es decir desde el tubo de recogida de permeado al extremo distal de la envolvente de membrana),

"P" es la presión en la ubicación "x" situada a lo largo de la anchura (W) de la lámina de membrana,

"A<sub>med</sub>" es la permeabilidad al agua media de la lámina de membrana dentro del módulo,

"Q<sub>p</sub>" es la tasa de flujo de permeado por unidad de anchura, y

45 "K" es un valor numérico mayor que 0,6, más preferiblemente mayor que 0,75 y en algunas realizaciones mayor que 0,9.

Aunque C<sub>p</sub> es aproximadamente una constante de la lámina separadora de permeado, para los propósitos de la presente descripción, C<sub>p</sub> se puede determinar usando una tasa de flujo Q<sub>p</sub> dentro de la lámina separadora de permeado que es una media para un módulo enrollado en espiral cuando se opera a un flujo medio de 1 L/m<sup>2</sup>/día con agua pura en un pH de 7 y 25°C.

50 Aunque no se muestra, las láminas separadoras de canal de alimentación y láminas separadoras de canal de permeado se pueden proporcionar a partir de rollos de manera similar a aquella de la lámina de membrana, que se

- muestra en las Figuras 3A y 3B. El uso de rollos alineados de materiales de lámina facilita la producción de módulos largos (por ejemplo más largos de 1 metro y preferiblemente al menos de 1,75 metros, 2,75 metros, 3,75 metros, 4,75 metros e incluso 5,75 metros de largo). El uso de materiales de lámina que tienen valores de módulo elástico más altos en la longitud o dirección del rollo comparado con la dirección de anchura (por ejemplo preferiblemente mayor x3) además facilita la producción de tales módulos largos debido a la resistencia dimensional aumentada a lo largo de la longitud de los módulos. El módulo en espiral también puede incluir fibra de vidrio o una cinta en la circunferencia del módulo que se alinea con el tubo de permeado (como se describe en la US 61/255121), y esto puede proporcionar resistencia a los módulos, especialmente los módulos de al menos 1,75 metros, 2,75 metros, 3,75 metros, 4,75 metros e incluso 5,75 metros de longitud.
- 5
- 10 Se han descrito muchas realizaciones de la invención y en algunos casos ciertas realizaciones, selecciones, gamas, constituyentes, u otros rasgos se han caracterizado como que son "preferidos". Tales designaciones de rasgos "preferidos" no deberían ser interpretadas de ninguna manera como un aspecto esencial o crítico de la invención. Aunque se han descrito en detalle láminas de membrana que incluyen capas de poliamida de película delgada, se pueden usar otros tipos capas de membrana de hiperfiltración.
- 15 El contenido entero de cada una de las patentes y solicitudes de patente antes mencionadas se incorpora en la presente memoria por referencia.

