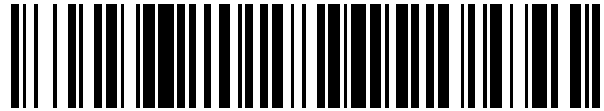


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 521 440**

51 Int. Cl.:

B01D 69/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.06.2010 E 10791125 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.10.2014 EP 2448658**

54 Título: **Membrana de fibra hueca no trenzada reforzada con textiles**

30 Prioridad:

26.06.2009 US 220797 P

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

12.11.2014

73 Titular/es:

**BL TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)
4636 Somerton Road
Trevoese, PA 19503, US**

72 Inventor/es:

**COTE, PIERRE y
PEDERSEN, STEVEN KRISTIAN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 521 440 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

Membrana de fibra hueca no trenzada reforzada con textiles

Campo

5 La presente memoria versa sobre membranas de fibra hueca reforzada, sobre estructuras de refuerzo para membranas de fibra hueca y sobre procedimientos de fabricación de membranas de fibra hueca y de estructuras de refuerzo para las mismas.

Antecedentes

Lo que sigue no es una admisión de que nada de lo que se expone a continuación sea citable como técnica anterior ni como parte del conocimiento general común.

10 Las membranas poliméricas de separación en forma de pequeños tubos capilares o fibras huecas pueden fabricarse a partir de varios polímeros mediante procedimientos diferentes, incluyendo NIPS (separación de fases inducida por no disolventes) y TIPS (separación de fases inducida térmicamente). Se describen ejemplos de procedimientos NIPS en las patentes estadounidenses números 3.615.024, 5.066.401 y 6.024.872. Se describen ejemplos de procedimientos TIPS en las patentes estadounidenses números 4.702.836 y 7.247.238. Las membranas pueden tener una capa de separación en el interior o el exterior y pueden ser usadas, por ejemplo, para la microfiltración (MF) o la ultrafiltración (UF).

15 Un beneficio de las membranas en el tratamiento del agua es su capacidad de eliminar del agua las bacterias, proporcionando efectivamente una desinfección física. Sin embargo, es importante mantener la integridad mecánica de la membrana durante su vida útil prevista. Con módulos de membranas de fibra hueca, un mecanismo de fallo mecánico es la ruptura de la fibra (a menudo cerca de una superficie de contacto del encapsulado) como consecuencia de la fatiga.

20 La publicación internacional número WO 03/097221 A1, de Yoon et al., y la publicación estadounidense número US 2002/0046970 A1, de Murase et al., describen la incrustación de hilos mono y multifilamento longitudinalmente dentro de la pared de una membrana de fibra hueca como manera de reforzar la membrana. Sin embargo, tras la flexión y el movimiento de la fibra hueca, es probable que los filamentos longitudinales sierren completamente el material más blando de la membrana y creen así un nuevo modo de fallo. Los inventores no son conscientes de ningún uso de tal membrana en la industria.

25 Otro tipo de membrana de fibra hueca reforzada que se usa actualmente en la industria utiliza un manguito textil hueco trenzado revestido o impregnado con una membrana polimérica. El trenzado proporciona la resistencia que se precisa en aplicaciones de MF/UF tales como la filtración de suspensiones acuosas o de licor mixto en la que se usa la agitación continua o intermitente (con o sin aire) de las fibras huecas para impedir la formación de suciedad o la acumulación de sólidos en la superficie de la membrana.

30 Ejemplos de membranas de filtración soportadas por trenzas incluyen la patente estadounidense número 4.061.861, de Hayano et al., en la que se impregna un polímero en una trenza hueca para impedir la contracción cuando se opera a una temperatura elevada; las patentes estadounidenses números 5.472.607 y 6.354.444, de Mahendran et al.; la patente estadounidense número 7.267.872, de Lee et al., en los que la membrana está revestida en la superficie exterior de la trenza y la penetración es limitada; y la patente estadounidense número 7.306.105, de Shinada et al., en la que la trenza está revestida con dos capas porosas diferentes.

35 Las membranas de fibra hueca soportadas por trenzas se preparan normalmente como sigue. La trenza se fabrica en una trenzadora, se enrolla en una bobina, se vuelve a embalar en carretes mayores empalmado los extremos y luego es transferida a una línea de hilado, en la que es desenrollada y luego revestida o impregnada con una solución polimérica que hay en un cabezal de revestimiento. Se usan trenzas de paredes relativamente gruesas y de tejido cerrado para que la trenza sea de redondez estable, lo que significa que no se aplana al enrollarse y desenrollarse y sigue siendo redonda cuando se inserta en el cabezal de revestimiento.

40 Los soportes trenzados tienen, por ello, algunas desventajas. Por ejemplo, las trenzas de redondez estable se fabrican en máquinas de trenzado con gran número de correderas de trenzado (por ejemplo, 16 o más). Cada corredera es alimentada desde una bobina diferente y las bobinas deben cruzar recorridos en la máquina de trenzado. Las bobinas deben acelerar, decelerar y dar marcha atrás radialmente cada vez que las correderas se cruzan entre sí. Esta es una operación costosa y lenta. Las trenzas de pequeño diámetro (menos de 2 mm) se fabrican normalmente a una velocidad inferior a 0,5 m/min. En cambio, la operación de revestimiento o impregnación de la trenza se realiza normalmente mucho más deprisa, por ejemplo a una velocidad superior a 15 m/min; de ahí la necesidad de separar las operaciones con una transferencia de carrete entre ambas. Desenrollar un gran carrete de trenza a tensión constante para el revestimiento de membrana también supone un desafío, y el procedimiento de revestimiento debe detenerse de vez en cuando para cambiar carretes.

Además, las trenzas usadas para el soporte de membranas son normalmente de un diámetro relativamente grande (>1,5 mm). Esto se debe a que la velocidad de trenzado y los costes del trenzado son generalmente independientes del diámetro, pero el área de la superficie aumenta proporcionalmente con el diámetro. Así, las trenzas tienen normalmente un gran diámetro, así como una pared gruesa, requeridos para hacerlas de redondez estable. En consecuencia, el cociente entre los diámetros interior y exterior es pequeño, normalmente inferior a 0,5. Este es el parámetro normalizado que determina la pérdida de presión para conducir un permeado a través de la luz. La elevada caída de presión en la luz en trenzas de paredes gruesas limita la longitud útil de las fibras huecas que pueden encapsularse en un módulo.

El diámetro de la fibra también es un significativo contribuyente oculto al coste total de la membrana, porque el volumen de una fibra es proporcional al cuadrado de su diámetro, mientras que el área de la superficie desarrollada es directamente proporcional al diámetro. Por lo tanto, a una densidad constante de embalado de fibras huecas en un módulo y un cociente constante entre los diámetros interior y exterior, un aumento en el diámetro exterior de una fibra disminuye el área específica de la superficie (área por unidad de volumen) y aumenta el uso específico de polímero (masa de polímero por unidad de área de superficie), aumentando ambos el coste de un sistema de membranas diseñado para filtrar un flujo dado de agua.

El documento WO 2004/009221 da a conocer membranas de fibra hueca reforzada por filamentos en las que, para el refuerzo, se combinan mono y multifilamentos; sin embargo, no en un hilo compuesto.

Se conoce el uso de fibras en bucle por los documentos WO 2007/116072 o DE 103 58 477, en los que se usan monofilamentos combinados por medio de una estructura en bucles de tricotaje.

El documento WO 2008/066340 da a conocer el uso de tejidos sin tejer en una estructura tubular de refuerzo.

El documento CH 507 012 enseña el uso de almas solubles en la producción de membranas de fibra hueca; sin embargo, únicamente en la producción de fibras huecas ordinarias sin estructura de refuerzo.

Introducción

La presente invención incluye un procedimiento y una membrana de fibra hueca según se definen en las reivindicaciones adjuntas.

Lo que sigue está concebido para que introduzca al lector en la descripción detallada que ha de seguir y no para que limite ni defina las reivindicaciones.

En la descripción detallada, se describen diversos procedimientos de fabricación de una membrana reforzada, dispositivos para la fabricación de membranas y las membranas resultantes. Normalmente, los procedimientos proporcionan una estructura de refuerzo (denominada a veces en el presente documento "jaula tubular" o "jaula") que incluye filamentos que se extienden en torno de la circunferencia de la membrana, pero sin que los filamentos sean parte de una estructura trenzada o tejida. Algunas de las estructuras de refuerzo también incluyen filamentos longitudinales. Los procedimientos y los dispositivos pueden ser usados para fabricar una estructura de soporte en línea con las etapas de formación de membranas, y también permiten que se produzca una membrana reforzada que tiene un cociente entre los diámetros interior y exterior de 0,5 o más.

