

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 971 971**

51 Int. Cl.:

**B01D 63/10** (2006.01)

**B01D 63/12** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.01.2020** **PCT/US2020/014750**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.08.2020** **WO20159792**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.01.2020** **E 20705878 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.11.2023** **EP 3917652**

54 Título: **Medición de diferencias de presión dentro de un recipiente de módulos de membrana enrollada en espiral**

30 Prioridad:

**29.01.2019 US 201962798060 P**

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

**10.06.2024**

73 Titular/es:

**DDP SPECIALTY ELECTRONIC MATERIALS US,  
LLC (100.0%)  
974 Centre Road, Chestnut Run Plaza 730  
Wilmington, DE 19810, US**

72 Inventor/es:

**JONS, STEVEN D.;  
FRANKLIN, LUKE y  
TOMLINSON, IAN A.**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 971 971 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

Medición de diferencias de presión dentro de un recipiente de módulos de membrana enrollada en espiral

## Campo

5 La invención se refiere en general a módulos de membrana enrollada en espiral y a conjuntos relacionados útiles para la separación o concentración de constituyentes en fluidos.

## Introducción

10 Los módulos de membrana enrollada en espiral se utilizan en varias aplicaciones de separación de fluidos, incluidas la ósmosis inversa, la nanofiltración, la ultrafiltración y la microfiltración. En la práctica industrial típica, dentro de un recipiente a presión, común, se conectan en serie módulos de membrana enrollada en espiral ("elementos"). Las instalaciones a menudo incluyen múltiples trenes y/o etapas de recipientes, cada uno de los cuales incluye de 4 a 8 módulos de membrana enrollada en espiral. Particularmente para membranas de alta permeabilidad, tales como en microfiltración y ultrafiltración, el mantenimiento de una distribución uniforme del flujo en todo el recipiente puede ser un problema. Las presiones tanto en el lado de alimentación como en el de permeado variarán en las direcciones tanto axial como radial, tanto dentro de un módulo como entre módulos a lo largo del recipiente. Las diferencias en la presión neta de trabajo modificarán el flujo y, a su vez, afectarán al rendimiento de la separación, al ensuciamiento [*fouling*] y a la capacidad de limpiar posteriormente los módulos.

15 La monitorización de la presión en varios puntos del conjunto identificaría pérdidas de presión y permite a los operarios tomar medidas adecuadas (por ejemplo, sustitución selectiva de módulos, aumento del pretratamiento del fluido de alimentación, limpieza más agresiva de los módulos). Sin embargo, debido a que los módulos están sellados dentro de recipientes a presión, es difícil monitorizar la pérdida de presión en diferentes puntos. No obstante, se han desarrollado una variedad de técnicas, véanse por ejemplo los documentos: US2014/0180610, US8808539, US8617397, US8568596, US8519559, US8272251, US8210042, US7886582, US2011/10114561, WO2012/117669 y JP2016/019932. También se han utilizado técnicas similares en otros tipos de dispositivos de filtración, por ejemplo, los documentos US6936160, US7048775 y US8221522. Se desean sistemas de monitorización menos complicados, incluidos aquellos que ofrezcan uno o más de los siguientes: i) mayor precisión, ii) poca modificación de los módulos y recipientes a presión existentes, iii) uso de menos sensores o sensores más simples y iv) evitar sondas retráctiles.

20 El documento WO 2019/022864 da a conocer un módulo de membrana enrollada en espiral que incluye una monitorización de presión diferencial integrada.

## Compendio

30 La invención incluye un módulo de membrana enrollada en espiral y conjuntos relacionados que incluyen un recipiente a presión, su método de fabricación y uso, y combinaciones de dichos conjuntos. Los módulos de membrana enrollada en espiral incluyen al menos una envoltura de membrana enrollada alrededor de un tubo de recogida de permeado.

La presente invención va dirigida a un conjunto (21) de módulos enrollados en espiral que comprende:

35 a) un recipiente (40) a presión que comprende: una cámara (41) que incluye una superficie periférica interior (60) que se extiende a lo largo de un eje (X) entre un primer extremo (38) de recipiente y un segundo extremo (38') de recipiente, y al menos un puerto (42) de entrada de alimentación, un puerto (42') de salida de concentrado y un puerto (44) de salida de permeado;

b) un primer módulo (2') enrollado en espiral ubicado dentro de la cámara (41), comprendiendo dicho primer módulo (2') enrollado en espiral:

40 i) al menos una primera envoltura (4') de membrana enrollada alrededor de un primer tubo hueco (8') de recogida de permeado para formar un cilindro con una primera cara helicoidal (30'), una primera cara helicoidal opuesta (32'), y una primera superficie periférica exterior (3'),

45 ii) una primera sección central porosa (15') del primer tubo (8') de recogida de permeado está ubicada axialmente entre dos primeras secciones distales (23', 25'), en donde la primera sección central porosa (15') contiene un primer grupo de orificios (24') que pasan desde una primera superficie interior (5') a una primera superficie exterior (7') del primer tubo (8') de recogida de permeado y que conectan un primer canal (12') de permeado dentro de la primera envoltura (4') de membrana a la primera cavidad interior (9') del primer tubo (8') de recogida de permeado,

50 iii) un primer canal (6') de alimentación adyacente a la primera envoltura (4') de membrana, en donde el primer canal (6') de alimentación es adecuado para permitir un flujo de alimentación a través del primer módulo (2') enrollado en espiral entre la primera cara helicoidal (30') y la primera cara helicoidal opuesta (32'), y

iv) un primer conjunto (31') de tapa terminal fijado al primer módulo (2') enrollado en espiral y que hace tope con la primera cara helicoidal (30'), incluyendo dicho primer conjunto (31') de tapa terminal un primer anillo exterior (33') que define una primera periferia exterior (36') del primer conjunto (31') de tapa terminal; y

c) un segundo módulo (2'') enrollado en espiral adyacente al primer módulo (2'') enrollado en espiral, comprendiendo dicho segundo módulo (2'') enrollado en espiral:

i) al menos una segunda envoltura (4'') de membrana enrollada alrededor de un segundo tubo hueco (8'') de recogida de permeado para formar un cilindro con una segunda cara helicoidal (30''), una segunda cara helicoidal opuesta (32'') y una segunda superficie periférica exterior (3''),

ii) una segunda sección central porosa (15'') del segundo tubo (8'') de recogida de permeado está ubicada axialmente entre segundas secciones distales (23'', 25'') del segundo tubo (8'') de recogida de permeado, en donde la segunda sección central porosa (15'') contiene un segundo grupo de segundos orificios (24'') que pasan desde la segunda superficie interior (5'') a la segunda superficie exterior (7'') del segundo tubo (8'') de recogida de permeado y que conectan un segundo canal (12'') de permeado dentro de la segunda envoltura (4'') de membrana a la segunda cavidad interior (9'') del segundo tubo (8'') de recogida de permeado,

iii) un segundo canal (6'') de alimentación adyacente a la segunda envoltura (4'') de membrana, en donde el segundo canal (6'') de alimentación es adecuado para permitir un flujo de alimentación a través del segundo módulo (2'') enrollado en espiral entre la segunda cara helicoidal (30'') y la segunda cara helicoidal opuesta (32''), y

iv) un segundo conjunto (31'') de tapa terminal fijado al segundo módulo (2'') enrollado en espiral y que hace tope con la segunda cara helicoidal (30'');;

en donde el primer conjunto (31') de tapa terminal es adyacente al segundo conjunto (32'') de tapa terminal; una vía (61) de fluido de alimentación pasa a través de una región central (63) ubicada entre la primera cara helicoidal (30') y la segunda cara helicoidal (30'') y conecta el primer canal (6') de alimentación con el segundo canal (6'') de alimentación; comprendiendo la vía (61) de fluido de alimentación una vía (65) de acceso al fluido de alimentación conectada al primer canal (6') de alimentación en la primera cara helicoidal (30'); y el primer anillo exterior (33') rodea la vía (65) de acceso al fluido de alimentación e incluye una resistencia (19) de flujo de alimentación anular que se extiende radialmente y que está en contacto con la superficie periférica interior (60) de la cámara (41); y

en donde el conjunto (21) de módulos enrollados en espiral se caracteriza por:

a) el primer y el segundo conjuntos (31', 31'') de tapa terminal permiten una trayectoria periférica (64) alrededor de la segunda cara helicoidal (30'') que conecta fluidicamente la región central (63) y un segundo espacio periférico (62''), en donde el segundo espacio periférico (62'') está ubicado entre la segunda superficie periférica exterior (3'') del segundo módulo (2'') enrollado en espiral y la superficie periférica interior (60) de la cámara (41);

b) un conjunto (59) de tapa terminal instrumentalizado seleccionado de entre el primer conjunto (31') de tapa terminal y el segundo conjunto (31'') de tapa terminal, en donde el conjunto (59) de tapa terminal instrumentalizado comprende un conducto (45) de conexión que pasa radialmente a través de una porción del conjunto (59) de tapa terminal instrumentalizado, definiendo dicho conducto (45) de conexión un paso de fluido entre un extremo (46) de conducto interior y un extremo (47) de conducto exterior; y

c) un sensor (49) de presión diferencial unido al conjunto (59) de tapa terminal instrumentalizado y conectado fluidicamente tanto al conducto (45) de conexión como a la vía (65) de acceso al fluido de alimentación.

### Breve descripción de los dibujos

Las figuras no están a escala e incluyen vistas idealizadas para facilitar la descripción. Siempre que fue posible, se han utilizado los mismos números en todas las figuras y en la descripción escrita para designar características iguales o similares. Algunas figuras y descripciones incluyen comillas bien simples o bien dobles después de los números para indicar características correspondientes o bien al primer o bien al segundo módulo de dos módulos adyacentes. En otros casos, se ha utilizado una comilla simple para designar un elemento similar en una ubicación diferente, tal como en el otro extremo de un tubo o recipiente de permeado.

La **figura 1** es una vista en perspectiva, parcialmente recortada, de un módulo de membrana enrollada en espiral parcialmente ensamblado, que incluye flechas para indicar el flujo de alimentación axial y el flujo de permeado radial hacia dentro.

La **figura 2a** es una vista en perspectiva que ilustra una lámina de membrana desenrollada del tubo de permeado, y tapas terminales que pueden usarse para cubrir partes de las caras helicoidales opuestas con el fin de inducir flujo radial, desde una superficie periférica exterior a una región en el extremo de aguas abajo y cerca del tubo de permeado.

La **figura 2b** es una vista en perspectiva que ilustra un módulo enrollado en espiral arrollado (correspondiente a la figura 2a) y tapas terminales para bloquear parcialmente la cara helicoidal e inducir flujo radial. Las flechas ilustran un flujo de alimentación radial, con concentrado retirado de una región del canal de alimentación cerca del tubo de permeado.

La **figura 3** es una vista en perspectiva, parcialmente recortada, de un conjunto de módulos de membrana enrollada en espiral que muestra un módulo de membrana enrollada en espiral ubicado dentro de un recipiente a presión, que incluye un primer y un segundo módulos enrollados en espiral adyacentes.

5 Las **figuras 4a, 4b y 4c** muestran vistas en perspectiva (a la izquierda) de extremos de módulos enrollados en espiral con tres conjuntos de tapa terminal diferentes y secciones transversales correspondientes (a la derecha), en la ubicación de un conducto que pasa a través del anillo exterior. Para las tres figuras, la resistencia del flujo de alimentación en el anillo comprende, respectivamente, a) roscas continuas alrededor de su diámetro exterior, b) una junta hermética para salmuera y c) un anillo dividido con solape, en expansión.

10 Las **figuras 5a, 5b, y 5c** muestran secciones transversales a través de tres pares diferentes de conjuntos de tapa terminal adyacentes, cada uno de los cuales comprende además al menos un conducto de conducción que pasa a través de un anillo interior de un conjunto de tapa terminal y conecta la cavidad interior del tubo de recogida de permeado a un sensor de presión diferencial. Cada figura ilustra una vía de acceso al fluido de alimentación que incluye una abertura cerca del centro de una cara helicoidal y una trayectoria periférica alrededor de la otra cara helicoidal.

15 La **figura 5d** es una sección transversal de dos conjuntos de tapa terminal adyacentes y una vía de acceso al fluido de alimentación que pasa tanto entre como a través de las caras helicoidales adyacentes. Dos conductos de conexión diferentes pasan radialmente a través de cada uno de un anillo interior y un anillo exterior, estando conectado fluidicamente cada conducto de conexión a un sensor de presión diferencial.

20 La **figura 6a** es una vista en corte de un módulo de membrana enrollada en espiral dentro de un recipiente a presión. El módulo contiene un conducto de conexión a través del anillo exterior de un conjunto de tapa terminal y un sensor de presión diferencial dentro del anillo exterior.

La **figura 6b** es una sección transversal del conjunto de recipiente, módulo y tapa terminal en la ubicación del conducto de conexión y el sensor de presión diferencial. El conducto de conexión conecta fluidicamente el sensor de presión diferencial al espacio periférico entre el módulo y el recipiente.

25 La **figura 7a** es una vista en corte de un módulo de membrana enrollada en espiral que incluye dos conductos de conexión, cada uno de los cuales conecta fluidicamente con un sensor de presión diferencial. Un limitador de flujo de permeado está ubicado dentro de la cavidad interior del tubo de recogida de permeado, entre el miembro de sellado y la sección porosa del tubo de recogida de permeado.

La **figura 7b** proporciona una vista en perspectiva, ampliada, de una región de la figura 7a.

30 La **figura 8** es una vista en sección transversal que muestra otra realización de un conjunto de tapa terminal que muestra otra realización de un sensor de presión que incluye una película estirable que evita el flujo a través del conducto de conexión e incluye una galga extensométrica resistiva.

La **figura 9** es una vista esquemática que muestra un circuito eléctrico aplicable al sensor de presión en cuestión.

35 La **figura 10** es una vista en sección transversal de un conjunto de módulos de membrana enrollada en espiral que incluye una pluralidad de módulos de membrana enrollada en espiral alineados axialmente en una relación en serie dentro de un recipiente a presión. Para facilitar la descripción, no se muestran las características de los conjuntos de tapa terminal.