**REIVINDICACIONES**

1. Un módulo enrollado en espiral (2) que comprende:
- un tubo de recogida de permeado (8),
  - al menos una envolvente de membrana (4) enrollada alrededor del tubo de recogida (8) y que define una primera y segunda cara de desplazamiento (30, 32),
  - en donde la envolvente de membrana (4) comprende una sección de lámina de membrana (10) que tiene un área de membrana activa, una longitud que corresponde a la distancia entre la primera y segunda caras de desplazamiento (30, 32), una anchura que se extiende en una dirección perpendicular a la longitud, al menos un eje longitudinal que se extiende a lo largo de la longitud de la lámina (10) y que divide la lámina en una región interior y exterior (37, 39) con la región interior (37) situada adyacente al tubo de recogida de permeado (8), y al menos un eje de latitud que se extiende a lo largo de la anchura de la lámina (10) y que divide la lámina (10) en una región de entrada y de salida (41, 43) con la región de entrada (41) situada adyacente a la primera cara de desplazamiento (30),
  - en donde la lámina de membrana (4) comprende una capa de membrana semipermeable y una capa de soporte, y
  - en donde el módulo enrollado en espiral (2) se **caracteriza por** las láminas de membrana (10, 10') que se preparan de manera que el área de membrana activa de la lámina de membrana (10) tiene una permeabilidad al agua media o permeabilidad al soluto media que varía en al menos un 10% entre al menos uno de: i) las regiones interior y exterior (37, 39) y ii) las regiones de entrada y de salida (41, 43).
2. El módulo enrollado en espiral (2) de la reivindicación 1 además **caracterizado por** la lámina de membrana (10) que tiene una permeabilidad al agua media que varía en al menos un 25% entre al menos una de:
- i) las regiones interior y exterior (37, 39) y ii) las regiones de entrada y de salida (41, 43).
3. El módulo enrollado en espiral (2) de la reivindicación 1 además **caracterizado por** la lámina de membrana (10) que tiene una permeabilidad al agua media que varía en al menos un 40% entre al menos una de:
- i) las regiones interior y exterior (37, 39) y ii) las regiones de entrada y de salida (41, 43).
4. El módulo enrollado en espiral (2) de la reivindicación 1 en donde la permeabilidad al agua media de la región exterior (43) de la lámina de membrana (10) es al menos un 25% mayor que la permeabilidad al agua media de la región interior (41).
5. El módulo enrollado en espiral (2) de la reivindicación 1 en donde la permeabilidad al agua media de la región de salida (43) de la lámina de membrana (10) es al menos un 25% mayor que la permeabilidad al agua media de la región de entrada (41).
6. El módulo enrollado en espiral de la reivindicación 1 en donde la sección de lámina de membrana tiene un área, en donde las regiones interior y exterior cada una comprende un 25% de dicho área y en donde la región exterior tiene una permeabilidad al agua media al menos un 10% mayor que la permeabilidad al agua media de la región interior.
7. El módulo enrollado en espiral de la reivindicación 1 en donde la sección de lámina de membrana tiene un área, en donde las regiones de entrada y de salida cada una comprende un 25% de dicho área y en donde la región de salida tiene una permeabilidad al agua media al menos un 25% mayor que la permeabilidad al agua media de la región de entrada.
8. Un método para hacer un módulo enrollado en espiral que comprende:
- proporcionar un tubo de recogida de permeado;
  - proporcionar al menos un rollo de lámina de membrana,
  - en donde la lámina de membrana comprende: una capa de membrana semipermeable y una capa de soporte que se enrollan en una dirección de rollo;
  - eliminar una primera y segunda sección rectangular de lámina de membrana a partir de al menos un rollo,
  - en donde cada sección incluye: cuatro bordes, dos lados opuestos que incluyen un lado de membrana y un lado de soporte, una longitud en la dirección del rollo, una anchura que se extiende en una dirección perpendicular a la longitud, al menos un eje longitudinal que se extiende a lo largo de la longitud de la sección y que divide la lámina de membrana en una región interior y exterior, y al menos un eje de latitud