Un procedimiento de fabricación de una membrana de fibra hueca reforzada usa hilos compuestos. Los hilos comprenden filamentos longitudinales generalmente continuos que se extienden a lo largo de la longitud del hilo y otros filamentos que tienen extremos sueltos o bucles, o ambos, que sobresalen de los filamentos longitudinales. Se forma en torno de la superficie exterior de un alma una estructura de refuerzo que comprende los hilos, tal como un mandril, una aguja o una fibra, con un diámetro exterior similar al diámetro interior previsto o a la membrana que se está fabricando. En la estructura de refuerzo, los filamentos longitudinales generalmente continuos están separados en torno de la circunferencia del alma, y están generalmente alineados con la longitud del alma. Los extremos o los bucles de los hilos se extienden en torno de una porción de la circunferencia del alma y se solapan o se cruzan con uno o más filamentos de uno o más de los otros hilos. Se aplica un dopante de membrana líquida a la estructura de refuerzo en un cabezal de revestimiento (denominado a veces "tobera para hilar" en el presente documento) y luego se lo trata para formar una membrana reforzada sólida. Opcionalmente, la estructura de soporte puede ser relativamente abierta en comparación con un soporte trenzado, con el dopante de membrana impregnando completamente los hilos. Puede situarse una capa de separación en el interior o el exterior de la membrana.

En el procedimiento mencionado más arriba, o en otros procedimientos descritos en el presente documento en los que se crea una estructura de refuerzo sobre un alma, el alma puede ser fija o amovible. Si el alma es fija, los hilos u otros filamentos se deslizan a lo largo del alma y acaban separándose de la misma. Un alma fija puede tener un taladro interior a través del cual se inyecta un fluido de perforación por medio del cabezal de revestimiento para contribuir a formar la superficie interior de la membrana. Si el alma es amovible, el alma se mueve con los hilos u otros filamentos por medio del cabezal de revestimiento o tobera para hilar de membrana. El alma móvil puede comprender una pared de membrana formada previamente o un alma soluble que se disolverá más tarde fuera de la membrana.

Preferentemente, la estructura de refuerzo y la pared de membrana se forman concurrente, aunque secuencialmente. Por ejemplo, en un procedimiento de fabricación de una fibra reforzada usando un alma fija, se traccionan hilos compuestos a lo largo de un mandril y a través de un cabezal de revestimiento de membrana. Los filamentos de los hilos compuestos pueden enredarse entre sí cuando los hilos son movidos a lo largo del mandril corriente arriba de la tobera para hilar, por ejemplo mediante un dispositivo de hilado. Un dopante de membrana fluye por el cabezal de revestimiento y en torno de los hilos cuando pasan a través del cabezal de revestimiento. Los filamentos y el dopante que salen del cabezal de revestimiento continúan hasta un baño en el que el dopante de membrana forma una pared de membrana sólida.

Opcionalmente, los filamentos de la estructura de refuerzo pueden encolarse entre sí en puntos de contacto en los que se cruzan. Esto puede realizarse en un dispositivo de encolado corriente arriba de la tobera para hilar de revestimiento de la membrana, por ejemplo aplicando calor o luz UV a la estructura de refuerzo. Alternativamente, el encolado puede realizarse en el dopante de membrana mediante disolventes en el dopante que ablanda o el disolvente que encola los filamentos de refuerzo. Algunos o la totalidad de los filamentos pueden ser filamentos compuestos que tienen un componente adaptado al procedimiento de encolado.

En el cabezal de revestimiento, la estructura de refuerzo atraviesa un paso anular en torno del alma, situando así la estructura de refuerzo con la pared de membrana. Opcionalmente, los filamentos de la estructura de refuerzo también pueden ser alisados en una matriz antes de que atraviesen el cabezal de revestimiento.

Un aparato para fabricar una membrana de fibra hueca descrita en el presente documento comprende un mandril, una estizola en un extremo del mandril para distribuir una pluralidad de hilos en torno de la superficie exterior del mandril, un cabezal de revestimiento con dopante de membrana en el otro extremo del mandril y un dispositivo de hilado neumático o hilado por vacío situado en torno del mandril entre la estizola y el mandril. Una membrana de fibra hueca descrita en el presente documento comprende una pared selectivamente permeable, una pluralidad de hilos fijados a la pared y que se extienden por toda la longitud de la membrana, y extremos o lazos de filamentos de una pluralidad de hilos que se cruzan con filamentos de hilos adyacentes.

En el presente documento también se describen otros procedimientos, dispositivos y membranas. Por ejemplo, algunos procedimientos de fabricación de una membrana de fibra hueca reforzada incluyen etapas de formación de una estructura de refuerzo en torno del exterior del alma, la aplicación de un dopante de membrana líquida a la estructura de refuerzo, el tratamiento del dopante de membrana líquida para formar una membrana sólida y la disolución del alma. Otros procedimientos de fabricación de una membrana de fibra hueca reforzada implican la formación de una estructura de refuerzo alrededor del exterior de una pared de membrana que actúa como un alma y el encolado de la estructura de refuerzo al exterior de la membrana de fibra hueca. La membrana puede tener una capa de separación interior o exterior, o puede aplicarse una capa de separación adicional sobre la estructura de refuerzo. Otros procedimientos de fabricación de estructuras de refuerzo incluyen filamentos de enrollamiento espiral en torno de un alma y la formación de un tejido sin tejer en torno del alma, opcionalmente encima de un conjunto de filamentos longitudinales. También se describen los correspondientes dispositivos de fabricación de membranas y las estructuras de membrana resultantes.

Dibujos

La Figura 1 muestra secciones transversales de diversas membranas de fibra hueca.

La Figura 2 muestra vistas laterales y en corte transversal de diversas estructuras de refuerzo, siendo la estructura A según la invención.

La Figura 3 es una representación esquemática, en una vista de alzado, de una máquina para fabricar una membrana de fibra hueca reforzada según la estructura A mostrada en la Figura 2.

La Figura 4 es una representación esquemática, en una vista de alzado, de una máquina para fabricar una membrana de fibra hueca reforzada según la estructura B no según la invención mostrada en la Figura 2.

La Figura 5 es una representación esquemática, en una vista de alzado, de una máquina para fabricar una membrana de fibra hueca reforzada según la estructura C no según la invención mostrada en la Figura 2.

La Figura 6 es una representación esquemática, en una vista de alzado, de una máquina para fabricar una membrana de fibra hueca reforzada según la estructura D no según la invención mostrada en la Figura 2.

La Figura 7 es una representación esquemática, en una vista de alzado, de una máquina para fabricar una membrana de fibra hueca reforzada según la estructura E no según la invención mostrada en la Figura 2.

Las Figuras 8, 9 y 10 son representaciones esquemáticas, en una vista de alzado, de otras máquinas para fabricar una membrana de fibra hueca reforzada según la estructura D no según la invención mostrada en la Figura 2 sobre un alma móvil.

La Figura 11 es una vista lateral esquemática de un hilo compuesto.

Descripción detallada

En la descripción que sigue, el eje longitudinal de la membrana de fibra hueca que se está formando es vertical y se forma una estructura de refuerzo a medida que se desplaza hacia abajo. Los filamentos que están generalmente alineados con la longitud de la membrana de fibra hueca pueden denominarse filamentos de "urdimbre". Los filamentos que están orientados con un ángulo con respecto a los filamentos de urdimbre y que, por ello, se

extienden alrededor de la circunferencia de la membrana de fibra hueca o de una parte de ella, pueden denominarse filamentos de "recubrimiento". Estas convenciones y estas palabras están pensadas para simplificar la descripción detallada que sigue proporcionando un marco de referencia, pero no se contempla que limiten ninguna reivindicación.

5 La descripción que sigue incluye configuraciones para fibras huecas reforzadas no trenzadas con filamentos integrales de refuerzo, opcionalmente enterradas dentro de la pared de la fibra hueca cerca del diámetro interior o cerca del diámetro exterior, y algunos ejemplos de los procedimientos y los dispositivos mediante los cuales pueden ser construidas. El diámetro interior de la fibra hueca reforzada puede variar entre 0,5 a 2,5 mm, o entre 0,8 a 1,5 mm. Preferentemente, la fibra hueca reforzada tiene una pared delgada, con un cociente entre diámetro interior y exterior superior a 0,50.

10 Una membrana reforzada puede tener algunos filamentos que discurren en una dirección axial o vertical generalmente de forma continua (filamentos de urdimbre), o algunos que discurren a lo largo de la circunferencia, con un ángulo con respecto a la vertical mayor que cero grados o mayor que 45 grados (filamentos de recubrimiento), o ambos. El número de filamentos de urdimbre generalmente paralelos puede ser tal que la suma de sus diámetros dividida por la circunferencia interior de la fibra hueca esté en un intervalo entre 0,2 y 1,0, o entre 0,5 y 0,8. Los filamentos de recubrimiento pueden ser enrollados de manera continua en un patrón helicoidal, o pueden ser una pluralidad de filamentos discontinuos más cortos. Los filamentos de recubrimiento pueden sobresalir de uno o más filamentos de urdimbre de un hilo compuesto que contenga los filamentos de urdimbre y de recubrimiento, o los filamentos de recubrimiento pueden ser aplicados por separado adyacentes y en contacto con los filamentos de urdimbre (si hay filamentos de urdimbre). Puede haber una o varias capas de filamentos de recubrimiento. Si hay más de una capa, la o las capas adicionales pueden ser inmediatamente adyacentes y en contacto con la primera capa. Los filamentos de refuerzo pueden unirse entre sí en puntos en los que se crucen mutuamente mediante fusión o encolado, o mediante entrelazamiento.