### Descripción detallada

40 Los módulos de membrana enrollada en espiral incluyen una o más envolturas de membrana y láminas espaciadoras de alimentación enrolladas alrededor de un tubo de recogida de permeado. Si bien el uso más común de las configuraciones enrolladas en espiral es para ósmosis inversa (RO) y nanofiltración (NF), la presente invención también es particularmente adecuada para su uso en aplicaciones de baja presión, tales como ultrafiltración (UF) y microfiltración (MF).

45 En la **figura 1** se muestra de manera general con la referencia 2 un módulo de membrana enrollada en espiral representativo. El módulo (2) se forma enrollando concéntricamente una o más envolturas (4) de membrana y lámina(s) espaciadora(s) de alimentación opcional(es) ("espaciadores de alimentación") alrededor de un tubo hueco (8) de recogida de permeado, formando envolturas (4) de membrana alternas y canales (6) de alimentación. Cada envoltura (4) de membrana comprende preferiblemente dos secciones sustancialmente rectangulares de lámina (10, 10') de membrana. Cada sección de lámina (10, 10') de membrana a menudo comprende una membrana o lado frontal y un soporte o lado posterior. La envoltura (4) de membrana se forma superponiendo láminas (10, 10') de membrana y alineando sus bordes. En una realización preferida, las secciones (10, 10') de lámina de membrana rodean una lámina espaciadora de permeado que forma un canal (12) de permeado. Esta estructura de tipo sándwich se afianza entre sí, por ejemplo mediante un sellador (15), a lo largo de tres bordes (16, 18, 20) para formar una envoltura (4) mientras que un cuarto borde, es decir, "borde proximal" (22) hace tope con el tubo (8) de recogida de permeado de modo que la porción interior de la envoltura (4) (y el canal (12) de permeado, que opcionalmente puede estar formado

por una lámina espaciadora de permeado) está en comunicación fluidica con los orificios (24) que se extienden a lo largo de una porción de la longitud del tubo (8) de recogida de permeado. El módulo (2) puede incluir una única envoltura o una pluralidad de envolturas (4) de membrana, cada una separada por un canal (6) de alimentación adyacente. En la realización ilustrada, las envolturas (4) de membrana se forman uniendo las superficies de las caras posteriores de paquetes de hojas de membrana posicionados de manera adyacente. Un paquete de hojas de membrana comprende una hoja (10) de membrana sustancialmente rectangular plegada sobre sí misma para definir dos "hojas" de membrana en las que los lados frontales de cada hoja están enfrentados entre sí y el pliegue está alineado axialmente con el borde proximal (22) de la envoltura (4) de membrana, es decir, paralelo al tubo (8) de recogida de permeado. Se muestra una lámina espaciadora de alimentación que forma un canal (6) de alimentación ubicada entre lados frontales enfrentados de la lámina (10) de membrana plegada. Aunque no se muestran, también se pueden incluir capas intermedias adicionales en el conjunto. Ejemplos representativos de paquetes de hojas de membrana y su fabricación se describen con más detalle en los documentos US 7875177 y US8608964. Las membranas prototípicas para ósmosis inversa son las membranas de tipo FT-30™ de FilmTec Corporation, fabricadas mediante una polimerización interfacial de monómeros polifuncionales de amina y haluro de acilo sobre un soporte poroso.

Durante la fabricación del módulo, se pueden unir láminas espaciadoras de permeado alrededor de la circunferencia del tubo (8) de recogida de permeado, con paquetes de hojas de membrana intercalados entre ellas. El tubo (8) de recogida de permeado tiene una superficie exterior (7), una superficie interior (5) y una cavidad interior (9) delimitada por la superficie interior (5). El tubo (8) de recogida de permeado se extiende a lo largo de un eje (X) entre un primer y un segundo extremos opuestos (13', 13) del tubo, y una sección porosa (15) incluye una pluralidad de orificios (24) a todo lo largo de la misma. La sección porosa (15) del tubo (8) de recogida de permeado está ubicada axialmente entre dos secciones distales (23, 23') en extremos opuestos del tubo de recogida de permeado. La sección porosa (15) se distingue de las secciones distales (23, 23') en que los orificios (24) de la sección porosa (15) permiten que pase líquido desde la superficie interior (5) del tubo a su superficie exterior (7), y gracias a que estos orificios conectan la cavidad interior (9) del tubo (8) de recogida de permeado a un canal (12) de permeado dentro de una envoltura (4) de membrana.

Los lados posteriores de las hojas (10, 10') de membrana posicionadas de manera adyacente están sellados alrededor de porciones de su periferia (16, 18, 20) para encerrar un canal (12) de permeado y formar una envoltura (4) de membrana. En el documento US5538642 se describen técnicas adecuadas para unir la lámina espaciadora de permeado al tubo de recogida de permeado. La(s) envoltura(s) (4) de membrana y el(los) espaciador(es) (6) de alimentación están enrollados o "arrollados" concéntricamente alrededor del tubo (8) de recogida de permeado que se extiende a lo largo de un eje (X) para formar dos caras helicoidales (30, 32). A continuación las caras helicoidales del módulo se pueden recortar y, opcionalmente, se puede aplicar un sellador en la unión entre la cara helicoidal y el tubo (8) de recogida de permeado como se describe en el documento US7951295. Una capa impermeable, tal como una cinta, se puede enrollar alrededor de la circunferencia del módulo enrollado como se describe en los documentos US8142588 y US8668828. En realizaciones alternativas, en la periferia del módulo se puede aplicar una cinta porosa o un revestimiento de fibra de vidrio. Véase por ejemplo el documento US9623379.

Con referencia adicional a la **figura 1**, en funcionamiento se muestra fluido de alimentación presurizado (por ejemplo, agua) que entra en el módulo (2) a través de una cara helicoidal (30), es decir, "aguas arriba", y fluye en una dirección en general axial a través del módulo y sale como concentrado por la cara helicoidal opuesta (32) en la dirección mostrada por la flecha (26), es decir, "aguas abajo". El permeado fluye a lo largo de una trayectoria de flujo de permeado radial hacia dentro mostrada de manera general por la flecha (28) que se extiende a través de la membrana (10, 10') y dentro de la envoltura (4) de membrana donde fluye hacia los orificios (24), a través del tubo (8) de recogida de permeado y sale por un extremo (13, 13') del tubo (8) de recogida de permeado.

Las **figuras 2a y 2b** muestran un enfoque para crear un módulo enrollado en espiral alternativo con flujo de alimentación radial. De manera similar al proceso ilustrado en la figura 1, al menos una envoltura (4) de membrana se enrolla alrededor de un tubo hueco (8) de recogida de permeado para formar un cilindro con una primera cara helicoidal (30), una cara helicoidal opuesta (32), y una superficie periférica exterior (3). Sin embargo, al proporcionar un módulo (2) con una superficie exterior porosa (3) y al colocar los conjuntos (31, 31') de tapa terminal de manera que hagan tope con las dos caras helicoidales opuestas (30, 32), se puede modificar la ubicación del flujo de alimentación que entra y sale de las caras helicoidales (30, 32). En la **figura 2b**, se ilustra el primer conjunto (31) de tapa terminal para bloquear la primera cara helicoidal (30) y forzar que entre fluido de alimentación en un canal (6) de alimentación a través de una superficie periférica exterior porosa (3). Al mismo tiempo, el conjunto (31) de tapa terminal que hace tope con la cara helicoidal opuesta (32) permite que la alimentación salga del canal (6) de alimentación a través de una región de la cara helicoidal opuesta (32) cerca del tubo (8) de permeado. La figura ilustra una junta hermética (39) para salmuera en el conjunto (31) de tapa terminal con el fin de evitar derivaciones. Como en la figura 1, los canales (6) de alimentación están ubicados entre las dos caras helicoidales (30, 32) del módulo, pero la dirección dominante para el flujo de alimentación a través del módulo es en general perpendicular (no paralela) al tubo de recogida de permeado. En los documentos US8337698, US10137416B2, JP2013071098A, y JP59150505A se describen otros enfoques para obtener un flujo de alimentación dirigido de manera general radialmente, ya sea hacia dentro o hacia fuera.

La **figura 3** ilustra múltiples módulos (3) enrollados en espiral dentro de un recipiente (40) para formar un conjunto (21) de módulos enrollados en espiral. Los conjuntos (31) de tapa terminal pueden afectar al flujo de corrientes de fluido entre módulos en un sistema. Un conjunto (31) de tapa terminal (también denominado y utilizado como "dispositivo antitelescópico") puede ubicarse sobre una o ambas caras helicoidales (30 o 32) del módulo (2). En las **figuras 4a, 4b, 4c, 5a, 5b, 5c y 5d** se muestran diferentes realizaciones de conjuntos de tapa terminal. Para facilitar la descripción de dos conjuntos de tapa terminal adyacentes, las **figuras 3, 5a, 5b, 5c y 5d** numeran las caras helicoidales adyacentes del primer módulo (2') y del segundo módulo (2'') adyacentes como primera cara helicoidal (30') y segunda cara helicoidal (30''), respectivamente. En la **figura 3**, las caras helicoidales en el extremo opuesto del módulo se numeran a continuación como primera cara helicoidal opuesta (32') y segunda cara helicoidal opuesta (32''). De manera similar, las descripciones de otras características (por ejemplo, el tubo (8', 8'') de recogida de permeado) en el primer y segundo módulos adyacentes se muestran con símbolos de prima y segunda, respectivamente. Las designaciones y la redacción no pretenden identificar una dirección de flujo de alimentación, y una solución de alimentación puede moverse en una dirección desde la primera cara helicoidal hacia la segunda cara helicoidal, pero la solución de alimentación también puede fluir en la dirección opuesta. Cuando en un módulo (2) hay presencia de un único conjunto (31) de tapa terminal, el mismo preferiblemente está ubicado para esta invención en el extremo de entrada de alimentación del módulo con diseños de flujo axial y en el extremo de salida de alimentación del módulo con diseños de flujo radial. Sin embargo, los expertos en la técnica apreciarán que un módulo (2) que tenga solamente un único conjunto (31) de tapa terminal también puede orientarse en sentido opuesto dentro del recipiente (40) a presión. En realizaciones más preferidas, los conjuntos (31) de tapa terminal hacen tope con ambas caras helicoidales (30, 32) de cada módulo (2) de membrana enrollada en espiral, aunque las características de cada conjunto (31) de tapa terminal pueden ser diferentes.

La configuración de un conjunto (31) de tapa terminal no está particularmente limitada sino que puede incluir un anillo interior (57), un anillo exterior (33) o ambos. El conjunto (31) de tapa terminal hace tope con una cara helicoidal (30, 32) y preferiblemente está fijado (por ejemplo, mediante adhesivo, soldadura por rotación, cinta) a por lo menos una ubicación en el módulo enrollado en espiral. Se puede seleccionar una ubicación para la unión de entre el tubo (8) de recogida de permeado, la superficie periférica exterior (3) del módulo y la cara helicoidal (30, 32) que hace tope. En la **figura 3**, los conjuntos de tapa terminal se muestran sin detalles para facilitar la descripción. En las **figuras 4a, 4b y 4c**, la vista en perspectiva de cada uno de los conjuntos de tapa terminal omite características más fácilmente identificadas en las secciones transversales asociadas. Sin embargo, estas realizaciones (y esas otras figuras) no son de ninguna manera limitativas y puede haber presencia de características adicionales que no se muestran. Por ejemplo, como se indica en las figuras 5a a 5d y 7a, el conjunto de tapa terminal también puede incluir características (58) de enclavamiento adaptadas para acoplarse de manera liberable con la tapa terminal correspondiente de un módulo de separación posicionado de forma adyacente, dichas características (58) de enclavamiento pueden crear o mantener la compresión de un miembro (48) de sellado entre superficies (51) de sellado en módulos (2) adyacentes. En realizaciones preferidas, el conjunto (31) de tapa terminal comprende un conducto (45) de conexión que pasa radialmente a través de una porción del conjunto (31) de tapa terminal, definiendo un paso de fluido entre un extremo (46) de conducto interior y un extremo (47) de conducto exterior. Un sensor (49) de presión diferencial está unido al conjunto (31) de tapa terminal y conectado fluidicamente al paso de fluido del conducto (45) de conexión.

Al menos un extremo del módulo (2) incluye un conjunto (31) de tapa terminal con un anillo exterior (33) que define una primera periferia exterior (36) de la tapa terminal e incluye una resistencia (19) de flujo de alimentación anular que se extiende radialmente entre el conjunto (31) de tapa terminal y la superficie periférica interior (60) de la cámara (41). La resistencia de flujo de alimentación anular que se extiende radialmente es adecuada en funcionamiento para proporcionar una trayectoria restringida para el flujo de alimentación entre el conjunto (31) de tapa terminal asociado y la superficie periférica interior (60) de la cámara (41) del recipiente, de modo que al menos el 75% del flujo de alimentación pasa a través del módulo dentro de un canal (6) de alimentación en lugar de pasar entre el conjunto (31) de tapa terminal y la superficie periférica interior (60). En las **figuras 4a, 4b y 4c** se ilustran tres realizaciones de conjuntos (31) de tapa terminal con una resistencia (19) de flujo de alimentación diferente. Estos incluyen una superficie exterior roscada y bien ajustada que está destinada a permitir cierta derivación, una junta hermética (39) para salmuera, convencional, dentro de una ranura anular (37) en el conjunto (31) de tapa terminal y un anillo dividido con solape también dentro de una ranura anular (37). En realizaciones preferidas, un módulo enrollado en espiral contiene una ranura anular (37) que está ubicada en la primera periferia exterior (36) del primer anillo exterior (33), y la ranura anular (37) contiene una resistencia (19) de flujo de alimentación anular que se extiende radialmente y que es una junta hermética (39), para salmuera, adecuada para acoplarse con la superficie periférica interior (60) de la cámara (41). Para cada uno de los tres casos, una flecha horizontal de doble punta indica la región primaria sobre la cual la resistencia (19) de flujo de alimentación anular induciría una caída de presión durante el flujo.