- que se extiende a lo largo de la anchura y que divide la lámina de membrana en una región de entrada y de salida,
- en donde cada sección tiene una permeabilidad al agua media que varía en al menos un 10% entre al menos uno de: i) las regiones interior y exterior y ii) las regiones de entrada y de salida;
- 5 formar una envolvente de membrana mediante:
- el solapamiento de la primera sección de lámina de membrana en la segunda sección de manera que:
- la dirección del rollo de ambas secciones son paralelas entre sí, y
- las regiones interior, exterior, de entrada y de salida de cada sección de lámina de membrana están opuestas directamente entre sí;
- 10 alinear los bordes de ambas secciones de lámina de membrana entre sí;
- sellar ambas secciones de lámina de membrana juntas a lo largo de tres de los bordes alineados de manera que un cuarto borde no sellado es paralelo a la dirección del rollo de ambas secciones y define un borde proximal; y
- 15 enrollar la envolvente de la membrana concéntricamente alrededor del tubo de recogida de permeado de manera que el borde proximal de la envolvente de membrana está en una posición proximal a lo largo del tubo de recogida de permeado.
9. El método de la reivindicación 8 además **caracterizado por** cada sección de lámina de membrana que tiene una permeabilidad al agua media que varía en al menos un 25% entre al menos una de:
- i) las regiones interior y exterior y ii) las regiones de entrada y salida.
- 20 10. El método de la reivindicación 8 en donde la permeabilidad al agua media de la región exterior de cada sección de lámina de membrana es al menos un 25% mayor que la permeabilidad al agua media de la región interior.
11. El método de la reivindicación 8 en donde la permeabilidad al agua media de la región de salida de cada sección de lámina de membrana es al menos un 25% mayor que la permeabilidad al agua media de la región de entrada.
- 25 12. El método de la reivindicación 8 en donde la capa de membrana semipermeable comprende una membrana de hiperfiltración.
13. El método de la reivindicación 8 en donde cada sección de lámina de membrana tiene un módulo elástico, y en donde el módulo elástico en la dirección de rollo es al menos 1,5 veces mayor que el módulo elástico en una dirección perpendicular a la dirección del rollo.
- 30 14. El método de la reivindicación 8 en donde el tubo de recogida de permeado tiene una longitud, el rollo de lámina de membrana tiene una anchura, y en donde el paso de eliminar las secciones rectangulares de la lámina de membrana del rollo comprende:
- desenrollar y separar las secciones rectangulares de lámina de membrana de al menos un rollo, en donde cada sección tiene una longitud que se extiende en la dirección de rollo que corresponde a la longitud del tubo de recogida de permeado y una anchura que corresponde a la anchura del rollo; y
- 35 en donde la longitud de sección de la lámina de membrana es al menos dos veces más grande que la anchura.
15. El método de la reivindicación 8 en donde el módulo enrollado en espiral es al menos de 1,75 metros de largo.