25 Los filamentos de urdimbre y de recubrimiento pueden ser monofilamentos, multifilamentos o una mezcla de ambos. Pueden estar fabricados de fibras o hilos poliméricos o naturales tales como polietileno, polipropileno, poliéster, nailon, PVFD, etc. Los filamentos pueden ser filamentos de dos componentes, con una capa exterior adaptada para el encolado entre filamentos cuando los filamentos se cruzan. El encolado puede lograrse adaptando uno o más de varios procedimientos conocidos en la técnica para encolar filamentos de hilos en otras aplicaciones, incluyendo el calor, el entrelazamiento, el ablandamiento con un disolvente o la activación por radiación UV.

30 La Figura 1 muestra diversos tipos de membranas 10 de fibra hueca reforzada. En un tipo de membrana 10 de fibra hueca, hay una estructura 12 de refuerzo situada cerca del diámetro interior de la membrana de fibra hueca. La estructura 12 de refuerzo está completa o parcialmente incrustada en una pared 14 de la membrana de fibra hueca según se ilustra en las partes a) y b) de la Figura 1 para capas 16 de separación exterior e interior, respectivamente. En este tipo de membrana 10 de fibra hueca, la estructura 12 de refuerzo se forma en primer lugar y la pared 14 y la capa 16 de separación en segundo lugar.

35 En un segundo tipo de membrana 10 de fibra hueca, se enrolla una estructura 12 de refuerzo en torno de una pared 14 de membrana creada de antemano con una capa 16 de separación. Esta estructura de refuerzo es visible, dado que solo está parcialmente incrustada en la pared 14 de membrana de fibras huecas creada de antemano o una capa 16 de separación, según se ilustra en las partes c) y d) para las capas 16 de separación exterior e interior, respectivamente. En este tipo de membrana 10 de fibra hueca, la pared 14 de membrana y la capa 16 de separación son formadas en primer lugar y la jaula 12 en segundo lugar.

40 En un tercer tipo de membrana 10 de fibra hueca, se enrolla una jaula o estructura 12 de refuerzo en torno de una pared 14 de membrana de fibra hueca de soporte y luego se la reviste con una capa 16 de separación en el exterior, según se ilustra en la parte e) de la Figura 1.

45 En la Figura 2 se ilustran diversas formas de estructuras 12 de refuerzo. Se indican los filamentos de urdimbre, que incluyen conjuntos o haces de ellos, mediante el número de referencia 18. Los filamentos de recubrimiento, que incluyen conjuntos o haces de los mismos, son indicados por el número de referencia 20. Las formas de la jaula 12 serán descritas con mayor detalle más abajo en combinación con procedimientos asociados de fabricación. Preferentemente, la estructura 12 de jaula es cohesiva, pero no necesariamente de redondez estable independientemente antes de ser incrustada completa o parcialmente en el polímero de la membrana.

50 En las Figuras 3-7 se ilustran cinco procedimientos de fabricación diferentes. En estos procedimientos, la estructura 12 de jaula y la pared 14 de membrana y la capa 16 de separación se forman en una serie o secuencia de operaciones que dan como resultado que la jaula 12 quede unida a la pared 14 de membrana, o incrustada en la misma, cerca del diámetro interior de la membrana 10. Las estructuras 12 de refuerzo son nombradas según la porción (A, B, C, D o E) de la Figura 2 en la que son mostradas. Más abajo se describirán procedimientos adicionales de fabricación que producen una jaula 12 cerca del diámetro exterior de una membrana 10. Tres de las estructuras 12 de refuerzo (A, B y C) comprenden filamentos 18 de urdimbre. En la Jaula A y el procedimiento de la Figura 3, se proporcionan filamentos 20 de recubrimiento por medio de una fracción de hilos compuestos que también proporcionan los filamentos 18 de urdimbre. En la Jaula B y el procedimiento de la Figura 4, los filamentos

20 de recubrimiento se forman de antemano y se aplican por separado de los filamentos 18 de urdimbre. En la Jaula C y el procedimiento de la Figura 5, los filamentos 20 de recubrimiento son aplicados por separado, pero se forman *in situ* como un velo no tejido. Las otras dos estructuras de refuerzo (D y E) están fabricadas sin filamentos de urdimbre. En la Jaula D y el procedimiento de la Figura 6, los filamentos 20 de recubrimiento son filamentos formados de antemano. En la Jaula E y el procedimiento de la Figura 7, los filamentos 20 de recubrimiento son proporcionados por un velo no tejido formado *in situ*.

Los procedimientos de fabricación para membranas 10 de fibra hueca con la jaula 12 cerca del diámetro interior implican la construcción de la estructura 12 de jaula en torno de un alma que no será parte de la membrana terminada, por ejemplo un mandril macizo o hueco (llamado opcionalmente aguja), o un alma de filamentos solubles (macizos o huecos). Según se describirá, en algunos casos el mandril puede ser ahusado o tener porciones con diferentes diámetros. Si el alma atraviesa el cabezal de revestimiento de membrana, el diámetro del alma en el cabezal de revestimiento de membrana es sustancialmente igual al diámetro interior de la membrana deseada de fibra hueca. Una entrada al taladro en la parte superior de un mandril hueco puede estar abierta a la atmósfera o estar unida a una fuente de gas o fluido de perforación a presión. Preferentemente, la fibra hueca reforzada 10 es producida de manera continua en una máquina en la que todas las etapas se realizan a la misma velocidad lineal, denominada velocidad de hilado. La velocidad de hilado puede estar entre 10-40 m/min, o entre 15-25 m/min.

Con referencia a la Figura 3, un procedimiento para fabricar un ejemplo de la Jaula A se basa en el uso de un hilo compuesto 22. Con referencia a la Figura 11, los hilos compuestos 22 pueden tener un aspecto "peludo", con una fracción significativa de extremos sueltos 24, o bucles 26 de filamentos, o ambos, que sobresalen de un haz de filamentos 28 generalmente continuos. Por ejemplo, un hilo compuesto 22 puede comprender filamentos largos continuos 28 mezclados con fibras más cortas que proporcionan extremos sueltos 24 y bucles 26. Tal hilo puede prepararse, por ejemplo, mezclando un hilo de filamentos continuos con un hilo de fibra o mediante la rotura por estiramiento de una fracción del hilo, según enseñan Matsumoto et al en la patente estadounidense nº 5.497.608 y Takiue en la patente estadounidense número 7.395.654.

En la Figura 3, hay una estizola 30 para distribuir una pluralidad de hilos compuestos 22 procedentes de bobinas dispuestas en torno de un mandril 32. Los hilos 22 son traccionados a lo largo del mandril de modo que los filamentos continuos 28 se coloquen como filamentos 18 de urdimbre, según se muestra en la parte A de la Figura 2. Las bobinas son estacionarias y hay una sola bobina por hilo 22 con un control individual de la tensión. Puede haber, por ejemplo, entre 3 y 12 hilos compuestos 22. Preferentemente, los hilos compuestos se distribuyen de manera uniforme en torno del mandril 32 por medio de una hilera 34 de filamentos de urdimbre. La hilera 34 de filamentos de urdimbre es el único punto mecánico de unión entre el mandril 32 y una estructura de soporte (no mostrada) para el mandril y otros componentes que serán descritos más abajo, aunque el mandril 32 está soportado lateralmente por los otros componentes a través de los cuales atraviesa.

Los hilos compuestos 22 pasan a lo largo del mandril 32 a través de un dispositivo 36 de enrollamiento de fibra básica cuyo propósito es orientar adicionalmente los extremos sueltos 24 o los bucles 26 a lo largo de la circunferencia del mandril 32. Al menos una porción de los extremos sueltos 24 o los bucles 26 es lo bastante larga llegar y hacer contacto con el hilo compuesto vecino 22 que se desplaza a lo largo del mandril 32. Sin embargo, no es preciso que esta porción de extremos sueltos 24 o bucles 26 sobresalga inicialmente de los filamentos continuos 28 una distancia que llegue hasta un hilo compuesto vecino 22, dado que el dispositivo 36 de enrollamiento moverá los extremos 24 o los bucles 26 de su posición inicial. Los extremos sueltos 24 o los bucles 26 pueden ser movidos adaptando uno de varios procedimientos de preparación de hilos conocidos en la técnica, tales como el hilado neumático o el hilado por vacío. Por ejemplo, en un procedimiento de hilado neumático mostrado en la patente estadounidense número 6.792.744, los filamentos 24 de extremos sueltos se enrollan en torno de un alma de filamentos continuos haciendo pasar un hilo por una hilera y usando chorros de aire a presión para crear un patrón de flujo turbulento alrededor del hilo. En un procedimiento de hilado por vacío mostrado en la patente estadounidense número 5.392.588, un hilo atraviesa una cámara de vacío que contiene un mandril giratorio perforado. Se aspira aire a través de la luz del mandril en el punto en el que el hilo se desplaza y sale a través de las perforaciones del mandril llevando consigo los filamentos sueltos. La rápida rotación del mandril peina las fibras sueltas alrededor del hilo. Con un dispositivo de hilado como el descrito más arriba, los extremos sueltos 24 o los bucles 26 son, de media, preferentemente, lo bastante largos como para extenderse hasta o más allá de los filamentos continuos 28 de un hilo compuesto vecino 22 que se desplace a lo largo del mandril 32, de modo que los extremos sueltos 24 o los bucles 26 de un hilo compuesto 22 se solapen o se crucen incluso con aquellos extremos sueltos 24 o aquellos bucles 26 de un hilo compuesto vecino 22 que se hayan movido de forma similar.