En realizaciones preferidas, un anillo exterior (33') comprende una resistencia (19) de flujo de alimentación y rodea una vía (65) de acceso al fluido de alimentación conectada al primer canal (6) de alimentación en la primera cara helicoidal (30). La vía (65) de acceso al fluido de alimentación puede incluir al menos una apertura (35) de tapa terminal en el conjunto (31) de tapa terminal. Los dibujos de las **figuras 5a, 5b, 5c y 5d** de módulos (3', 3'') adyacentes muestran una vía (61) de fluido de alimentación que comprende la vía (65) de acceso al fluido de alimentación y que conecta el primer canal (6') de alimentación con el segundo canal (6'') de alimentación. La vía (61) de fluido de alimentación pasa a través de una región central (63) ubicada entre las caras helicoidales adyacentes (una primera cara helicoidal (30') y una segunda cara helicoidal (30'')) de módulos (2', 2'') adyacentes.

En realizaciones preferidas, los conjuntos (31', 31'') de tapa terminal adyacentes están configurados y dispuestos para permitir una trayectoria periférica (64) alrededor de la segunda cara helicoidal (30'') que conecta fluidicamente la región central (63) y un segundo espacio periférico (62''), en donde el segundo espacio periférico (62'') está ubicado entre la segunda superficie periférica exterior (3'') del segundo módulo (2'') enrollado en espiral y la superficie periférica interior (60) de la cámara (41); en las **figuras 5a, 5b, y 5c**, las superficies periféricas exteriores (3'') de los segundos módulos (2'') enrollados en espiral son porosas y la trayectoria periférica (64) es parte de la trayectoria (61) de fluido de alimentación entre los canales (6', 6'') de alimentación de los módulos adyacentes.

Otras realizaciones preferidas se refieren a la resistencia relativa al flujo de agua entre diferentes regiones. Para el primer y segundo módulos (2', 2'') enrollados en espiral adyacentes con conjuntos (31', 31'') de tapa terminal adyacentes en caras helicoidales (30', 30'') correspondientes, se pueden determinar diferencias de presión y caudales volumétricos para las derivaciones (alrededor de la cara helicoidal) entre regiones adyacentes. Considérense tres regiones: a) un primer espacio periférico (62') que está ubicado radialmente entre la primera superficie periférica exterior (3') de un primer módulo (2') enrollado en espiral y la superficie periférica interior (60) de la cámara (41), b) la región central (63) entre caras helicoidales (30', 30'') que hacen tope con los primeros y segundos conjuntos (31', 31'') de tapa terminal adyacentes, y c) un segundo espacio periférico (62'') que está ubicado radialmente entre la segunda superficie periférica exterior (3'') de un segundo módulo (2'') enrollado en espiral y la superficie periférica interior (60) de la cámara (41). Se puede medir una primera resistencia al flujo de agua de derivación desde el primer espacio periférico (62') a la región central (63) y una segunda resistencia al flujo de derivación desde la región central (63) al segundo espacio periférico (62''). En realizaciones preferidas, la primera resistencia al flujo de agua de derivación es al menos diez veces la segunda resistencia al flujo de agua de derivación. A efectos de este aspecto de la invención, las resistencias relativas ( $\Delta P/Q$ ) para este flujo volumétrico de agua (Q) se miden a 25 °C y en condiciones de 0.25 bar (25 kilopascales, ~3.6 psi) de diferencia de presión ( $\Delta P$ ) entre el primer espacio periférico (62') y la región central (41).

En otras realizaciones preferidas, el primer y segundo espacios periféricos (62', 62'') son conductos que se extienden axialmente con espesores respectivos mayores que el doble del espesor del canal (6', 6'') de alimentación para los módulos (2', 2'') enrollados en espiral correspondientes. Además, en algunas realizaciones, al menos un conjunto (31) de tapa terminal en un módulo (2) tiene un diámetro mínimo (69) que supera el diámetro promedio (70) del módulo en su centro axial (71) en al menos cuatro veces (más preferiblemente ocho veces) el espesor del canal de alimentación. El diámetro mínimo (69) se define como el diámetro más pequeño del recipiente dentro del cual el módulo podría ser empujado con una fuerza de 40 libras, lo cual se corresponde esencialmente con componentes flexibles (por ejemplo, una junta hermética (39) para salmuera) que están en su estado de mayor compresión.

En algunas realizaciones preferidas, el conjunto (31) de tapa terminal comprende un anillo interior (57) de tapa terminal alineado axialmente y ubicado de manera centrada. El anillo interior (57) de tapa terminal puede afianzarse y sellarse al tubo (8) de recogida de permeado o puede rodear concéntricamente un tubo de interconexión ((43) que se muestra en la **figura 10**) que se extiende desde el tubo (8) de recogida de permeado. En realizaciones mostradas en las **figuras 6a y 7a**, el anillo interior (57) de tapa terminal encaja concéntricamente alrededor del tubo (8) de recogida de permeado. El anillo interior (57) de tapa terminal se puede afianzar mediante ajuste concéntrico apretado, adhesivo, soldadura o similares. En realizaciones preferidas, al menos una apertura (35) entre un anillo interior (57) y un anillo exterior (33) proporciona una vía de acceso al fluido de alimentación con el módulo (2).

Tanto en la **figura 6a** como en la **7a**, el anillo interior (57) de tapa terminal está conectado a un anillo exterior (33) mediante una pluralidad de soportes (34) que se extienden radialmente, por ejemplo "radios", y los soportes (34) mostrados están separados por aperturas (35) de tapa terminal que proporcionan una vía (65) de acceso al fluido de alimentación con el módulo (2), por ejemplo el flujo de líquido que entra o sale de esa cara helicoidal (30) del módulo (2) depende de la orientación del módulo con respecto a la dirección del flujo de alimentación. Se indica de manera general mediante una flecha continua una vía representativa (65) de acceso al fluido de alimentación. En los documentos US5128037, US5851267, US6632356, US8425773 y WO2014/151695 se describen ejemplos representativos de tapas con cubo y radios. Como también se muestra especialmente en la **figura 6b**, el anillo exterior (33) que define una periferia exterior (36) de la tapa terminal puede ser en general una prolongación de la superficie periférica exterior (3) del módulo (2) e incluye una ranura anular (37) junto con una resistencia (19) de flujo de alimentación (por ejemplo, una junta hermética (39) para salmuera) ubicada en la ranura anular (37) adaptada para sellar el acoplamiento con la superficie periférica interior (60) del recipiente (40) a presión. Como se ha señalado anteriormente, cuando se ubica dentro de un recipiente a presión, la resistencia (19) de flujo de alimentación impone limitaciones para que el fluido no se derive con respecto al módulo (2) y fluya a lo largo del espacio periférico (62) entre la superficie periférica exterior (3) del módulo (2) y la superficie periférica interior (60) del recipiente (40) a presión. En las **figuras 3a, 3b y 3c** ya se han ilustrado algunos limitadores de flujo diferentes, y se describen ejemplos representativos en los documentos: US6299772, US8110016, y WO2017/019282. Se pueden usar una variedad de tipos de juntas herméticas, por ejemplo juntas tóricas, juntas Chevron, juntas herméticas en forma de U, juntas herméticas de anillo dividido, etc. Véanse, por ejemplo, los documentos: US6224767, US7198719, US8377300, US8388842, US8377300 y US9381469.

Se prefiere que al menos un conjunto (31) de tapa terminal de un módulo (2) de membrana enrollada en espiral incluya un conducto (45) de conexión que defina una vía de fluido que se extienda radialmente hacia dentro desde un extremo (47) de conducto exterior ubicado en la periferia exterior (36) del anillo exterior (33) a un extremo (46) de conducto

interior ubicado dentro del anillo exterior (33), por ejemplo en una ubicación adyacente a un soporte (34) y en comunicación fluidica con el extremo del módulo (2). El extremo (47) de conducto exterior está de manera preferente ubicado axialmente entre la resistencia (19) de flujo de alimentación y la cara helicoidal opuesta (32) del módulo (2), por ejemplo, adaptado para estar en comunicación fluidica con el espacio periférico (62) ubicado entre la superficie periférica exterior (3) del módulo (2) y la superficie periférica interior (60) del recipiente (40) a presión. Más preferiblemente, el extremo (47) de conducto exterior está ubicado axialmente entre la resistencia (19) de flujo de alimentación y la primera (es decir, la más cercana) cara helicoidal (30) del módulo. En otra realización preferida, el conjunto (31) de tapa terminal está ubicado en el extremo "de aguas arriba" de un módulo (2) configurado para flujo de alimentación axial, y el extremo (47) de conducto exterior está ubicado "aguas abajo" con respecto a la resistencia (19) de flujo de alimentación. En una realización alternativa preferida, el conjunto (31) de tapa terminal está ubicado en el extremo "de aguas abajo" de un módulo (2) configurado para un flujo de alimentación radial, y el extremo (47) de conducto exterior está ubicado "aguas arriba" con respecto a la resistencia (19) de flujo de alimentación. En cualquier caso, el conducto (45) de conexión proporciona un paso entre el espacio periférico (62) y la región central (63) (ubicada entre la primera y segunda caras helicoidales (30', 30'')).

Se han descrito aberturas similares para usarse a la hora de permitir la derivación de fluido alrededor de la junta hermética para salmuera, en los documentos: JP05287789, JP62049902, US5128037, US7208088, US8778182 y US2013/0161258. El documento US8377300 ilustra aberturas en el lado de una tapa terminal útil para retirar juntas herméticas para salmuera. Como se describe a continuación, en esta invención el flujo de fluido a través del conducto (45) de conexión se evita mediante una barrera adecuada para su uso en la medición de la presión diferencial.

En una realización preferida, se forma una tapa terminal instrumentalizada (59) conectando un sensor (49) de presión diferencial al paso de fluido del conducto (45) de conexión. El sensor de presión diferencial está adaptado para medir la diferencia de presión entre una apertura (35) de tapa terminal dentro del anillo exterior (33) del conjunto (31) de tapa terminal del módulo y una región del espacio periférico (62) entre la resistencia (19) de flujo de alimentación (por ejemplo, una junta hermética (39) para salmuera) y la cara helicoidal opuesta (32) del módulo (2). Esto permite una medición de la diferencia de presión a través de la resistencia (19) de flujo de alimentación y es una aproximación de la diferencia de presión entre extremos opuestos del módulo (2), por ejemplo entre caras helicoidales opuestas (30, 32). En realizaciones preferidas, el conjunto (59) de tapa terminal tiene un anillo exterior (33) que abarca parte de la región central (63), y el sensor (49) de presión diferencial está ubicado dentro del anillo exterior (33). El sensor (49) de presión diferencial está preferiblemente ubicado y unido dentro de una región rodeada por el conjunto (31) de tapa terminal, por ejemplo, afianzado al conjunto de tapa terminal tal como a una superficie interior del anillo exterior concéntrico (33) o a uno de los soportes (34). De esta manera, la superficie encarada hacia fuera del conjunto (31) de tapa terminal permanece sin obstrucciones y se puede afianzar contra un conjunto de tapa terminal de un módulo de membrana enrollada en espiral posicionado de manera adyacente. En algunas realizaciones, el sensor (49) de presión diferencial está envuelto o "encapsulado" dentro de una resina polimérica protectora (por ejemplo, material termoestable o termoplástico), lo que le permite funcionar a presiones de alimentación superiores a 10 bar (1000 kilopascal), más preferiblemente superiores a 15 bar, o incluso superiores a 20 bar. Los materiales de encapsulado preferidos incluyen uretanos, epoxis y materiales termofusibles. En realizaciones preferidas, el sensor (49) de presión diferencial puede incluir dos puertos, uno de los cuales está unido al conducto (45) de conexión en comunicación fluidica con el espacio periférico (62) entre la resistencia (19) de flujo de alimentación y la cara helicoidal opuesta (32) del módulo (2), y otro puerto en comunicación fluidica con una apertura (35) de tapa terminal dentro del anillo exterior (33) del conjunto (31) de tapa terminal del módulo. Cuando dos módulos (2) se posicionan de manera adyacente dentro de un recipiente, un puerto del sensor (49) de presión diferencial y la apertura (35) de tapa terminal están ambos en comunicación fluidica con una región central (63) entre una primera y una segunda caras helicoidales (30', 32'') adyacentes que incluye una vía (65) de acceso al fluido de alimentación. (El término "puerto" asociado al sensor de presión diferencial no pretende sugerir una estructura física, sino más bien una ubicación para proporcionar una de dos entradas de presión diferentes).

En otra realización, el conjunto (31) de tapa terminal en un módulo (2) enrollado en espiral puede incluir un anillo interior (57) que está sellado con el tubo hueco (8) de recogida de permeado para evitar fugas entre ellos. El anillo interior (57) comprende una superficie (51) de sellado. Un conducto (45) de conexión, ubicado axialmente entre el miembro (48) de sellado y la cara helicoidal (30), pasa radialmente a través del anillo interior (57) y está conectado fluidicamente a la cavidad interior del tubo hueco de recogida de permeado. El miembro de sellado es adecuado para comprimir un miembro (48) de sellado contra una superficie de sellado ubicada en un módulo adyacente, uniendo sus respectivas cavidades interiores para crear un rechazo a la recogida de permeado combinado. Como en realizaciones descritas anteriormente, un sensor (49) de presión diferencial está unido al conjunto (59) de tapa terminal y conectado fluidicamente tanto al conducto (45) de conexión como a la vía (65) de acceso al fluido de alimentación. Esto permite una medición de la presión neta de trabajo, cerca del tubo de permeado en un extremo del módulo, y esta medición localizada puede ser un parámetro útil para identificar el impacto de la caída de presión en el rendimiento del módulo.

Cuando hay módulos enrollados en espiral adyacentes, bien en el primer o bien en el segundo módulo adyacente se puede ubicar un conjunto (59) de tapa terminal instrumentalizado, que contenga el conducto de conexión y el sensor de presión diferencial. Esto es independiente de la dirección del flujo, la presencia de una resistencia (19) de flujo de alimentación en un módulo o la vía (61) de fluido de alimentación. Es importante, sin embargo, que el conducto (45') de conexión esté ubicado axialmente entre el miembro (48) de sellado y la cara helicoidal (30) del conjunto (59) de tapa terminal instrumentalizado.