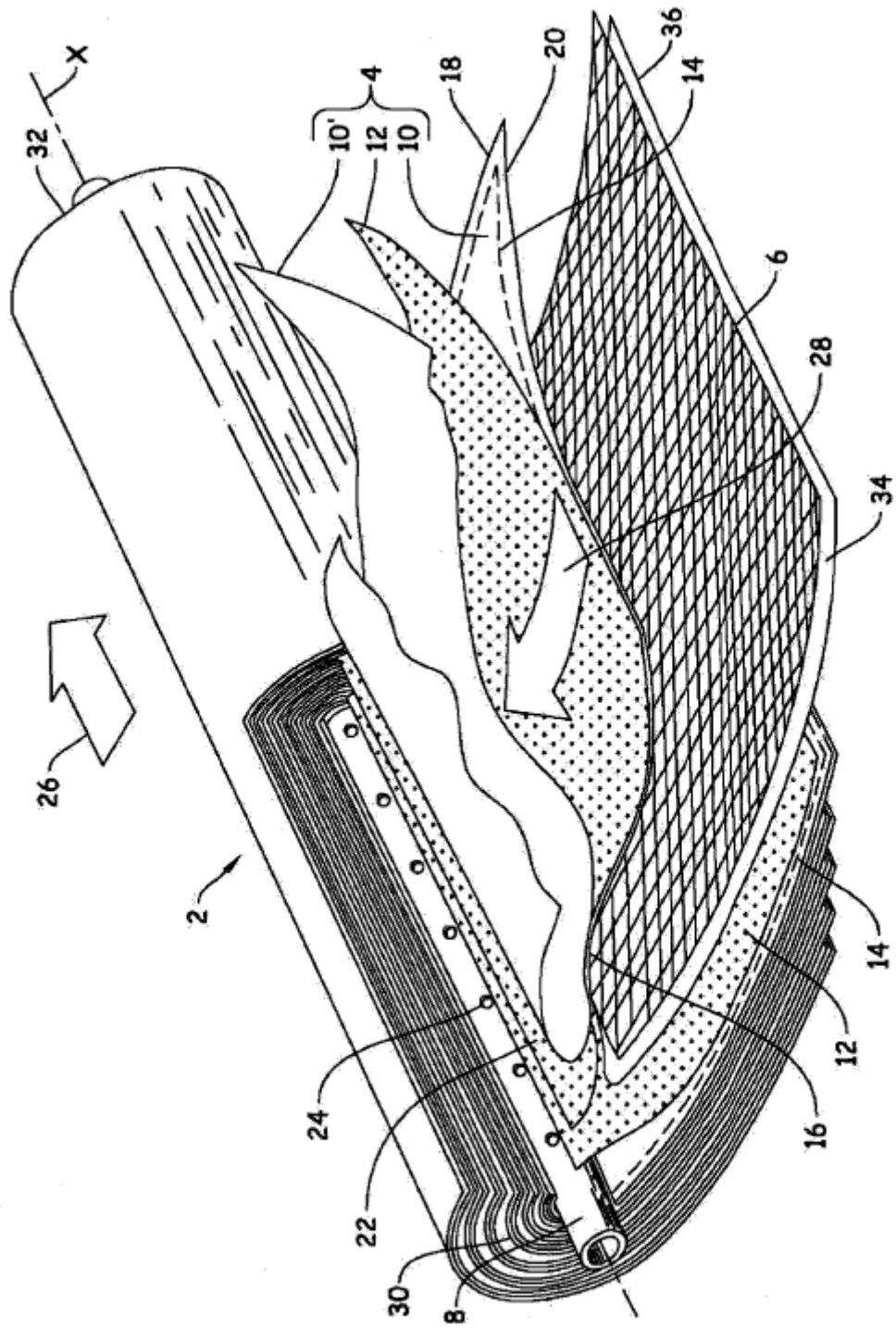


Fig. 1

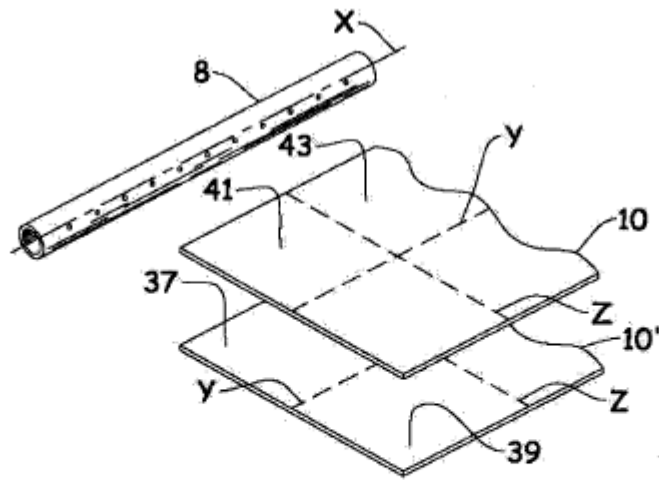


Fig. 2A

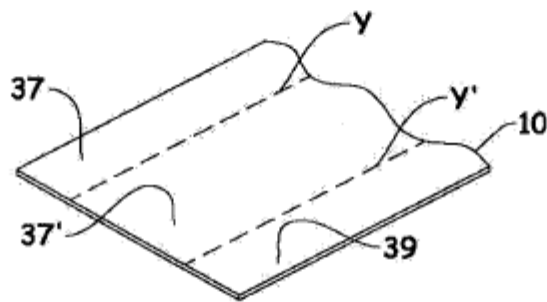