Opcionalmente, puede hacerse que el número de hilos compuestos 22 y el grado en el que los extremos libres 24 o los bucles 26 sobresalen inicialmente de los filamentos continuos 28 sean tales que los extremos sueltos 24 o los bucles 26 abarquen al menos la mitad de la distancia entre centros entre hilos compuestos adyacentes 22. En ese caso, los extremos libres 24 o los bucles 26 de hilos compuestos adyacentes 22 llegan y se cruzan entre sí tras la colocación de los hilos compuestos 22 en el mandril 32, y el dispositivo 36 de enrollamiento puede ser retirado. Si no se va a usar el dispositivo 36 de enrollamiento, entonces, preferentemente, los hilos compuestos 22 son seleccionados o se especifica que sean un tanto voluminosos, con una fracción suficientemente grande de filamentos 24, 26 de recubrimiento para que los filamentos 24, 26 de recubrimiento tiendan a llenar el espacio entre

hilos compuestos adyacentes 22 aunque se compriman momentáneamente al atravesar la hilera 34 de filamentos de urdimbre, para proporcionar un gran número de intersecciones con filamentos 24, 26 de recubrimiento de hilos adyacentes, y para mantener los hilos compuestos adyacentes 22 con una separación homogénea alrededor del mandril 32. Hilos compuestos 22 adecuados incluyen, por ejemplo, hilos de felpilla y de cobertura neumática y texturado neumático. En los hilos de felpilla, por ejemplo, un alma torsionada proporciona los filamentos continuos 28 y el pelo proporciona los extremos sueltos 24. En los hilos de felpilla, en particular, el pelo es empujado ventajosamente para que sobresalga fuera del alma, para que así se extienda en torno de la circunferencia del mandril, aunque parte del pelo también sobresale inicialmente alejándose del mandril 32 hasta que se vuelve a tirar de él a la zona que ha de ser ocupada por la pared de membrana en una hilera 40 de alisamiento o un cabezal 42 de revestimiento, describiéndose ambos a continuación.

Por ejemplo, con un mandril 32 de 1,25 mm de diámetro exterior usado para fabricar una membrana de fibra hueca reforzada de 1,9 mm de diámetro exterior, una estructura 12 de jaula puede tener un diámetro exterior deseado de 1,5 mm. La circunferencia exterior de la estructura 12 de jaula es de aproximadamente 5 mm. Pueden colocarse sobre el mandril 32 tres hilos 22 de felpilla que tengan filamentos 24 de pelo de aproximadamente 4 mm de longitud y de 15 a 20 micrómetros de diámetro, con los filamentos de pelo solapándose entre sí sin un dispositivo 36 de enrollamiento. La hilera 34 de filamentos de urdimbre puede ser configurada para aplicar los hilos 22 de felpilla al mandril 32 secuencialmente para que los filamentos de pelo (extremos sueltos 24) se solapen entre sí. Opcionalmente, los extremos sueltos 24 o los bucles 26 pueden ser erizados con chorros de aire para fomentar el entrelazamiento con los extremos 24 o los bucles 26 de hilos compuestos adyacentes 22 que se solapan o se cruzan.

Descendiendo por el mandril 32, hay un dispositivo opcional 38 de encolado de filamentos. El entrelazamiento de filamentos (por ejemplo, el entrelazamiento de extremos sueltos 24 o de bucles 26 de un hilo compuesto 22 con los extremos sueltos 24 o los bucles 26 de otro hilo compuesto 22) puede ser suficiente para estabilizar la estructura 12 de jaula. Sin embargo, también es posible encolar algunos o la totalidad de los filamentos 24, 26, 28 entre sí calentando, aplicando luz UV, etc., en puntos de contacto en los que se cruzan. Por ejemplo, puede aplicarse calor para ablandar la porción de vaina de los filamentos de dos componentes. Hay filamentos de dos componentes disponibles, por ejemplo, a partir de fibras de FIT con un alma de poliéster (PET) con un punto de fusión >250 °C y una vaina fabricada de copolímeros con puntos de fusión que oscilan entre 110 - 180 °C. Alternativamente, la etapa de encolado puede llevarse a cabo durante la aplicación del dopante de membrana si el disolvente del dopante tiene la capacidad de ablandar el polímero o revestimiento del filamento y promover el encolado.

El conjunto 12 de jaula atraviesa opcionalmente una hilera 40 de alisamiento para aplicar presión mientras el polímero sigue blando para promover el encolado. También puede usarse una hilera 40 para regular el diámetro exterior de la jaula 12 a su dimensión deseada o para volver a traccionar cualquier filamento que pueda sobresalir excesivamente de la jaula 12 al diámetro exterior deseado. Puede insuflarse aire caliente a través de la hilera 40 de alisamiento, o corriente arriba de la hilera 40 de alisamiento, para contribuir al asentamiento de los filamentos en el diámetro exterior deseado de la jaula 12 si no hay ninguna etapa de encolado por calentamiento corriente arriba.

Descendiendo por el mandril 32, hay una etapa opcional de enfriamiento (no mostrada) antes de que la estructura de jaula entre en una cabecera o tobera para hilar 42 de revestimiento de dopante. En el cabezal 42 de revestimiento, se aplica dopante 44 de membrana líquida a los hilos 22. Opcionalmente, los hilos 22 con completamente impregnados con dopante 44 de membrana en el cabezal 42 de revestimiento inyectando suficiente dopante polimérico 44 para llenar el hueco entre el mandril 32 y el diámetro de botón (interior menor) del cabezal 42 de revestimiento. El diámetro del mandril 32 puede reducirse en la zona del cabezal 42 de revestimiento para contribuir adicionalmente a lograr que el dopante polimérico 44 impregne completamente la estructura 12 de refuerzo de filamentos para que ningún filamento quede al descubierto a la luz hueca de la fibra.

El mandril 32 puede terminar precisamente cuando la fibra hueca reforzada formada sale del cabezal 42 de revestimiento. Un gas aspirado a través de un taladro del mandril 32 puede impedir el hundimiento de las fibras. Alternativamente, puede inyectarse un fluido 46 de perforación a través del mandril 32 para controlar la asimetría de la sección transversal del polímero cerca de la superficie interior. Normalmente, el fluido 46 de perforación es una mezcla de disolvente y no disolvente con respecto al polímero de la membrana.

Las siguientes etapas de formación de membranas son similares a las usadas para fabricar fibras huecas no reforzadas o revestidas de trenzas. Estas etapas varían según el procedimiento de coagulación del polímero (NIPS o TIPS) y las propiedades deseadas de la membrana. Estas condiciones han sido descritas ampliamente en la técnica anterior y normalmente incluyen las etapas de formación inicial de la membrana a través de un intervalo de aire, coagulación, enjuague, postratamiento (por ejemplo, cloración), impregnación (por ejemplo, con glicerina), formación de haces y secado. En la Figura 3, se indica esquemáticamente que estas etapas ocurren en una zona 48 de formación de membranas, aunque pueden usarse diversos equipos separados. Estos dispositivos pueden estar todos en línea, o pueden ser separados recibiendo la fibra hueca en una bobina o devanadora entre ellos. La velocidad total del procedimiento, o velocidad de hilado, es controlada por la velocidad del primer dispositivo en recibir la membrana de fibra hueca después del cabezal 42 de revestimiento. Dispositivos corriente arriba que aplican o mueven los filamentos 20 de recubrimiento, tales como la máquina hiladora 36, son controlados para

operar a una velocidad apropiada para la velocidad de hilado y pueden estar acoplados mecánica o electrónicamente al primer dispositivo receptor o a su controlador. La membrana de fibra hueca terminada es enrollada normalmente en un carrete 50 para su transferencia a una zona de fabricación de módulos.

5 Con referencia a la Figura 4, un procedimiento para construir la Jaula B es similar al procedimiento para construir la Jaula A descrito más arriba en algunos aspectos (indicado por el uso de los mismos números de referencia), pero difiere al menos en la fuente de los filamentos 20 de recubrimiento. A continuación se describirán las características que son diferentes.

10 Un hilo 52 de urdimbre puede ser un hilo convencional con filamentos continuos, preferentemente filamentos de dos componentes, por ejemplo según se describe más abajo. Se aplican filamentos 54 de recubrimiento generalmente continuos usando una o más estizolas giratorias 56 que giran en torno del mandril 32 (según se muestra en la Figura 4) o por medio de máquinas hiladoras de recubrimiento en las que el eje de la bobina coincide con el mandril 32, según se describe en el procedimiento para fabricar la Jaula D y se muestra en la Figura 6.