Se han descrito conjuntos (31) de tapa terminal para medir presiones diferenciales asociadas tanto a la caída de presión del lado de alimentación como a la presión transmembrana en una ubicación específica en el módulo. De hecho, existe una ventaja al combinar realizaciones descritas anteriormente y tener dos conductos (45', 45'') de conexión dentro del mismo conjunto (31') de tapa terminal instrumentalizado. (Véanse las **figuras 5a, 7a, 7b**). Para proporcionar mediciones independientes, un conducto (45') puede estar en conexión fluida con el espacio periférico (62) y el otro (45'') conectado fluidamente con la cavidad interior (9) del tubo (8) de recogida de permeado. Como se ha descrito anteriormente, ambos conductos estarán en comunicación fluidica con sensores (49', 49'') de presión diferencial independientes, que separan un extremo del conducto de la región central (63). La ubicación conjunta de dos sensores (49) de presión diferencial en un único conjunto de tapa terminal simplifica la electrónica y la comunicación, utilizando potencialmente un microprocesador, una batería y/o una antena comunes. Además, en algunas realizaciones, dos conductos (45, 45'') de conexión independientes pueden ser colineales, lo que facilita la fabricación.

Particularmente en presencia de un sensor de presión diferencial para medir la diferencia de presión entre la región (50) de recogida de permeado combinado y la región central (63), puede ser ventajoso introducir un limitador (73) de flujo de permeado en la región (50) de recogida de permeado combinado. Los limitadores de flujo de permeado pueden abarcar la mayor parte de la cavidad (8) de permeado de un módulo (2) o pueden estar localizados. Con la mayor preferencia, el limitador (73) de flujo de permeado está ubicado axialmente entre la primera sección central porosa (15') de un primer módulo (2') y la segunda sección central porosa (15'') de un segundo módulo (2'') adyacente. La **figura 5a** ilustra un limitador de flujo formado a partir de medios compactados, mientras que las **figuras 5b y 7b** ilustran placas perforadas. También son posibles válvulas de control de flujo localizadas (documento US 2015/029140) y mezcladores longitudinales (documento US6190557) por el eje X del módulo. En realizaciones preferidas, el limitador (73) de flujo de permeado proporciona canal(es) de flujo que se reducen en al menos un factor de dos en comparación con el diámetro interior del tubo (8) de recogida de permeado. En otras realizaciones, el limitador (73) de flujo proporciona una resistencia al flujo de agua ( $\Delta P/Q$ ) que se incrementa en al menos un factor de diez, en comparación con la resistencia para la misma longitud de tubo de recogida de permeado, donde las resistencias al flujo de agua son inversamente proporcionales al flujo de agua (Q) medido a 25 °C y con una caída de presión ( $\Delta P$ ) de 1 kilopascal. El uso eficaz de limitadores (73) de flujo de permeado puede respaldarse mediante métodos novedosos de medición de presión, según se describe en el presente documento.

Los módulos (2) que tienen conjuntos de tapa terminal instrumentalizados, según se describe en el presente documento, se pueden usar con módulos enrollados en espiral configurados para flujo de alimentación axial o con módulos configurados para flujo de alimentación radial. Esto último se ha estudiado menos y para un funcionamiento óptimo serían útiles dispositivos de medición de presión. En un conjunto (21) de módulos enrollados en espiral preferido que tiene dos módulos (2', 2'') enrollados en espiral adyacentes:

- la primera y segunda superficies periféricas exteriores (3', 3'') son porosas y están en comunicación fluidica con el primer y segundo canales (6', 6'') de alimentación del primer y segundo módulos (2', 2'') enrollados en espiral, respectivamente;
- el primer conjunto (31') de tapa terminal cubre al menos el 75% de la primera cara helicoidal (30') y es adecuado para restringir al menos el 75% del flujo de alimentación a través de la primera cara helicoidal (30') con el fin de abrir áreas ubicadas más cerca del primer tubo (8') de recogida de permeado que de la primera superficie periférica exterior (3'); y
- el segundo conjunto (31'') de tapa terminal cubre al menos el 75% de la segunda cara helicoidal (30'') y es adecuado para restringir al menos el 75% del flujo de alimentación que entra en el segundo módulo (2'') enrollado en espiral en relación con su entrada en el segundo canal (6'') de alimentación a través de la segunda superficie periférica exterior (3'').

Con referencia a las **figuras 8 y 9**, el sensor (49) de presión diferencial puede incluir cables o conductores (55) de alimentación y señal en comunicación con uno o más de una fuente de alimentación externa, una antena y un microprocesador. En algunas realizaciones, los conductores (55) de alimentación o señal pueden extenderse desde el sensor (49) de presión diferencial a través del puerto (42) de entrada de alimentación, el puerto (42') de salida de concentrado o el puerto (44) de salida de permeado hasta un dispositivo ubicado externamente, tal como una unidad de microprocesamiento. En otras realizaciones, pueden extenderse conductores (55) que transmiten alimentación o señales (por ejemplo, a través de voltaje, corriente, luz, etc.) desde el sensor (49) de presión diferencial hasta dicho dispositivo (por ejemplo, unidad de microprocesamiento no mostrada) ubicado dentro del recipiente (40) (por ejemplo, la región central (63) o el espacio (56, 56') de separación). Con la mayor preferencia, un microprocesador se puede unir al conjunto (59) de tapa terminal instrumentalizado. Si no está alimentado por una fuente externa, el sensor puede incluir una batería interna (por ejemplo, una pila de botón) como fuente de energía, utilizar recolección de energía (por ejemplo, de vibraciones, ondas electromagnéticas o movimiento del agua) o ser pasivo usando energía de una fuente de interrogación para suministrar una señal. Los sensores pueden comunicarse con el procesador de señales por medio de radiocomunicaciones, luz u otros medios que no requieran un cable o conductor físico. Alternativamente, el sensor (49) puede comunicarse con otra unidad de microprocesamiento o sensor ubicado dentro del recipiente a presión (por ejemplo, el espacio (56) de separación que se muestra en las **figuras 3 y 10**) que a su vez se comunica

con un dispositivo ubicado externamente (por ejemplo, una unidad de microprocesamiento). Los medios de comunicación dentro y fuera del recipiente pueden ser por cable o inalámbricos, incluyendo estos últimos NFC, Bluetooth, Bluetooth BLE, ZigBee, Zwave, LoRa, WiFi, Flexnet y SIGFOX.

En una realización preferida, el sensor (49) de presión diferencial incluye una barrera deformable (72) (por ejemplo, un diafragma) para proporcionar medios simples, fiables y de bajo coste para medir la presión diferencial. La barrera deformable (72) impide el flujo convectivo a través del conducto (45) de conexión. Impide el flujo de fluido entre el paso de fluido del conducto (45) de conexión y la vía (65) de acceso al fluido de alimentación. En algunas realizaciones, el sensor (49) de presión diferencial separa la apertura (35) de tapa terminal dentro del anillo exterior (33) del conjunto (31) de tapa terminal del módulo con respecto a una región del espacio periférico (62) entre la resistencia (19) de flujo de alimentación y la cara helicoidal opuesta (32) del módulo (2). En otras realizaciones, el sensor de presión diferencial separa la apertura (35) de tapa terminal dentro del anillo exterior (33) del conjunto (31) de tapa terminal del módulo con respecto a la cavidad interior (9) del tubo (8) de recogida de permeado. La diferencia de presión a través de la barrera deformable (72) puede dar como resultado un cambio en las propiedades eléctricas medibles (por ejemplo, resistencia, capacitancia) y este componente puede integrarse en circuitos electrónicos para proporcionar una medición de la presión diferencial. Alternativamente, la deformación de la capa de barrera puede detectarse ópticamente (por ejemplo, mediante una cámara o mediante su desviación o dispersión de la luz) o mediante modulación del sonido. Una barrera deformable (72) también puede incluir una antena que module ondas electromagnéticas para permitir la medición pasiva de diferentes presiones.

Ejemplos de sensores de presión diferencial alimentados incluyen el PX26-001DV de Omega, el Dwyer 629C-02-CH-P2-E5-S1 y el Cole-Parmer EW-68071-52. Estos sensores de presiones diferenciales contienen dos puertos para conexión a regiones de diferentes presiones. Se puede proporcionar un primer puerto en comunicación fluidica con una apertura (35) de tapa terminal dentro del anillo exterior (33) del conjunto (31) de tapa terminal del módulo. Un segundo puerto puede estar en acoplamiento sellado con el extremo (46) de conducto interior del conducto (45) de conexión. Este tipo de configuración se ilustra en la **figura 6b** y está adaptado para medir diferencias de presión entre el extremo exterior (47) del conducto (45) de conexión y la cara helicoidal (30) más cercana del módulo (2). Si bien se mide en un único extremo del módulo, esta diferencia de presión es una aproximación de la diferencia de presión entre el fluido aguas arriba del módulo y aguas abajo del módulo.

En otra realización, se proporciona en comunicación fluidica con el conducto de conexión una galga extensométrica (74) (por ejemplo, la serie SGD-LY de Omega) que incluye hilos metálicos orientados sobre una película estirable (72). Esta realización se ilustra en las **figuras 8 y 9**. Debido a este estiramiento, una mayor diferencia de presión entre las regiones aguas arriba y aguas abajo de la resistencia del flujo de alimentación da como resultado un aumento en la resistencia de la galga extensométrica. Circuitos eléctricos, que pueden incorporarse como parte del sensor (49), permiten convertir propiedades eléctricas modificadas en señales leídas por una unidad de microprocesamiento. Por ejemplo, el circuito de galga extensométrica de cuarto de puente representado en la Figura 9 permite convertir una resistencia modificada en la galga extensométrica (74) en una diferencia de voltaje, y una unidad de microprocesamiento alimentada puede leer esto y proporcionar la salida correspondiente. (En el caso ilustrado, los hilos (55) pueden conectarse a un amplificador, A2D, o a los pines de entrada analógica de una unidad de microprocesamiento). Alternativamente, el cambio en la resistencia eléctrica puede usarse en un circuito de antena para modular ondas de radiocomunicaciones y proporcionan una medición pasiva (sin alimentación interna) de la presión diferencial. En realizaciones preferidas, el elemento resistivo está preferiblemente enfundado dentro de plástico para aislarlo de soluciones circundantes.

En otra realización más, se puede utilizar la deformación de una película que incluye una antena para detectar la presión diferencial. Por ejemplo, *Archimedean spiral pairs with no electrical connections as passive wireless implantable sensors*, J. Biomedical Technology and Research, 2014, 1(1), página 8, de Drazan, JF., et al., describe un sensor de presión formado por dos antenas en espiral adyacentes, separadas por un medio comprimible. En una variación de esta realización, una antena dentro de una barrera deformable (72) puede estar en comunicación fluidica con el conducto (45) de conexión y su distancia desde una segunda antena fija varía con la presión diferencial. En este sensor pasivo se aplica una onda de radiocomunicaciones y la señal de retorno se modula según la distancia entre los dos segmentos de antena.

Cuando se utiliza, el sensor se encapsula preferiblemente para aislar los componentes degradables con respecto al líquido pero permitir que el mismo entre en contacto con la presión en lados opuestos. Para este propósito pueden ser suficientes capas de barrera líquida delgadas y flexibles que estén en contacto por separado con las dos superficies (y rodeen estos componentes degradables). Los componentes degradables utilizados para medir la caída de presión que pueden estar contenidos dentro de las capas de barrera incluyen resistores, condensadores o antenas de componentes eléctricos.

Los tipos de unidades de microprocesamiento no están particularmente limitados y los ejemplos aplicables incluyen un circuito integrado autónomo como el AD5931 de Analog Devices y circuitos integrados tales como el modelo CC2(3)0 o CC2530 de Texas Instruments. Otros ejemplos incluyen placas Arduino y Raspberry Pi. La unidad de microprocesamiento incluye preferiblemente memoria *flash* para almacenar protocolos, funciones de control y datos. La unidad de microprocesamiento puede afianzarse a por lo menos uno del conjunto (31) de tapa terminal, el tubo adaptador (52) de permeado y la placa terminal extraíble (54). Cuando se encuentra dentro del recipiente a presión,

la unidad de microprocesamiento puede estar enfundada en material de encapsulado. Preferiblemente, la unidad de microprocesamiento está rodeada por el conjunto (31) de tapa terminal.

En una realización preferida, uno o más (por ejemplo, 3 a 10) módulos (2) de membrana enrollada en espiral están alojados dentro de un recipiente (40) a presión, denominados globalmente "conjunto de módulos enrollados en espiral" (21). El recipiente (40) incluye un puerto (42) de entrada de alimentación, un puerto (42') de salida de concentrado y un puerto (44) de salida de permeado. El puerto (42) de entrada de alimentación está adaptado para conectarse con una fuente presurizada de líquido de alimentación. El puerto (42') de salida de concentrado está adaptado para su conexión a una vía para su reutilización o eliminación. El puerto (44) de salida de permeado está adaptado para conectarse a una vía para almacenamiento, uso o tratamiento adicional. Los recipientes (40) a presión usados en la presente invención no están particularmente limitados pero preferiblemente incluyen una estructura sólida capaz de soportar presiones asociadas a las condiciones operativas. La estructura del recipiente incluye preferiblemente una cámara (41) que tiene una superficie periférica interior (60) de tamaño y forma similares a los de la superficie periférica exterior (3) de los módulos de membrana enrollada en espiral que se alojarán en ella. La orientación del recipiente a presión no está particularmente limitada, por ejemplo se pueden utilizar orientaciones tanto horizontales como verticales. En los documentos US 6074595, US 6165303, US 6299772 y US 2008/0308504 se describen ejemplos de recipientes a presión, disposiciones de módulos y cargas aplicables. Los fabricantes de recipientes a presión para sistemas grandes incluyen Pentair de Minneapolis MN, Bekaert de Vista CA y Bel Composite de Beer Sheva, Israel.