Fig. 2B

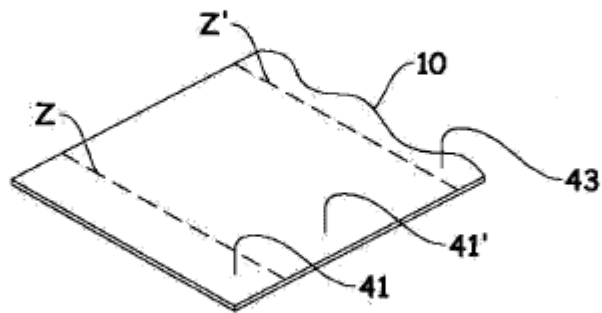


Fig. 2C



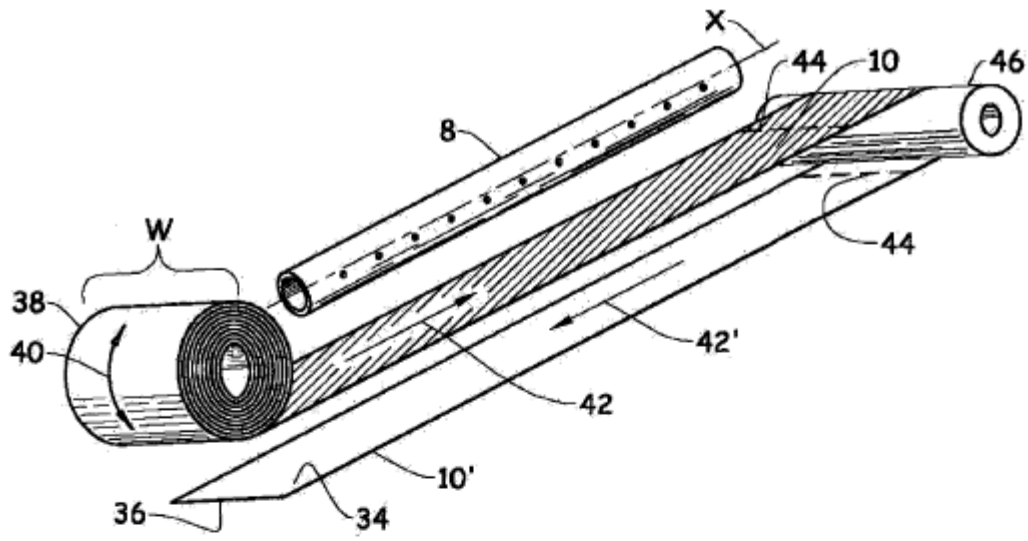


Fig. 3A

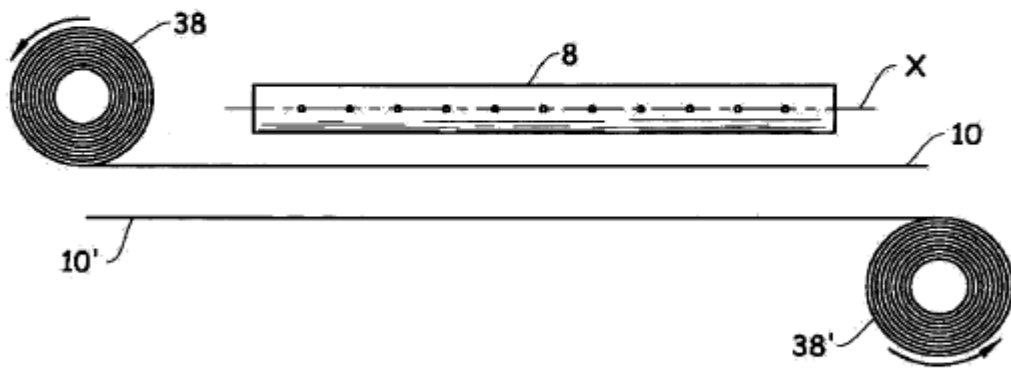