15 Cuando se usa una estizola giratoria 56, las bobinas 58 de filamentos de recubrimiento están montadas en una rueda que gira en torno de la aguja sin estar en contacto con ella, y siempre en la misma dirección. Cada bobina 58 de recubrimiento está equipada con un control de la tensión. Pueden usarse una o más estizolas giratorias 56, girando en direcciones alternas (dos mostradas en la Figura 4). El paso del filamento de recubrimiento está relacionado con la velocidad vertical y la velocidad de devanado por medio de la Ecuación 1 que sigue, en la que P es el paso (mm), que significa la distancia vertical correspondiente a una vuelta completa, V es la velocidad vertical (m/min) y W es la velocidad de devanado (rpm)

$$P = \frac{V \times 1000}{W} \quad \text{Ecuación 1}$$

20 Por ejemplo, para una velocidad de devanado de 4.000 rpm y una velocidad vertical de 16 m/min, el paso sería 4,0 mm. Si la estizola giratoria 56 contiene 4 bobinas 58, la distancia entre filamentos paralelos 20 de recubrimiento sería 1,0 mm. Con las dos estizolas giratorias 56 mostradas en la Figura 4 se obtiene un patrón en diamante de fibras 20 de recubrimiento, según se muestra en la Figura 2, Parte B.

25 Con referencia a la Figura 5, un procedimiento de fabricación de una membrana de fibra hueca reforzada no trenzada con un ejemplo de la Jaula C es similar al procedimiento descrito más arriba, salvo en que las estizolas giratorias para filamentos de recubrimiento son sustituidas por un dispositivo 60 formador de velo no tejido para formar filamentos *in situ*, según se describirá más abajo.

30 En este procedimiento, se producen *in situ* filamentos 20 de recubrimiento mediante extrusión en fundido, hilado en seco o electrohilado. Estos procedimientos son conocidos en la técnica para otras aplicaciones, según se describe en las patentes estadounidenses números 3.849.241, 4.689.186, 4.965.110, 5.271.883 y 6.114.017. Normalmente, los polímeros termoplásticos se extruden a temperatura elevada a través de pequeños taladros usando aire para alargar los filamentos y transportarlos a un colector móvil, que, en este caso, son los filamentos 52 de urdimbre que descienden del mandril 32. En la Tabla 1 se describen las condiciones de proceso para los procedimientos de fusión de filamentos y de soplado en fundido. El flujo de polímero por orificio puede ser de hasta 1-2 g/min.

35 Tabla 1

Proceso	Diámetro del filamento (micrómetros)	Factor de alargamiento	Diámetro del orificio de la hilera (micrómetros)
Fusión de filamentos	20-80	20-40	1000-2000
Soplado en fundido	2-6	100-200	400-1000

40 En el dispositivo 60 formador de velo, los conjuntos de hileras de extrusión están situados en torno del mandril 32 a lo largo del cual se desplazan los filamentos 52 de urdimbre. Cada conjunto de hileras de extrusión tiene una toma de material fundido (para el hilado en fundido) o disuelto (para el hilado en seco) y orificios de extrusión, así como una toma de aire a presión elevada y orificios de chorros de aire situados en torno al orificio de extrusión del polímero. El flujo turbulento de aire alrededor de la hilera hace que las fibras 20 de recubrimiento se depositen al azar sobre la superficie del hilo 52 de urdimbre. El flujo de aire puede ser pulsátil para mejorar la distribución de filamentos. Como alternativa, cada conjunto de hileras de extrusión está montada de manera que permita una vibración rápida en el plano horizontal. La vibración a una frecuencia de 50 a 200 hercios puede efectuarse mediante varios medios conocidos en la técnica. Una variación opcional de este procedimiento es girar las hileras de extrusión en torno al mandril 32.

45 Si se usa electrohilado, el mandril 32 puede ser usado como un electrodo y el campo eléctrico puede variarse según se enseña en las patentes estadounidenses números 4.689.186 y 4.965.110 para promover una distribución homogénea de los filamentos 20 de recubrimiento en torno al mandril 32.

Dadas las condiciones descritas en lo que antecede, puede calcularse que un filamento alargado normal de 50 micrómetros extrudido con un caudal de polímero de 2 g/min saldría a una velocidad de aproximadamente 16 m/s. Esta velocidad es 2 órdenes de magnitud mayor que la velocidad de hilado, lo que significa que los filamentos 20 de recubrimiento pueden depositarse con un pequeño ángulo negativo con respecto a la horizontal sobre los filamentos de urdimbre que se desplazan. La estructura resultante de los filamentos 20 de recubrimiento es un velo aleatorio no tejido.

Por ejemplo, los filamentos 20 de recubrimiento pueden ocupar un espacio anular con un diámetro interior de 1,2 mm y un diámetro exterior de 1,3 mm en una pared 14 de membrana con una porosidad del 50%. Con una densidad del polímero de 1 g/ml, la masa de filamentos de recubrimiento por m de fibra hueca es 0,098 g/m. Suponiendo una velocidad de hilado de 15 m/min, el caudal de masa del filamento de recubrimiento es $(0,098 \times 15)$ o 1,47 g/min. Con cuatro hileras de extrusión, el caudal de masa por hilera es 0,37 g/min. Pueden situarse lado a lado varios mandriles 32, cercanos entre sí, para maximizar la captura de la fibra extrudida.

Como alternativa de la extrusión de fibra *in situ*, pueden distribuirse fibras troceadas en torno al mandril 32 en el dispositivo 60 formador de velo usando arrastre de aire para formar un velo no tejido que luego es consolidado usando calor y presión a través de una hilera. Dado que la distribución homogénea de las fibras troceadas de antemano puede resultar difícil, una alternativa es retirar filamentos continuos de bobinas fijas en torno al mandril 32 y trocearlas *in situ* con una cuchilla giratoria situada en una caja en torno al mandril 32. Este procedimiento permite una distribución precisa de fibras (en longitud y número) en torno al mandril 32. Los filamentos pueden ser suministrados a la caja de la cuchilla giratoria con un Venturi de aire y el flujo de aire puede ser usado para embalar las fibras troceadas en torno al mandril 32 cuando el aire se desplaza para escapar por la porción inferior de la caja.

La Figura 6 muestra un procedimiento para fabricar una estructura de refuerzo según la Jaula D. Este procedimiento es similar al procedimiento descrito en relación con la Figura 4, pero no hay ningún hilo 52 de urdimbre y se usan máquinas hiladoras 70 de recubrimiento para aplicar los hilos 54 de recubrimiento. Las máquinas hiladoras 70 de recubrimiento aplican muy poca tensión al mandril 32. Sin embargo, la tensión aplicada a la membrana 10 de fibra hueca terminada hace que los filamentos 20 de recubrimiento cambien su orientación (aumentando el paso) a medida que se desplazan bajando por el mandril 32 antes de que sean encolados entre sí, lo que puede hacer que los filamentos 20 de urdimbre se fijen al mandril 32. La estructura 12 de refuerzo de jaula se construye en torno a un mandril ahusado 32 para impedir que los filamentos 20 de recubrimiento se fijen al mandril 32. En una zona 32a por encima de las máquinas hiladoras 70 de recubrimiento, el mandril 32 tiene un diámetro D1. En una zona inferior 32c, en la que el mandril 32 atraviesa el dispositivo 38 de encolado, la hilera 40 de alisamiento y el cabezal 42 de revestimiento, el mandril tiene un diámetro D2. D1 es mayor que D2. Una zona 32b de transición entre D1 y D2 puede ser gradual o seguir uno o más cambios súbitos.

Los filamentos 20 de recubrimiento pueden ser enrollados usando máquinas hiladoras 70 de recubrimiento, por ejemplo modificadas de máquinas hiladoras de recubrimiento usadas para otras aplicaciones. Se describen ejemplos de máquinas hiladoras de recubrimiento en las patentes estadounidenses números 4.299.083 y 5.303.550. El hilado de recubrimiento se usa normalmente para preparar hilo elástico envolviendo un hilo (elástico) de alma con un hilo de recubrimiento (no elástico). En la presente aplicación, se centra una máquina hiladora 70 de recubrimiento sobre el mandril 32 y se la usa para envolver el mandril 32 con el hilo 54 de recubrimiento. Dado que las máquinas hiladoras 70 de recubrimiento giran en torno a su eje, pueden alcanzarse velocidades de devanado de hasta 50.000, según enseña Setzer en la patente estadounidense número 5.303.550.

Con referencia a la Figura 7, se forma *in situ* un tubo no tejido de filamentos 20 de recubrimiento según se ha descrito en relación con la Figura 5, pero sin filamentos 18 de urdimbre. Este enfoque es posible si el velo no tejido es lo suficientemente cohesivo y resistente como para ser traccionado del mandril 32. Es deseable cierta cantidad de alargamiento (y de reducción de diámetro).

Un procedimiento alternativo relacionado con todos los procedimientos descritos anteriormente es formar la estructura 12 de jaula en torno a un alma completa o parcialmente soluble en lugar de un mandril 32. Por ejemplo, el alma puede ser un tubo macizo o capilar que puede ser disuelto posteriormente en un disolvente, preferentemente el disolvente usado para coagular la membrana (normalmente agua). Ejemplos de polímeros hidrosolubles incluyen PVA, EVOH (fabricado por Kuraray), así como algunas formas de poliéster (disponible en Eastman) y nailon (disponible en Shakespeare).

Una alternativa a los procedimientos descritos más arriba para fabricar ejemplos de las jaulas B y D implica la formación de la estructura 12 de jaula tubular alrededor de un tubo capilar muy ligero fabricado de un no tejido delgado. Este tubo puede fabricarse traccionando un velo de tejido sin tejer en paralelo al eje del mandril 32, rizando el tejido dándole forma circular con una hilera de guiado y formando un tubo de costura solapada. El tubo puede ser envuelto entonces con los filamentos 20 de recubrimiento encolando o no en primer lugar la costura de tejido sin tejer.