En las **figuras 3 y 10** se muestra de manera general con la referencia 21 una realización típica de un conjunto de módulos de membrana enrollada en espiral. Para facilitar la descripción de otras características, no se muestran detalles de los conjuntos (31) de tapa terminal, incluida la resistencia (19) de flujo de alimentación y el sensor (49) de presión. Como se muestra, el conjunto incluye una pluralidad de módulos (2) de membrana enrollada en espiral alineados axialmente (a lo largo del eje X) en una disposición en serie dentro de una cámara presurizable (41) de un recipiente (40) a presión. La cámara (41) incluye una superficie periférica interior (60) que encierra los módulos (2). La **figura 10** muestra cómo los tubos (8) de recogida de permeado de módulos adyacentes (2) pueden unirse mediante tubos (43) de interconexión que incluyen miembros (48) de sellado comprimidos. Alternativamente, no se requieren tubos (43) de interconexión entre módulos adyacentes (8', 8'') si se proporciona una superficie (51') de sellado en un anillo interior (57') de un conjunto (31') de tapa terminal (véase la figura 7a) adecuada para comprimir un miembro (48) de sellado y acoplarse con un elemento adyacente (8'') para aislar el interior de una región (50) de recogida de permeado combinado de la vía (61) de flujo de alimentación. En cualquier caso, el efecto de los tubos unidos (8) es definir una región (50) de recogida de permeado combinado para el recipiente (40). El recipiente (40) a presión se extiende a lo largo de un eje central (X) entre un primer y un segundo extremos (38, 38') del recipiente. El recipiente (40) incluye al menos una placa terminal extraíble (54) ubicada en un extremo (38, 38') del recipiente (40). La retirada de la placa terminal (54) del recipiente permite cargar y descargar la cámara (41) con módulos (2). En realizaciones típicas, se pueden ubicar placas terminales extraíbles (54, 54') del recipiente en ambos extremos (38, 38') del recipiente. El recipiente (40) incluye varios puertos (42, 42', 44 y 44') de fluido, por ejemplo al menos un puerto (42) de entrada de alimentación, un puerto (42') de salida de concentrado y un puerto (44) de salida de permeado. Se pueden incluir puertos adicionales, por ejemplo puertos de entrada de alimentación, puertos de salida de concentrado y puertos (44, 44') de salida de permeado en cada extremo (38, 38') del recipiente. De manera similar, los puertos de entrada de alimentación y salida de concentrado pueden proporcionarse en orientación inversa a la que se muestra en la **figura 3 o 10**. Para simplificar la descripción, los puertos de entrada de alimentación y de salida de concentrado pueden referenciarse genéricamente como puerto (42/42'). Si bien los puertos (42, 42') se muestran en una configuración radial con respecto a la cámara (41), uno o más puertos de alimentación y concentrado pueden adoptar una configuración axial que se extiende a través de los extremos (38, 38') del recipiente (40). Un espacio (56, 56') de separación está ubicado dentro de la cámara (41) entre los extremos (38, 38') del recipiente (40) y el módulo (2, 2') más cercano.

Como se muestra, los tubos adaptadores (52) de permeado pueden ubicarse en uno o ambos extremos (38, 38') del recipiente (40) en comunicación fluidica con el tubo (8) de recogida de permeado del módulo de membrana enrollada en espiral alineado axialmente más cercano. Por ejemplo, se puede proporcionar un tubo adaptador (52) de permeado en comunicación fluidica sellada con el tubo (8) de recogida de permeado del primer módulo (2) de membrana enrollada en espiral y el puerto (44) de salida de permeado. En realizaciones preferidas, el tubo adaptador (52) de permeado comprende un conducto hueco (53) que define un paso sellado para que pase permeado desde el primer módulo (2) de membrana enrollada en espiral hasta un puerto (44, 44') de salida de permeado, por ejemplo desde la región (50) de recogida de permeado para salir del recipiente (40). En las realizaciones de las **figuras 3 y 10**, se muestran espacios (56, 56') de separación cerca de ambos extremos (38, 38') del recipiente (40) junto con tubos adaptadores (52, 52') de permeado correspondientes. El tubo adaptador (52) de permeado puede ser una única unidad integral o puede comprender una pluralidad de partes que se unen para formar una unidad que se sella tanto con el módulo (2, 2') más cercano como con el puerto (44) de salida de permeado.

Con referencia a la **figura 10**, tres o más módulos están ubicados preferiblemente dentro de un recipiente (40) a presión en donde el primer módulo (anterior) (2) está ubicado adyacente al primer extremo (38) del recipiente, el segundo módulo (terminal) (2') está ubicado adyacente al segundo extremo (38') del recipiente, y otros módulos (2'') están ubicados entre estos primer y segundo módulos. Al menos un conjunto (31) de tapa terminal de al menos un módulo de membrana enrollada en espiral dentro del recipiente (40) incluye el conducto (45) de conexión y el sensor (49) de presión diferencial descritos anteriormente. En una realización preferida, solo uno del primer módulo (2) o el

segundo (último) módulo (2') dentro del recipiente (40) incluye un conjunto (31) de tapa terminal con el conducto (45) de conexión y el sensor (49) de presión diferencial. En otras realizaciones, tanto el primer como el último módulos de membrana enrollada en espiral dentro de un recipiente (40) a presión incluyen el conjunto (31) de tapa terminal en cuestión que incluye el conducto (45) de conexión y el sensor (49) de presión diferencial descritos anteriormente. Este enfoque permite la detección temprana de bioensuciamiento que se produce primero normalmente en el primer módulo (más aguas arriba) y de incrustaciones que se producen primero normalmente en el último módulo (más aguas abajo). Alternativamente, otros módulos dentro del conjunto, o todos los módulos del conjunto, pueden incluir el conjunto de tapa terminal y el sensor de presión diferencial en cuestión. Un conjunto (31) de tapa terminal que contiene el conducto (45) de conexión y el sensor (49) de presión diferencial puede ubicarse en cualquier extremo de un módulo (2, 2'). Sin embargo, para el primer y el último módulos de membrana enrollada en espiral dentro de un recipiente (4) a presión, ubicarlo en el conjunto (31) de tapa terminal más cercano al espacio (56, 56') de separación puede facilitar la extracción de la señal. En realizaciones preferidas, el sensor (49) de presión puede comunicarse (por ejemplo, mediante cables, luz o sonido) con un microprocesador ubicado dentro del espacio (56, 56') de separación.

La invención incluye módulos de membrana enrollada en espiral, conjuntos relacionados que incluyen múltiples módulos enrollados en espiral y diferentes operaciones de estos dispositivos. Se describen diferentes realizaciones que incluyen geometrías de módulos y recipientes más adecuadas para flujo radial o axial, conjuntos de tapa terminal instrumentalizados útiles para comparar la presión diferencial entre la vía de acceso al fluido de alimentación (o región central (63)) y bien la cavidad interior del tubo (9) de recogida de permeado o bien el espacio periférico (62) entre el módulo (2) y el recipiente (40), diferentes tipos de resistencias (19) de flujo de alimentación, y la inclusión de diferentes limitadores (73) de flujo de permeado. Se pretende que se puedan combinar diferentes características descritas en realizaciones. Además, se han descrito muchas realizaciones de la invención y en algunos casos ciertas realizaciones, selecciones, intervalos, constituyentes u otras características se han caracterizado como "preferidos". Tales designaciones de características "preferidas" no deben interpretarse en modo alguno como un aspecto esencial o crítico de la invención. Los intervalos expresados incluyen específicamente los extremos.

## REIVINDICACIONES

1. Un conjunto (21) de módulos enrollados en espiral que comprende:

a) un recipiente (40) a presión que comprende: una cámara (41) que incluye una superficie periférica interior (60) que se extiende a lo largo de un eje (X) entre un primer extremo (38) de recipiente y un segundo extremo (38') de recipiente, y al menos un puerto (42) de entrada de alimentación, un puerto (42') de salida de concentrado y un puerto (44) de salida de permeado;

b) un primer módulo (2') enrollado en espiral ubicado dentro de la cámara (41), comprendiendo dicho primer módulo (2') enrollado en espiral:

i) al menos una primera envoltura (4') de membrana enrollada alrededor de un primer tubo hueco (8') de recogida de permeado para formar un cilindro con una primera cara helicoidal (30'), una primera cara helicoidal opuesta (32'), y una primera superficie periférica exterior (3'),

ii) una primera sección central porosa (15') del primer tubo (8') de recogida de permeado está ubicada axialmente entre dos primeras secciones distales (23', 25'), en donde la primera sección central porosa (15') contiene un primer grupo de orificios (24') que pasan desde una primera superficie interior (5') a una primera superficie exterior (7') del primer tubo (8') de recogida de permeado y que conectan un primer canal (12') de permeado dentro de la primera envoltura (4') de membrana a la primera cavidad interior (9') del primer tubo (8') de recogida de permeado,

iii) un primer canal (6') de alimentación adyacente a la primera envoltura (4') de membrana, en donde el primer canal (6') de alimentación es adecuado para permitir flujo de alimentación a través del primer módulo (2') enrollado en espiral entre la primera cara helicoidal (30') y la primera cara helicoidal opuesta (32'), y

iv) un primer conjunto (31') de tapa terminal fijado al primer módulo (2') enrollado en espiral y que hace tope con la primera cara helicoidal (30'), incluyendo dicho primer conjunto (31') de tapa terminal un primer anillo exterior (33') que define una primera periferia exterior (36') del primer conjunto (31') de tapa terminal; y

c) un segundo módulo (2'') enrollado en espiral adyacente al primer módulo (2') enrollado en espiral, comprendiendo dicho segundo módulo (2'') enrollado en espiral:

i) al menos una segunda envoltura (4'') de membrana enrollada alrededor de un segundo tubo hueco (8'') de recogida de permeado para formar un cilindro con una segunda cara helicoidal (30''), una segunda cara helicoidal opuesta (32'') y una segunda superficie periférica exterior (3''),

ii) una segunda sección central porosa (15'') del segundo tubo (8'') de recogida de permeado está ubicada axialmente entre segundas secciones distales (23'', 25'') del segundo tubo (8'') de recogida de permeado, en donde la segunda sección central porosa (15'') contiene un segundo grupo de segundos orificios (24'') que pasan desde la segunda superficie interior (5'') a la segunda superficie exterior (7'') del segundo tubo (8'') de recogida de permeado y que conectan un segundo canal (12'') de permeado dentro de la segunda envoltura (4'') de membrana a la segunda cavidad interior (9'') del segundo tubo (8'') de recogida de permeado,

iii) un segundo canal (6'') de alimentación adyacente a la segunda envoltura (4'') de membrana, en donde el segundo canal (6'') de alimentación es adecuado para permitir flujo de alimentación a través del segundo módulo (2'') enrollado en espiral entre la segunda cara helicoidal (30'') y la segunda cara helicoidal opuesta (32''), y

iv) un segundo conjunto (31'') de tapa terminal fijado al segundo módulo (2'') enrollado en espiral y que hace tope con la segunda cara helicoidal (30'');

en donde el primer conjunto (31') de tapa terminal es adyacente al segundo conjunto (32'') de tapa terminal; una vía (61) de fluido de alimentación pasa a través de una región central (63) ubicada entre la primera cara helicoidal (30') y la segunda cara helicoidal (30'') y conecta el primer canal (6') de alimentación con el segundo canal (6'') de alimentación; comprendiendo la vía (61) de fluido de alimentación una vía (65) de acceso al fluido de alimentación conectada al primer canal (6') de alimentación por la primera cara helicoidal (30'); y el primer anillo exterior (33') rodea la vía (65) de acceso al fluido de alimentación e incluye una resistencia (19) de flujo de alimentación anular que se extiende radialmente y que está en contacto con la superficie periférica interior (60) de la cámara (41); y

en donde el conjunto (21) de módulos enrollados en espiral está caracterizado por:

a) el primer y el segundo conjuntos (31', 31'') de tapa terminal permiten una trayectoria periférica (64) alrededor de la segunda cara helicoidal (30'') que conecta fluidicamente la región central (63) y un segundo espacio periférico (62''), en donde el segundo espacio periférico (62'') está ubicado entre la segunda superficie periférica exterior (3'') del segundo módulo (2'') enrollado en espiral y la superficie periférica interior (60) de la cámara (41);

b) un conjunto (59) de tapa terminal instrumentalizado seleccionado de entre el primer conjunto (31') de tapa terminal y el segundo conjunto (31'') de tapa terminal, en donde el conjunto (59) de tapa terminal instrumentalizado comprende un conducto (45) de conexión que pasa radialmente a través de una porción del conjunto (59) de tapa

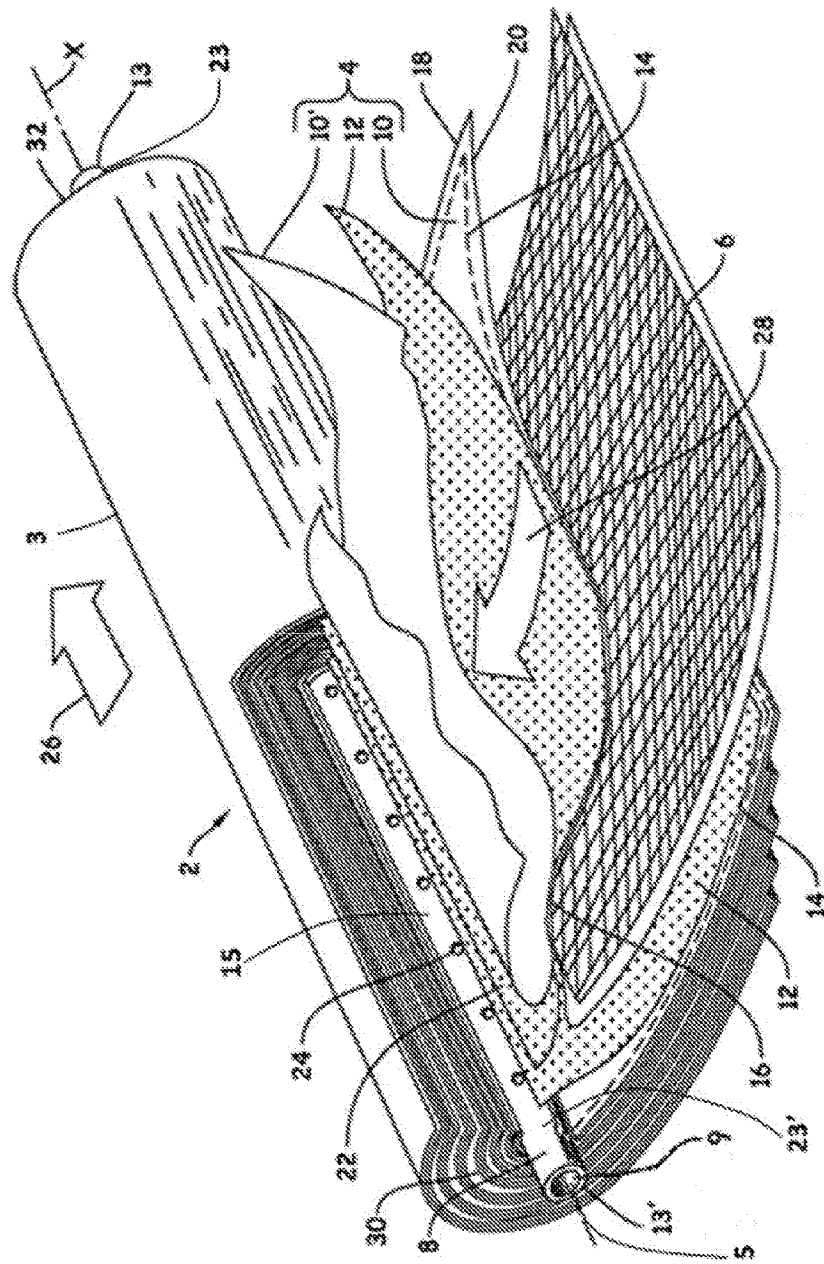
terminal instrumentalizado, definiendo dicho conducto (45) de conexión un paso de fluido entre un extremo (46) de conducto interior y un extremo (47) de conducto exterior; y

c) un sensor (49) de presión diferencial unido al conjunto (59) de tapa terminal instrumentalizado y conectado fluidicamente tanto al conducto (45) de conexión como a la vía (65) de acceso al fluido de alimentación.