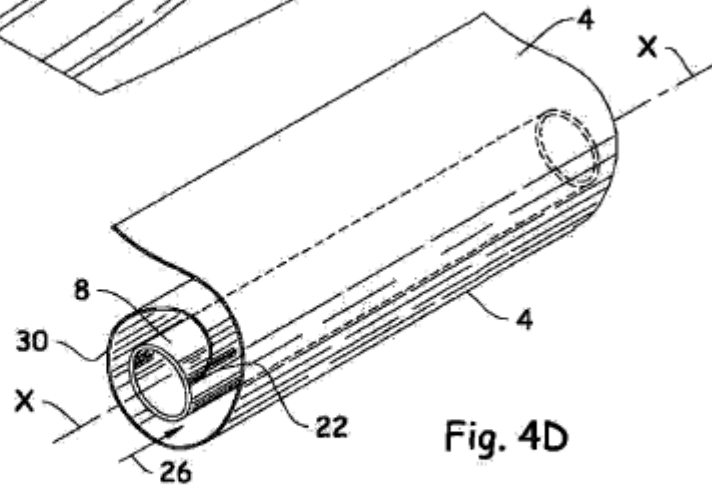
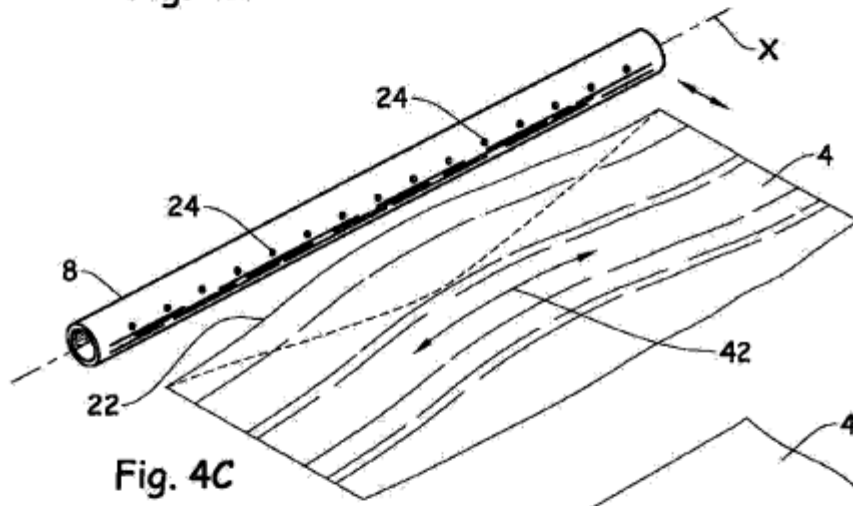
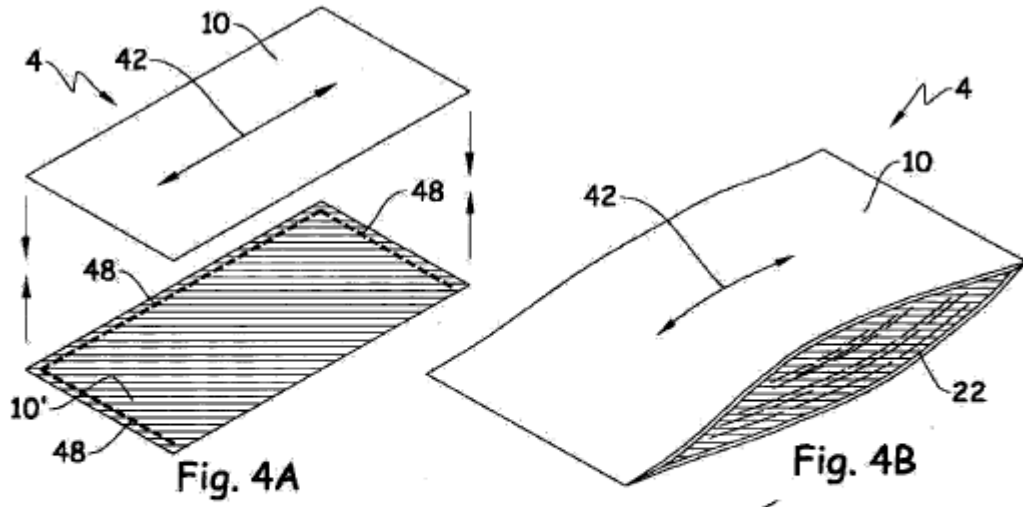