Si se usan los procedimientos descritos más arriba de una manera que dé como resultado una jaula cilíndrica 12 rígida pero de paredes delgadas antes de la impregnación de membrana, el dopante 44 de membrana puede ser aplicado por debajo del extremo del mandril 32, de modo que haya un espacio entre el extremo del mandril 32 y el

cabezal 42 de revestimiento. En este caso, puede usarse un mandril macizo 32 o alambre, dado que puede efectuarse un equilibrio de presiones en un espacio entre el mandril 32 y el cabezal 42 de revestimiento en el que se aspira aire del entorno a la luz de la fibra hueca en formación para evitar su hundimiento. En este caso, el paso subsiguiente de impregnación de membrana se realiza distribuyendo el dopante 44 con un caudal preciso para evitar llenar con el dopante 44 la luz, que ahora está abierta, en vez de estar llena por el mandril 32. Para ese fin puede usarse una bomba volumétrica. Esta operación puede facilitarse si el dopante de membrana moja espontáneamente los filamentos 18, 20 de refuerzo para que sea retenido por tensión superficial dentro de la estructura 12 de jaula. Esto puede lograrse tratando la superficie de los filamentos o manipulando la composición del dopante, o ambos. Si la estructura 12 de jaula tiene redondez estable, puede ser recibida en una bobina para su tratamiento ulterior en una etapa posterior de revestimiento, como se hace normalmente con un soporte trenzado. Sin embargo, no se prefieren las alternativas de este párrafo, dado que es preferible formar la estructura 12 de refuerzo más delgada que proporcione la resistencia deseada y formar la membrana en línea con las etapas de formación de membranas.

Los procedimientos de fabricación para producir una membrana 10 de fibra hueca con la jaula 12 cerca del diámetro exterior de la pared 14 de membrana implican construir la estructura 12 de jaula en torno a una fibra hueca fabricada de antemano. En este caso, la jaula 12 se construye en torno a una pared 14 de membrana de fibra hueca terminada (con una capa 16 de separación) o de soporte (sin capa 16 de separación) como etapa adicional, a una velocidad limitada únicamente por cualquier equipo de recubrimiento. En las Figuras 8-10 se ilustran tres procedimientos de fabricación diferentes para describir diversas maneras de formación de la estructura de jaula. En las Figuras 8 y 9, se forma una estructura 12 de soporte según la jaula D en torno a una pared 14 de membrana de fibra hueca terminada usando un mandril 32 y directamente sobre la pared 14 de membrana de fibra hueca terminada. En la Figura 10, se forma una estructura 12 de soporte según la jaula D en torno a una membrana de fibra hueca de soporte y se la reviste con una capa 16 de separación.

Con referencia a la Figura 8, se construye una estructura 12 de refuerzo según la Jaula D en torno a una membrana 62 de fibra hueca terminada. La membrana 62 de fibra hueca es suministrada al dispositivo 56 de devanado dentro de un mandril ahusado 66 desde una bobina 64 de fibra hueca. Los filamentos 20, 54 de recubrimiento son enrollados en torno al mandril 66 y traccionados hacia abajo para recubrir la membrana 62 de fibra hueca a medida que sale del mandril 66. En la Figura 8, el mandril 66 no se extiende más allá del dispositivo 56 de devanado. El equipo de devanado pueden ser estizolas giratorias 56 (mostradas) o máquinas hiladoras de recubrimiento (no mostradas), según se ha descrito más arriba. Después del devanado, los filamentos 20 de recubrimiento son sometidos a las etapas de encolado de filamentos y de la hilera de alisamiento antes de que la membrana de fibra hueca reforzada sea recibida en un carrete 50.

En esta estructura de refuerzo, los filamentos 20 de recubrimiento serán visibles en la superficie exterior de la fibra hueca. Para fibras huecas de E/S con una capa de separación en el lado de la luz, los filamentos 20 de recubrimiento proporcionan el beneficio añadido de engrosar el haz para facilitar el encapsulado durante la fabricación de módulos y proporcionar mejor acceso a toda la superficie de la membrana durante la operación (es decir, mejorando el alisado). Para fibras de S/E, los filamentos 18, 20 de refuerzo bloquearán una pequeña fracción de la capa 16 de separación, pero proporcionarán los beneficios de proteger la capa de separación de la abrasión, expandiendo el haz para mejorar la operación y alterando la capa de frontera hidráulica, actuando como un separador de alimentación en un módulo enrollado en espiral.

El procedimiento mostrado en la Figura 9 es similar al descrito en la Figura 8, salvo en que la estructura 12 de jaula es construida directamente en torno a la fibra hueca 62. Esto solo puede realizarse con máquinas hiladoras 70 de recubrimiento que ejerzan muy poca tensión en la fibra hueca 62 que se desplaza.

El procedimiento ilustrado en la Figura 10 es similar a los descritos en las Figuras 8 y 9, salvo en que la fibra hueca 68 suministrada es un soporte microporoso. Este soporte 68 de fibra hueca tiene una pared delgada (por ejemplo menor que el 15% del diámetro exterior) y no podría ser usado por sí mismo para filtración sin hundirse o reventar. También se selecciona para que tenga poros grandes (por ejemplo, mayores que 0,2 micrómetros) para minimizar la resistencia al flujo. El soporte 68 de fibra hueca está recubierto de filamentos 20, 54 de refuerzo y luego revestido con una membrana de separación, según se ha descrito más arriba.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de fabricación de una membrana (10) de fibra hueca reforzada que comprende las etapas de:
 - 5 a) proporcionar un alma (32), teniendo el alma una longitud y una circunferencia perpendicular a la longitud;
 - b) proporcionar una pluralidad de hilos compuestos (22), comprendiendo cada uno de los hilos compuestos una primera parte (28) y una segunda parte (24, 26), comprendiendo la primera parte uno o más filamentos generalmente continuos que se extienden a lo largo de la longitud del hilo compuesto, comprendiendo la segunda parte una pluralidad de extremos o bucles de filamentos que sobresalen de la primera parte del hilo compuesto;
 - 10 c) formar una estructura (12) de refuerzo en torno del alma, estando separadas las primeras partes de la pluralidad de hilos compuestos en torno de la circunferencia del alma y generalmente alineadas con la longitud del alma, y extendiéndose las segundas partes de la pluralidad de hilos compuestos en torno de una porción de la circunferencia del alma y cruzándose con uno o más filamentos de uno o más de otros hilos de la pluralidad de hilos compuestos;
 - 15 d) aplicar un dopante (44) de membrana líquida a la estructura (12) de refuerzo; y
 - e) tratar el dopante de membrana líquida para formar una membrana sólida.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que las segundas partes (24, 26) de la pluralidad de hilos están orientadas a lo largo de la circunferencia del alma (32) después de que las primeras partes (28) de la pluralidad de hilos estén separadas en torno de la circunferencia del alma (32).
- 20 3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la distancia centro a centro en torno del alma (32) entre hilos compuestos adyacentes (22) y la distancia en que las segundas partes (24, 26) sobresalen de las primeras partes (28) de los hilos compuestos (22) son tales que las segundas partes de hilos compuestos adyacentes se solapan entre sí al colocar los hilos compuestos en el mandril.
4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el alma (32) es un mandril y los hilos (22) se mueven a lo largo de la longitud del mandril durante la etapa c) y que, además, comprende una etapa de eliminación de la pluralidad de hilos del mandril.
5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que el mandril (32) comprende una o más secciones, teniendo cada sección una superficie exterior generalmente cilíndrica o generalmente cónica.
6. El procedimiento de la reivindicación 4 o 5, en el que el mandril tiene un taladro interior y que, además, comprende una etapa de paso de un fluido de perforación a través del taladro interior del mandril.
- 30 7. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que la etapa d) comprende impregnar la pluralidad de hilos (22) con el dopante (44) de membrana líquida.
8. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la etapa c) comprende la hilatura neumática o la hilatura por vacío de las segundas partes (24, 26) de la pluralidad de hilos (22).
- 35 9. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 que, además, comprende una etapa de encolado mutuo de la pluralidad de hilos (22) en puntos de contacto en los que se cruzan después de la etapa c).
10. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que la pluralidad de hilos (22) comprende filamentos de dos componentes, comprendiendo los filamentos de dos componentes una porción adaptada para ser encolada a otros filamentos de la pluralidad de hilos.
- 40 11. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 que, además, comprende una etapa de alisamiento de la pluralidad de hilos (22) antes de la etapa d).
12. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que los hilos (22) están fabricados mediante rotura por estiramiento de una fracción de un hilo compuesto.
13. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 y 7 a 12, en el que el alma (32) es soluble en un disolvente que no disuelve la membrana sólida.
- 45 14. Una membrana (10) de fibra hueca que comprende:
 - a) una pared selectivamente permeable (14); y
 - b) una pluralidad de hilos compuestos (22) fijados a la pared y que se extienden a lo largo de la longitud de la membrana,
 - 50 **caracterizada porque** cada uno de los hilos compuestos comprende una primera parte (28) y una segunda parte (24, 26), comprendiendo la primera parte uno o más filamentos generalmente continuos que se extienden

a lo largo de la longitud del hilo, comprendiendo la segunda parte filamentos que tienen extremos o bucles que sobresalen de la primera parte,
y **porque** las segundas partes de la pluralidad de hilos se extienden en torno de una porción de la circunferencia de la pared y se cruzan con uno o más filamentos de uno o más de otros hilos de la pluralidad de hilos compuestos.