- 5 2. El conjunto (21) de módulos enrollados en espiral de la reivindicación 1, en donde el sensor (49) de presión diferencial incluye una barrera deformable (72) adecuada para evitar flujo de fluido entre el paso de fluido del conducto (45) de conexión y dicha vía (65) de acceso al fluido de alimentación y que da como resultado diferentes propiedades electrónicas medibles a medida que la presión diferencial varía a través de la barrera (72).
- 10 3. El conjunto (21) de módulos enrollados en espiral de la reivindicación 2, en donde el conjunto (59) de tapa terminal instrumentalizado tiene un anillo exterior (33) que abarca parte de la región central (63), y el sensor (49) de presión diferencial está ubicado dentro del anillo exterior (33).
- 15 4. El conjunto (21) de módulos enrollados en espiral de la reivindicación 2, en donde una ranura anular (37) está ubicada en la primera periferia exterior (36) del primer anillo exterior (33) y la resistencia (19) de flujo de alimentación anular que se extiende radialmente es una junta hermética (39) para salmuera, ubicada dentro de la ranura anular (37).
5. El conjunto (21) de módulos enrollados en espiral de la reivindicación 2, en donde la segunda superficie periférica exterior (3'') del segundo módulo (2'') enrollado en espiral es porosa y la vía (61) de fluido de alimentación comprende la trayectoria periférica (64).
- 20 6. El conjunto (21) de módulos enrollados en espiral de la reivindicación 2, que comprende un primer espacio periférico ubicado entre la primera superficie periférica exterior (3') del primer módulo (2') enrollado en espiral y la superficie periférica interior (60) de la cámara (41); una primera resistencia para derivar flujo de agua desde dicho primer espacio periférico (62') a dicha región central (63); y una segunda resistencia para derivar flujo de agua desde dicha región central (63) a dicho segundo espacio periférico (62''); en donde la primera resistencia para derivar flujo de agua es al menos diez veces la segunda resistencia para derivar flujo de agua.
- 25 7. El conjunto (21) de módulos enrollados en espiral de la reivindicación 2, en donde el extremo (46) de conducto interior está ubicado dentro del anillo exterior (33), y el extremo (47) de conducto exterior está ubicado en la periferia exterior (36) del primer anillo exterior (33) y posicionado axialmente entre la cara helicoidal opuesta (32') y la resistencia (19) de flujo de alimentación.
- 30 8. El conjunto (21) de módulos enrollados en espiral de la reivindicación 2, en donde el conjunto (59) de tapa terminal instrumentalizado se selecciona del grupo que consiste en
  - a) el primer conjunto (31') de tapa terminal, que comprende además un anillo interior (57) que está sellado con el primer tubo hueco (8') de recogida de permeado y comprende una primera superficie (51') de sellado adecuada para comprimir un miembro (48) de sellado entre dicha primera superficie (51') de sellado y una segunda superficie (51'') de sellado ubicada en el primer módulo (2'') enrollado en espiral; y en donde dicho conducto (45') de conexión pasa radialmente a través del anillo interior (57) y está conectado fluidicamente a la primera cavidad interior (9') del primer tubo hueco (8') de recogida de permeado; y
  - b) el segundo conjunto (31'') de tapa terminal, que comprende además un anillo interior (57) que está sellado con el segundo tubo hueco (8'') de recogida de permeado y comprende una segunda superficie (51'') de sellado adecuada para comprimir un miembro (48) de sellado entre dicha segunda superficie (51'') de sellado y una primera superficie (51') de sellado ubicada en el primer módulo (2') enrollado en espiral; y en donde dicho conducto (45'') de conexión pasa radialmente a través del anillo interior (57) y está conectado fluidicamente a la segunda cavidad interior (9'') del primer tubo hueco (8') de recogida de permeado; y
- 40 en donde el miembro (48) de sellado comprimido une la primera y segunda cavidades interiores (9', 9'') de módulos (2', 2'') de membrana enrollada en espiral respectivos y aísla el interior de una región (50) de recogida de permeado combinado con respecto a la vía (65) de acceso al fluido de alimentación, y en donde el conducto (45) de conexión está ubicado axialmente entre el miembro (48) de sellado y la cara helicoidal (30) que hace tope con el conjunto (59) de tapa terminal instrumentalizado contiguo.
- 45 9. El conjunto (21) de módulos enrollados en espiral de la reivindicación 8, en donde se proporciona un limitador (73) de flujo de permeado dentro de la región (50) de recogida de permeado combinado y el mismo está ubicado axialmente entre la primera sección central porosa (15') y la segunda sección central porosa (15'').
- 50 10. El conjunto (21) de módulos enrollados en espiral de la reivindicación 6, en donde
  - a) la primera y segunda superficies periféricas exteriores (3', 3'') son porosas y están en comunicación fluidica con el primer y segundo canales (6', 6'') de alimentación del primer y segundo módulos (2', 2'') enrollados en espiral, respectivamente;

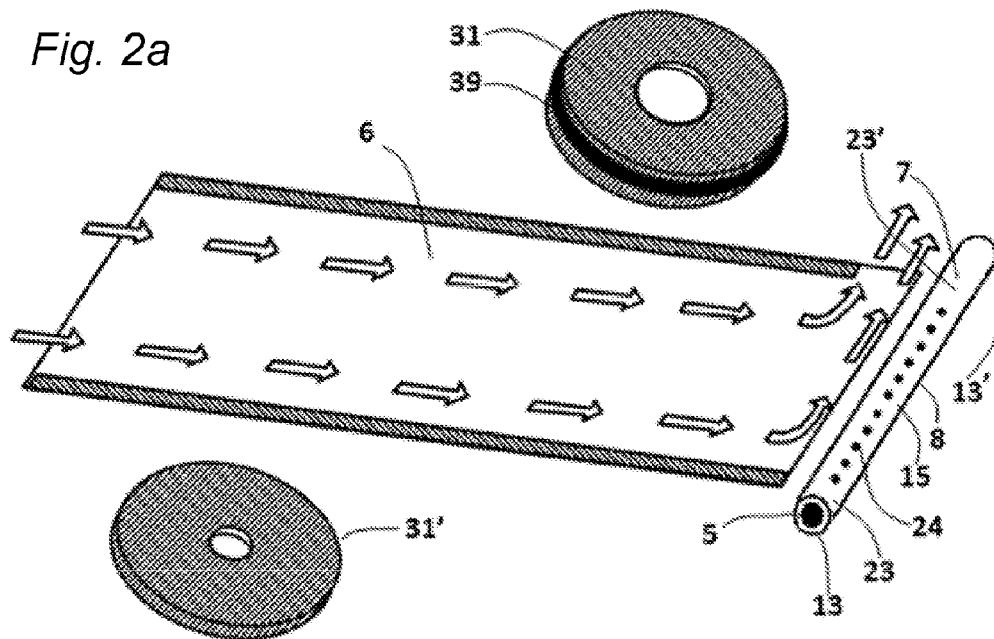
b) el primer conjunto (31') de tapa terminal cubre al menos el 75% de la primera cara helicoidal (30') y es adecuado para restringir al menos el 75% del flujo de alimentación a través de la primera cara helicoidal (30') con el fin de abrir áreas ubicadas más cerca del primer tubo (8') de recogida de permeado que de la primera superficie periférica exterior (3'); y

- 5 c) el segundo conjunto (31'') de tapa terminal cubre al menos el 75% de la segunda cara helicoidal (30'') y es adecuado para restringir al menos el 75% del flujo de alimentación que entra en el segundo módulo (2'') enrollado en espiral en relación con su entrada en el segundo canal (6'') de alimentación a través de la segunda superficie periférica exterior (3'').