Fig. 3B



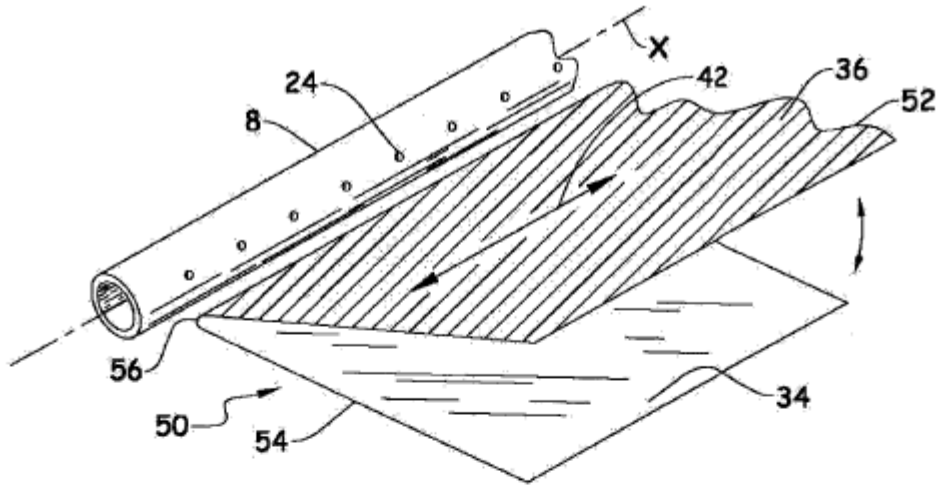


Fig. 5A

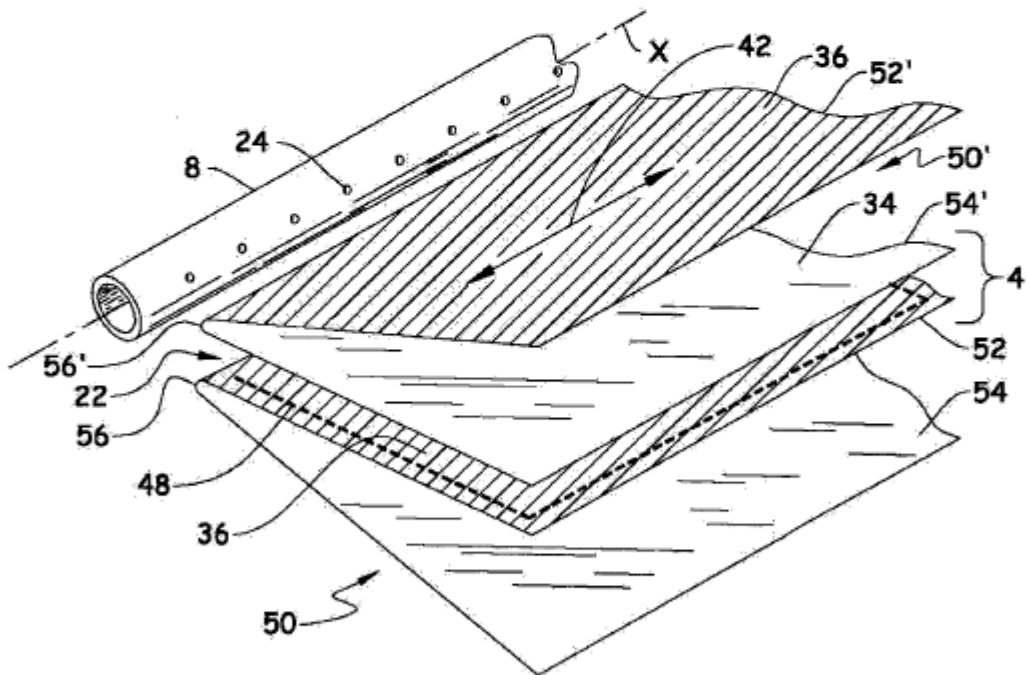


Fig. 5B

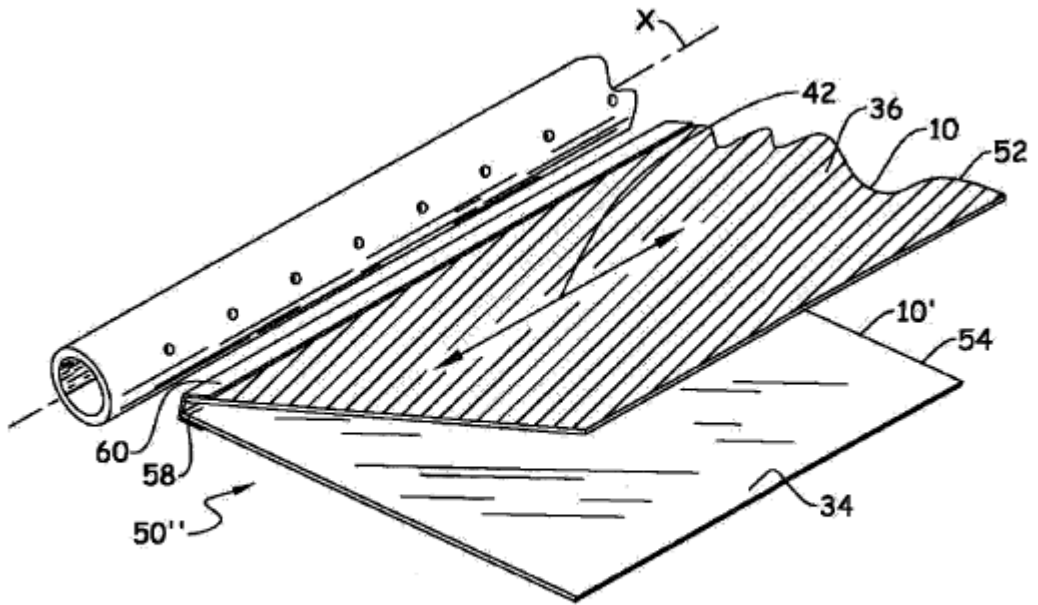