5

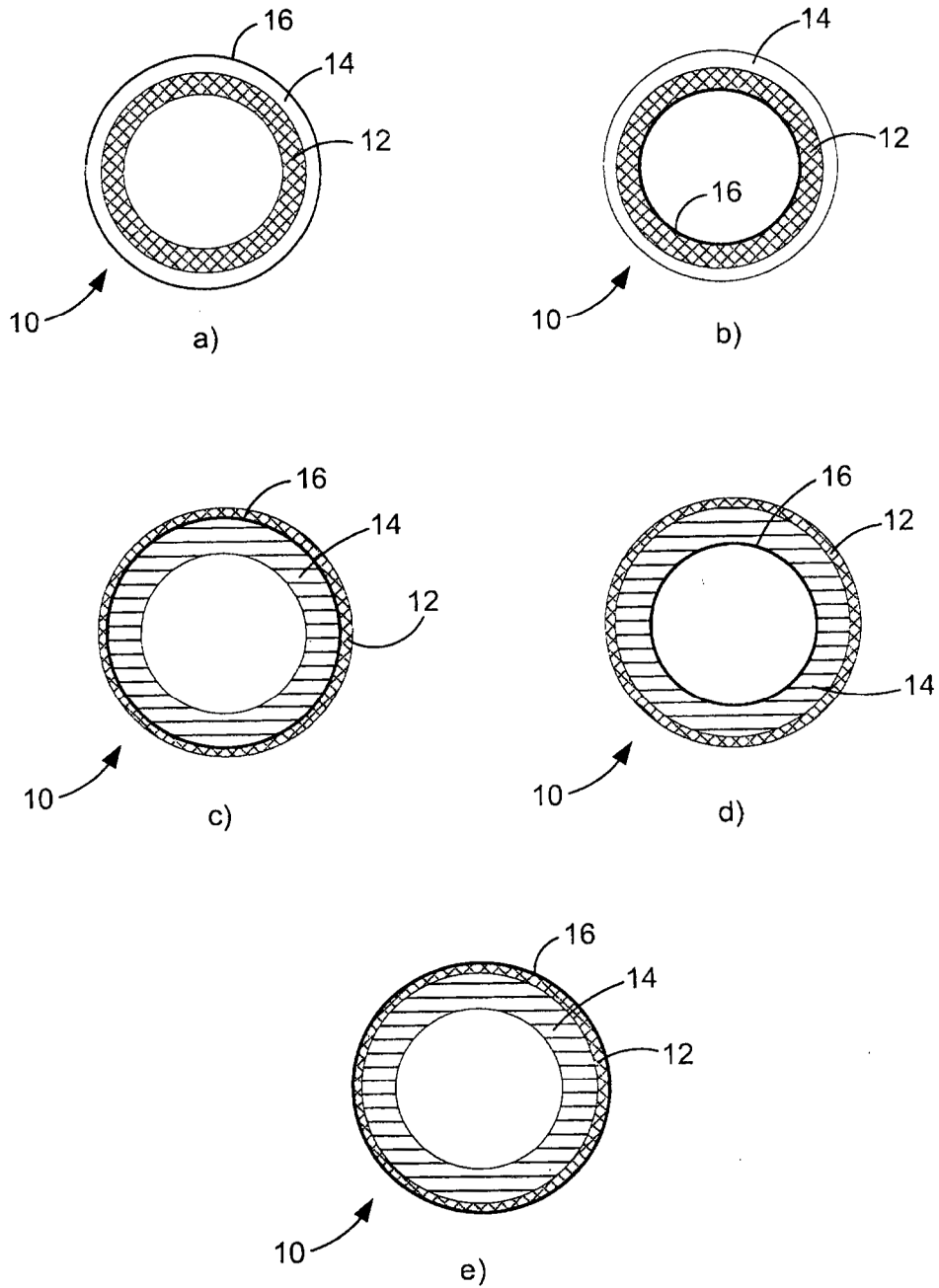


Figura 1

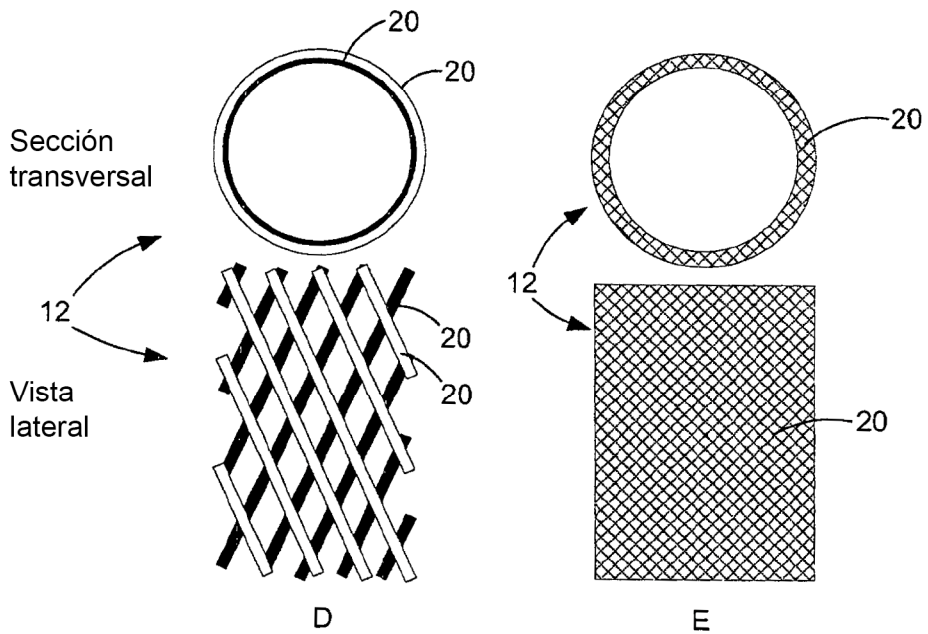
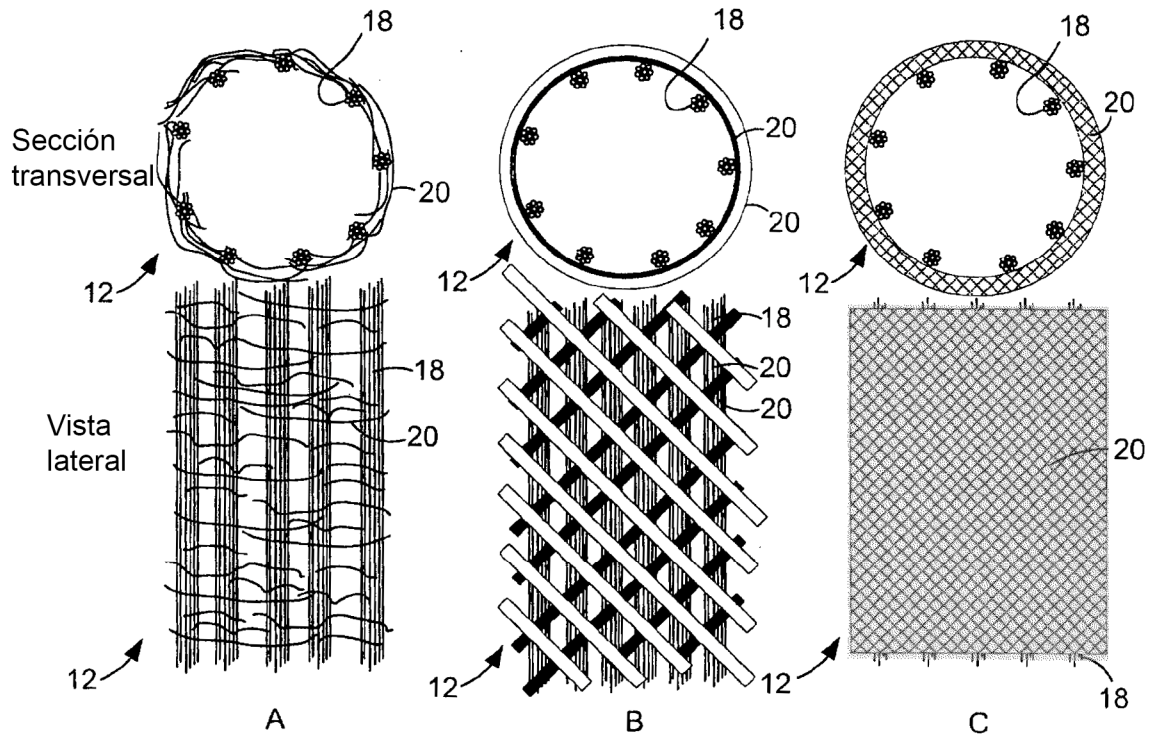