10

*Fig. 2a*



*Fig. 2b*

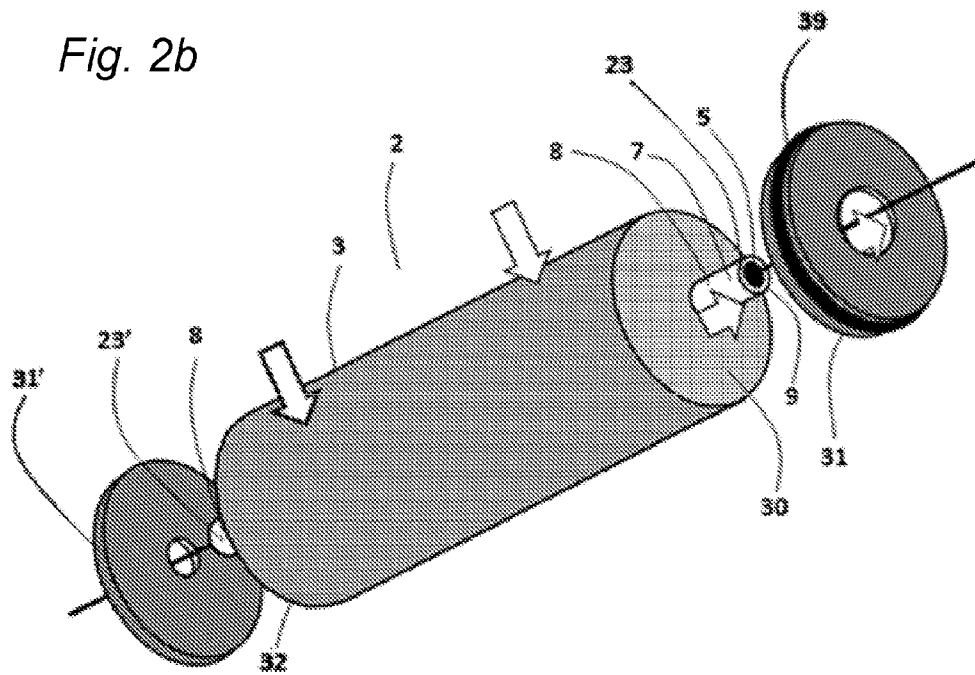
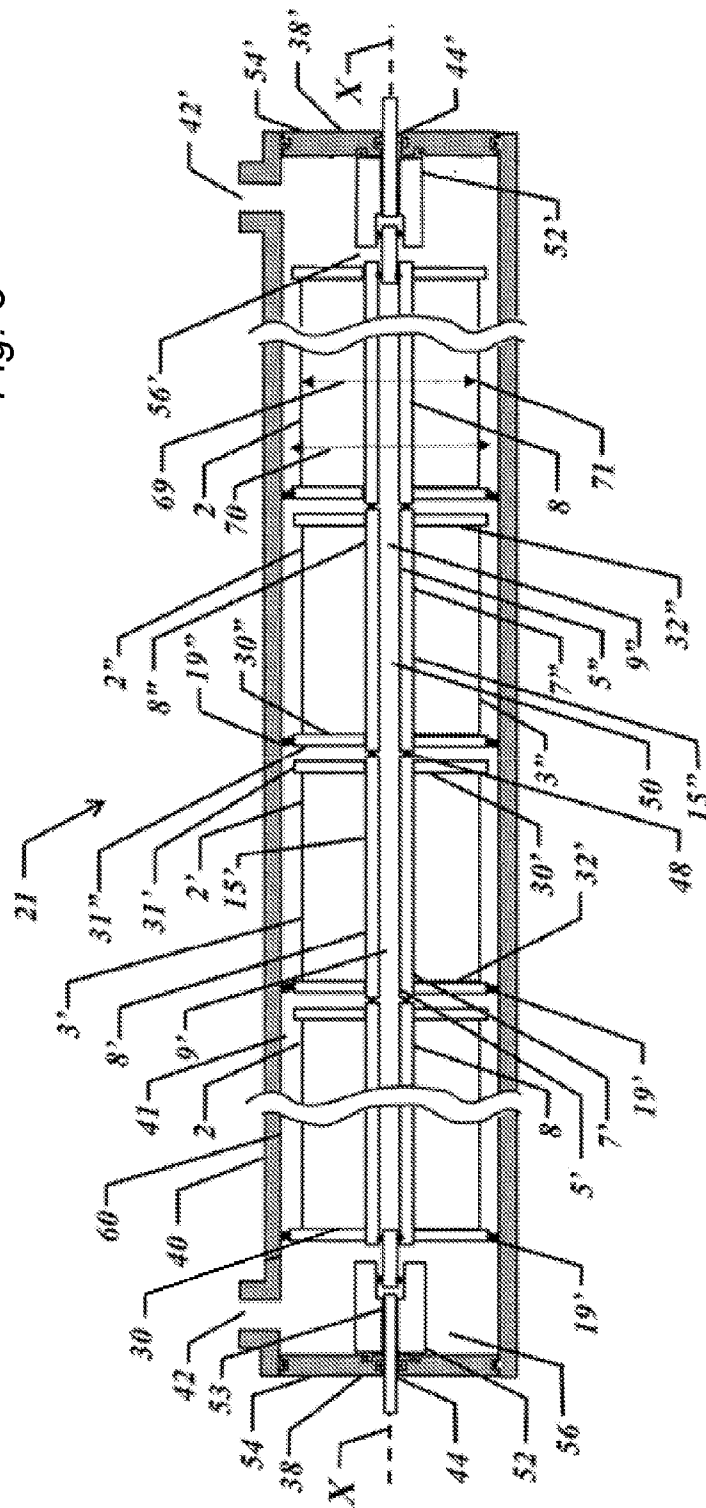
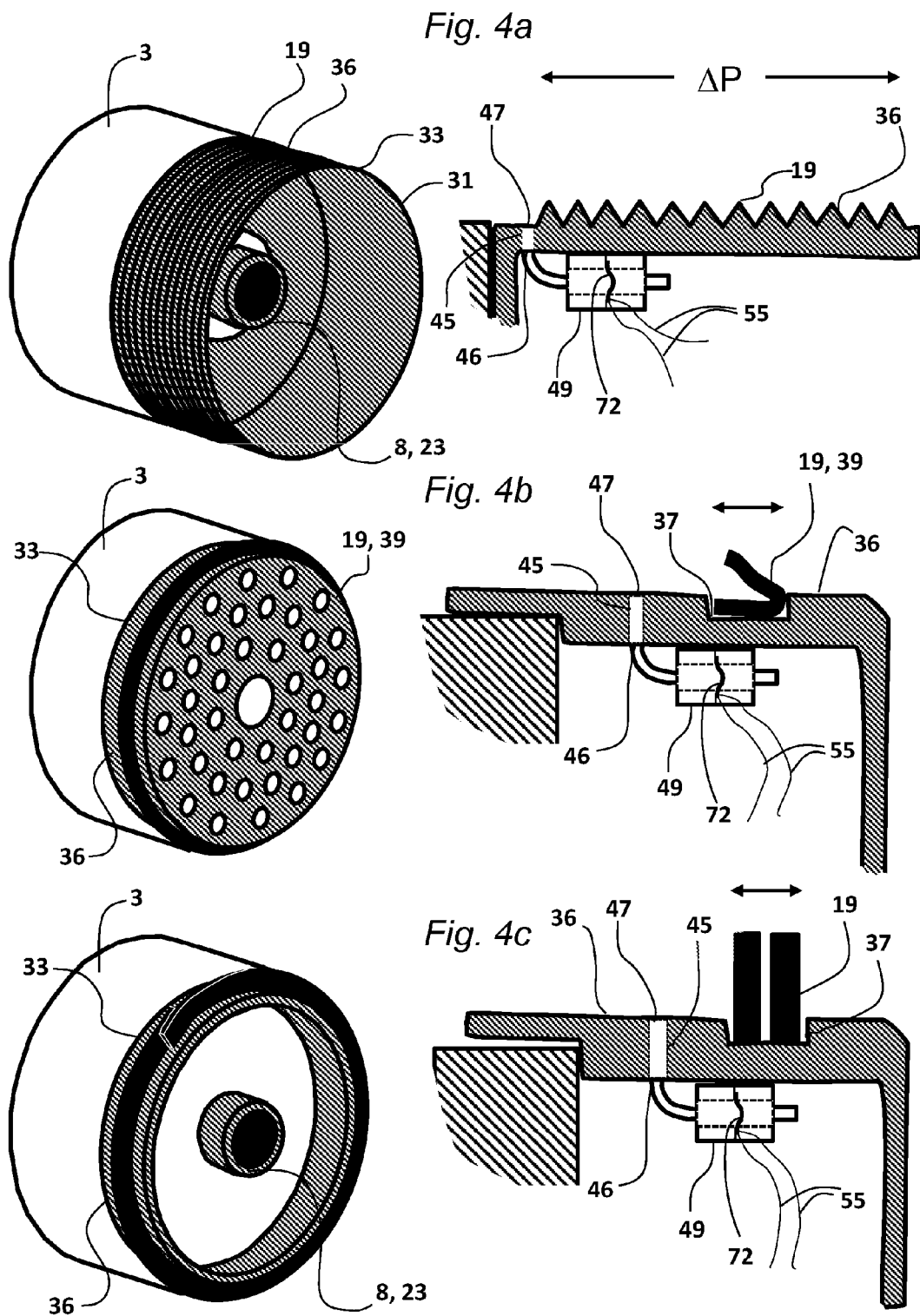
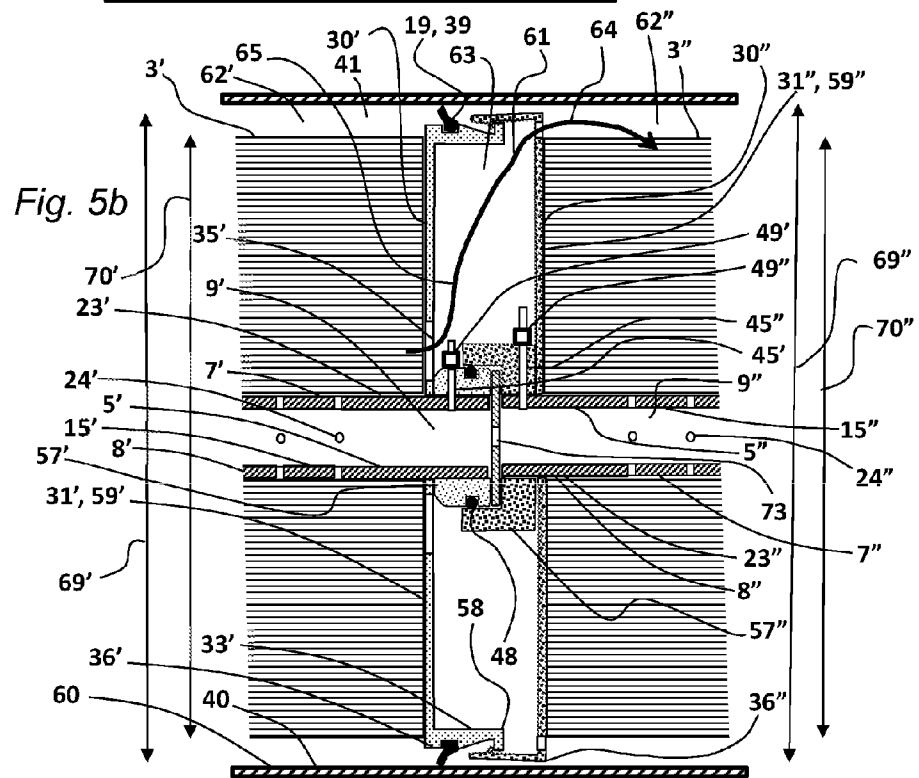
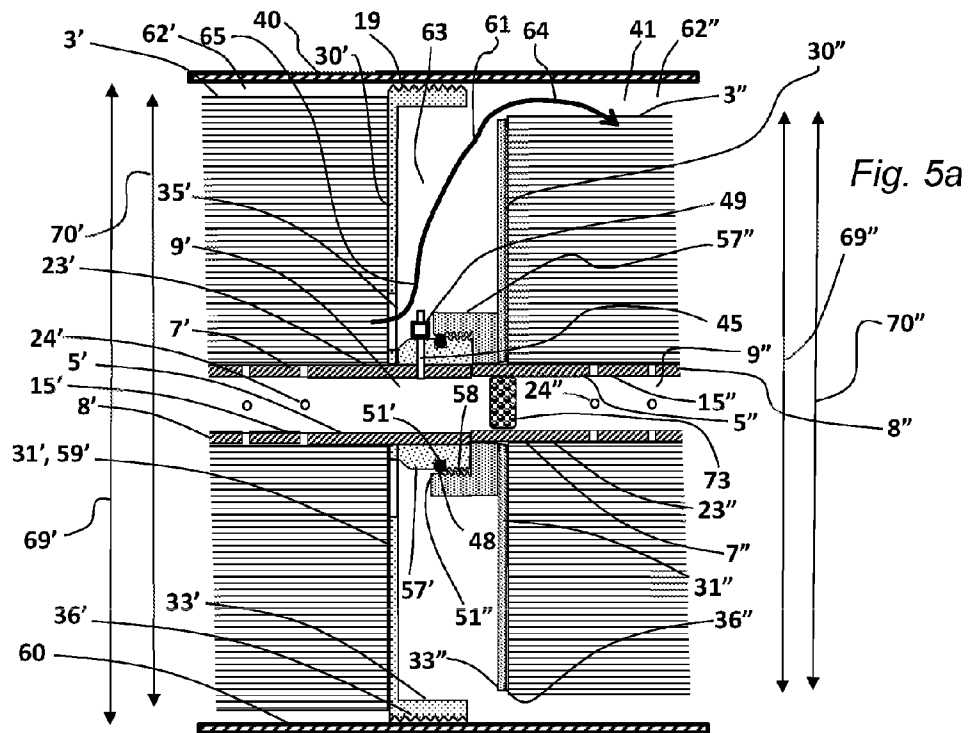
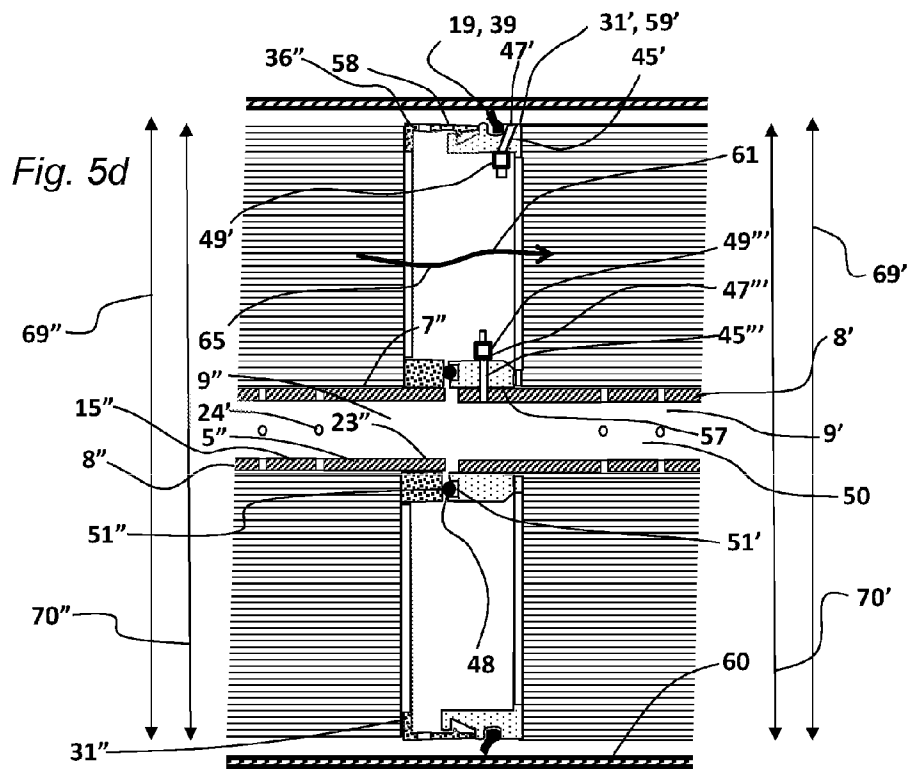
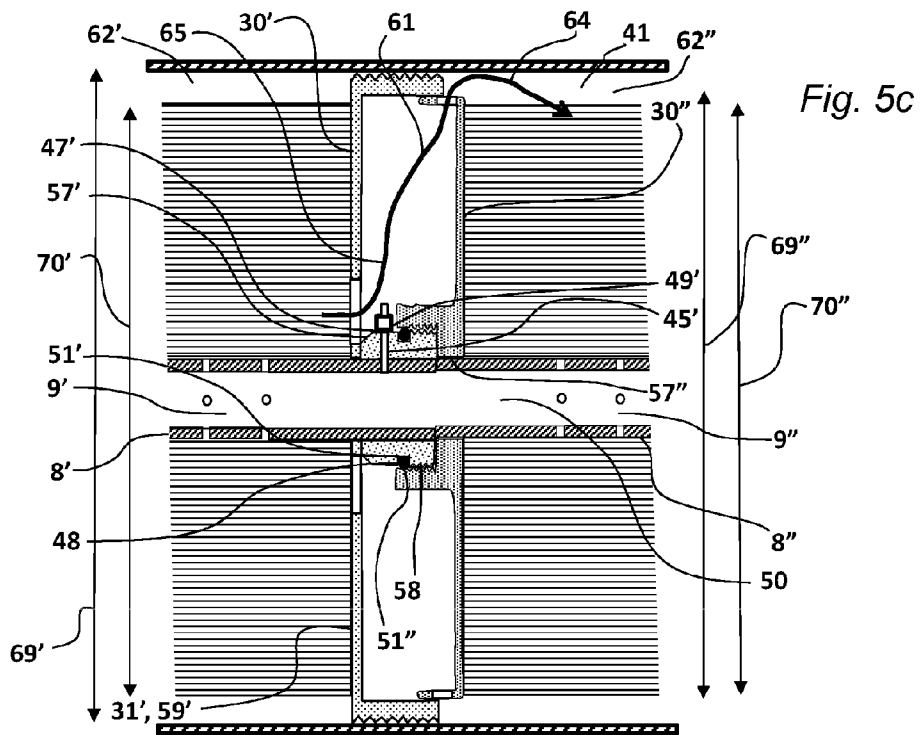