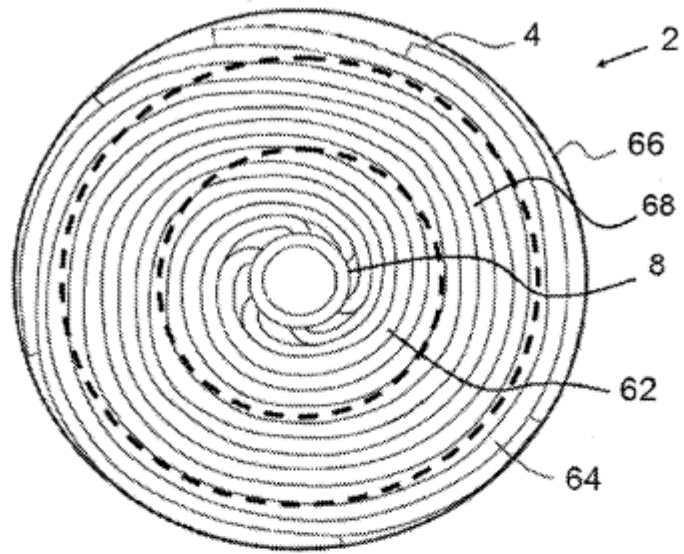
Fig. 6A



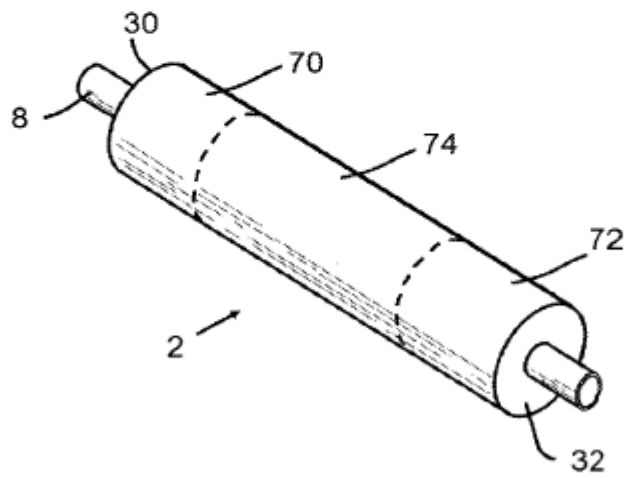
Fig. 6B



Fig. 6C



**Fig. 7**



**Fig. 8**