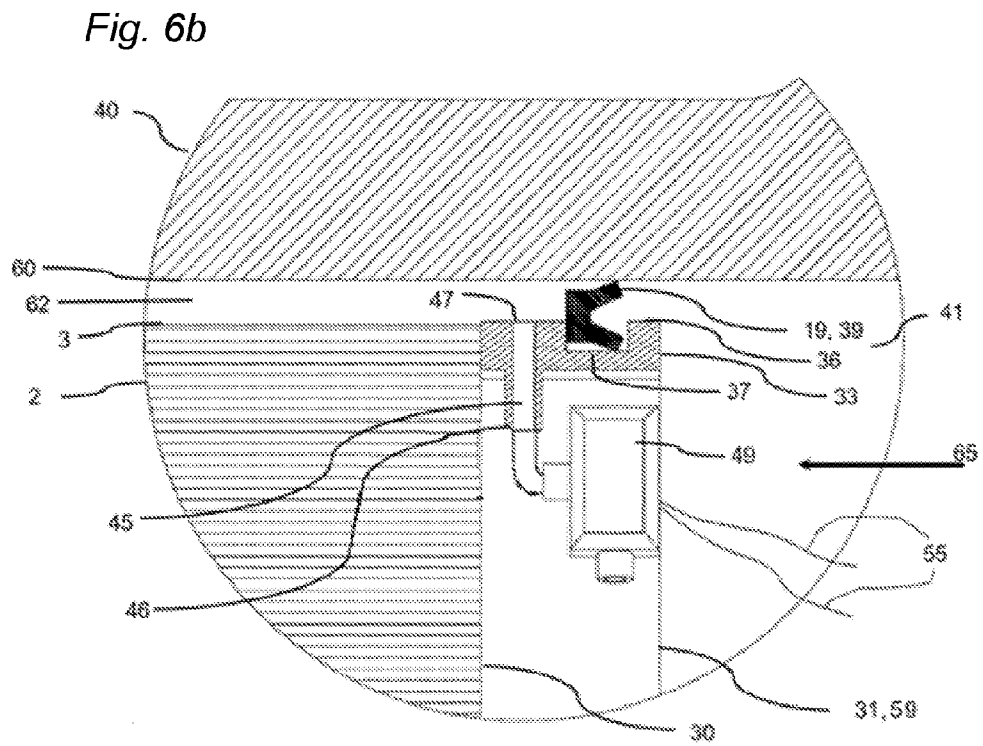
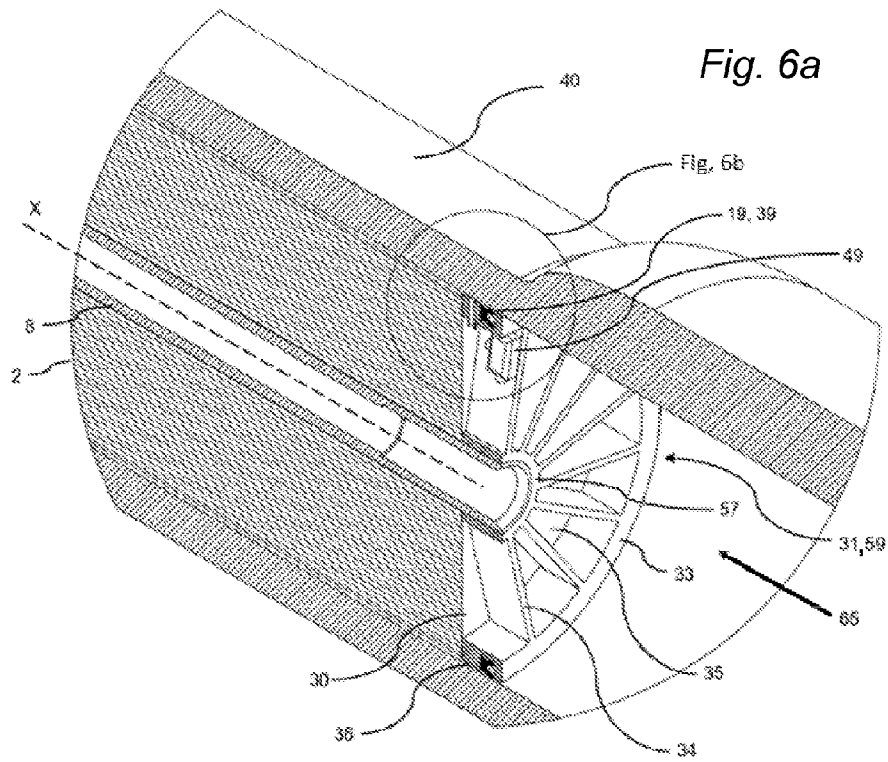
Fig. 3











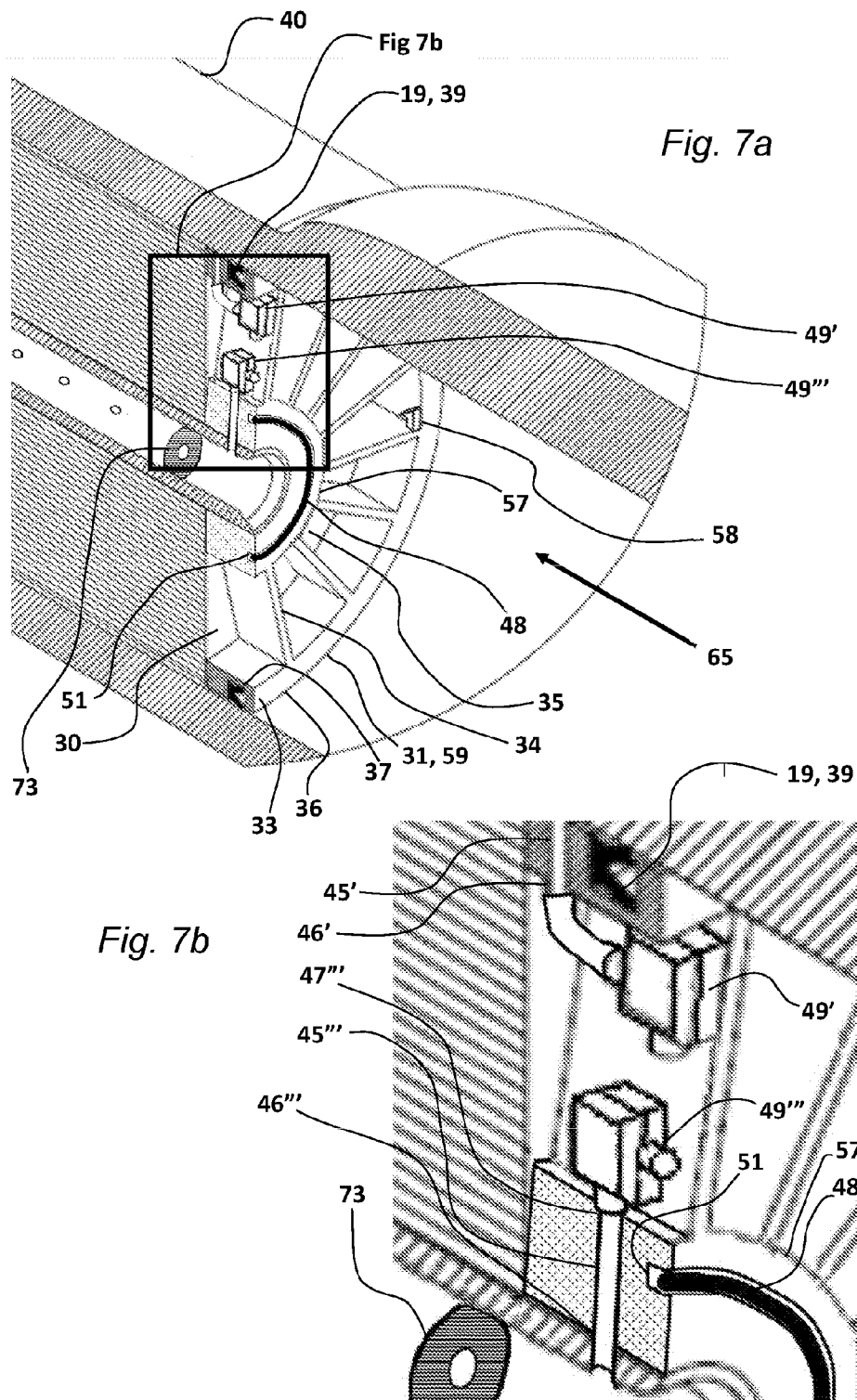


Fig. 8

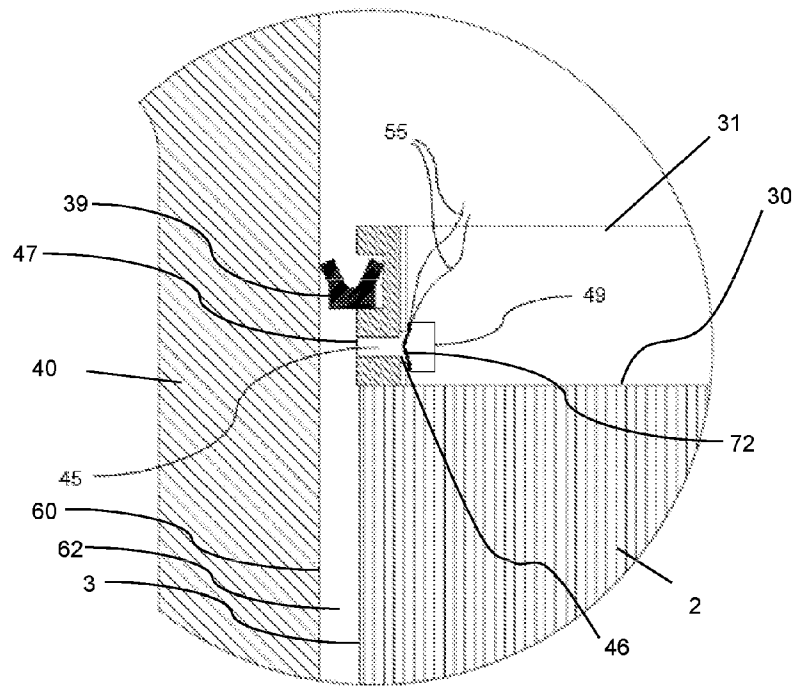
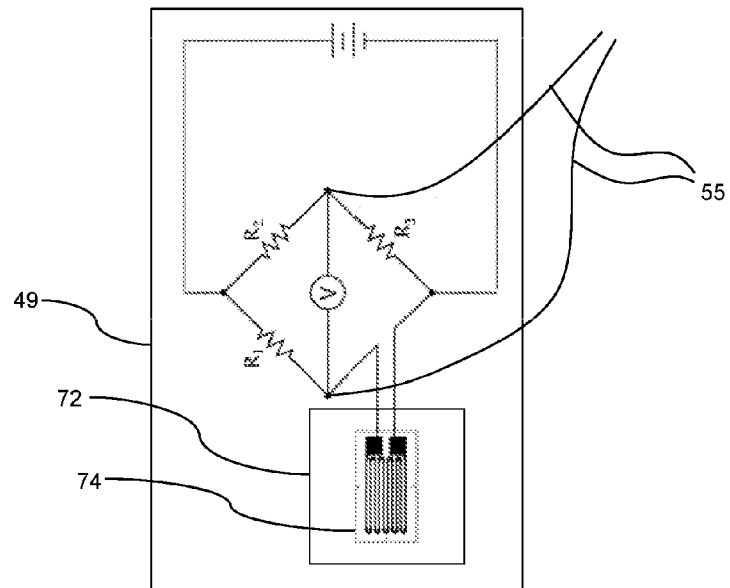
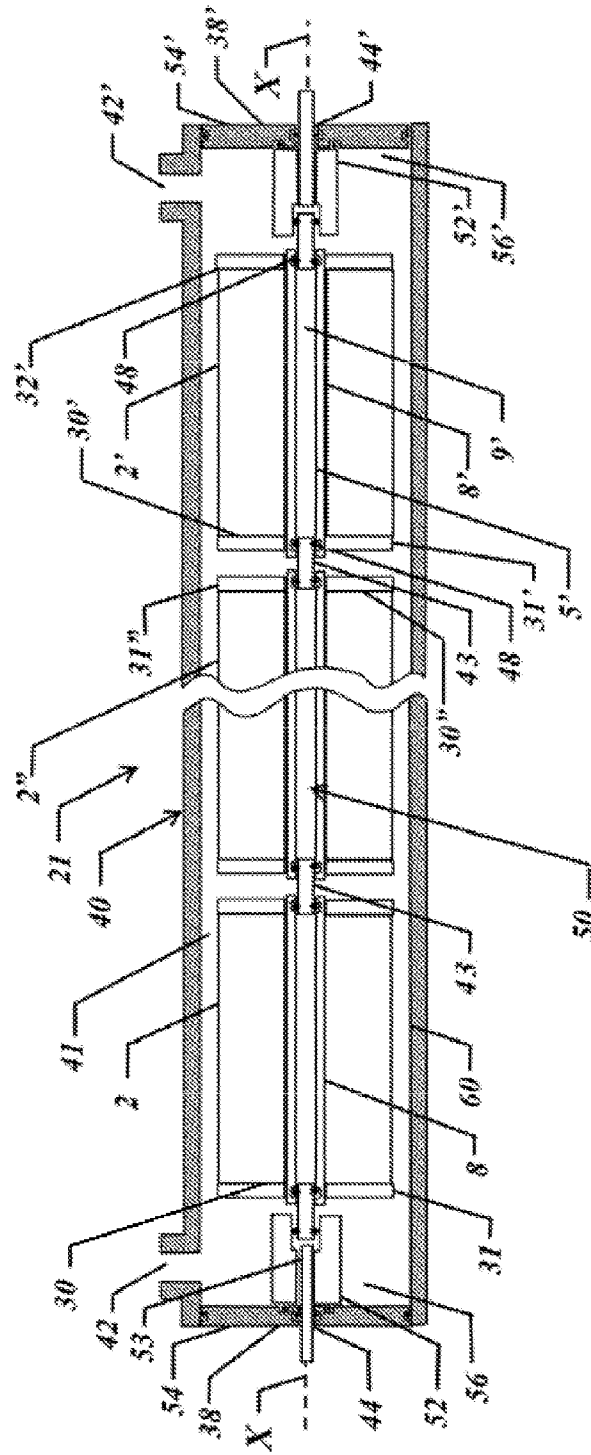


Fig. 9





**Fig. 10**