Figura 2

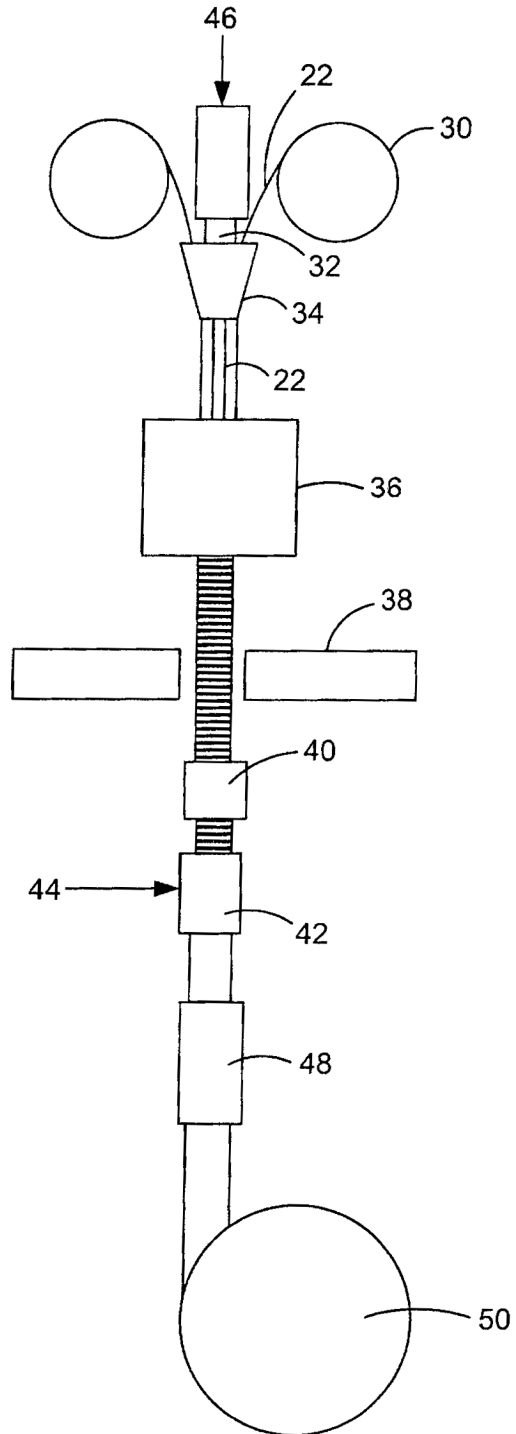


Figura 3

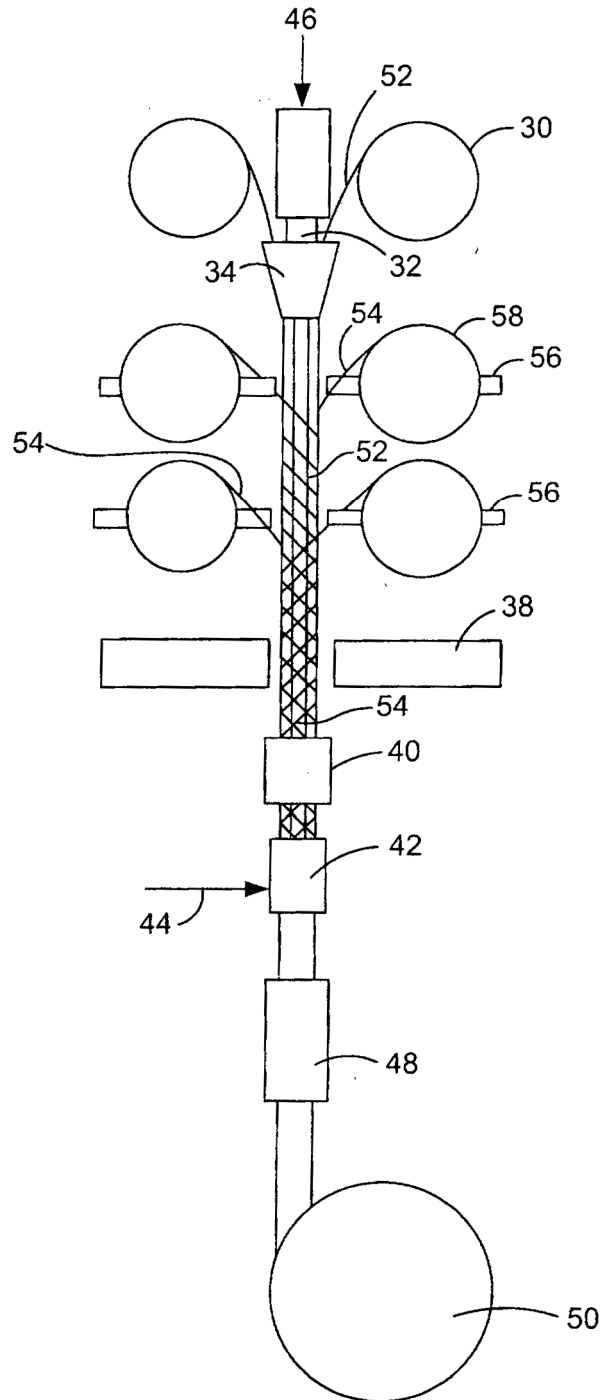


Figura 4

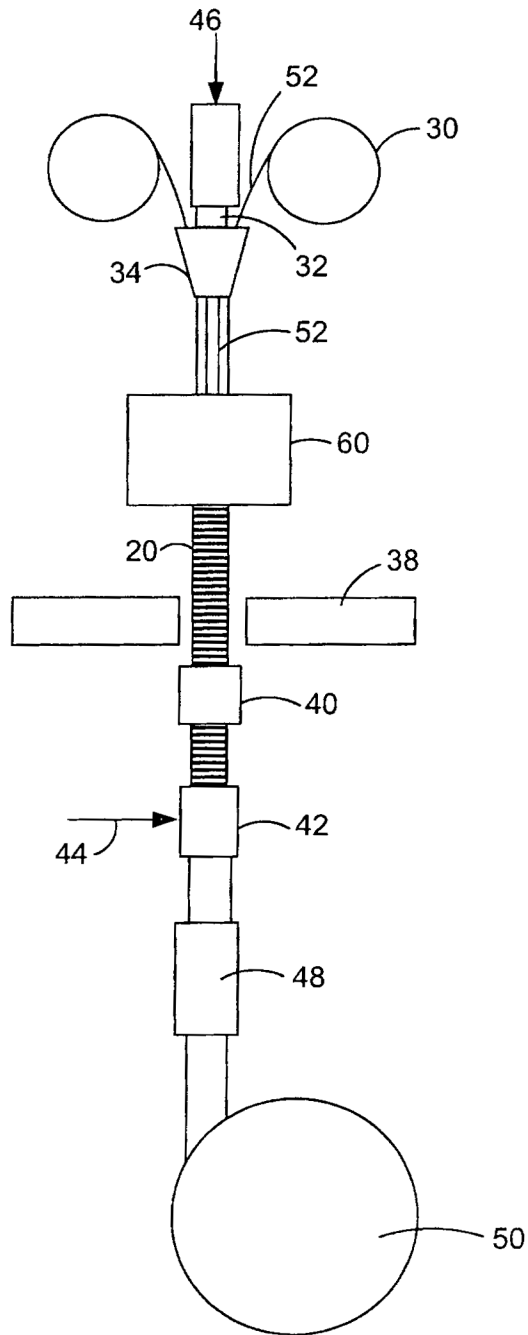


Figura 5

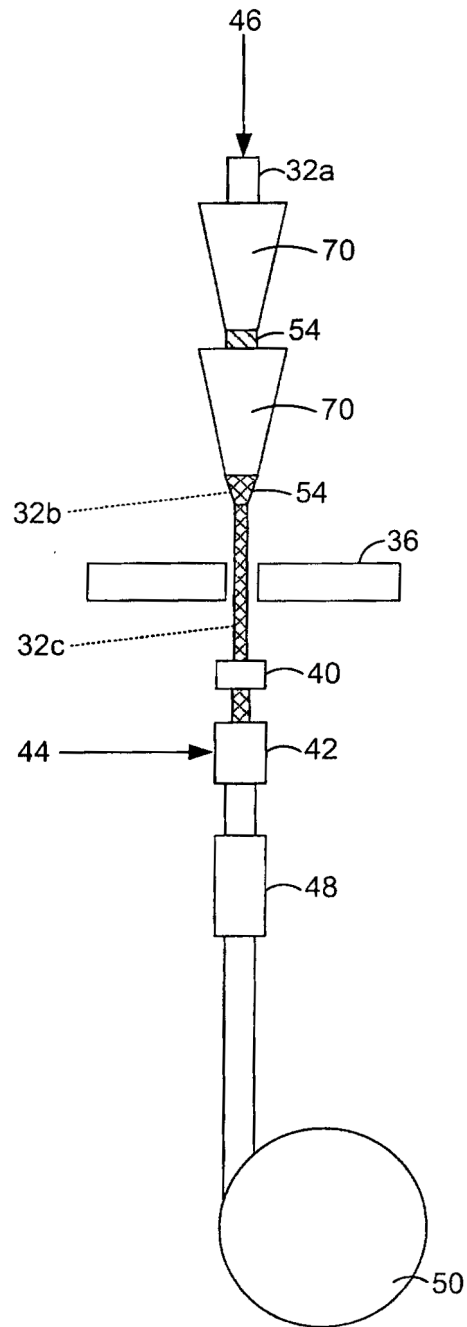


Figura 6

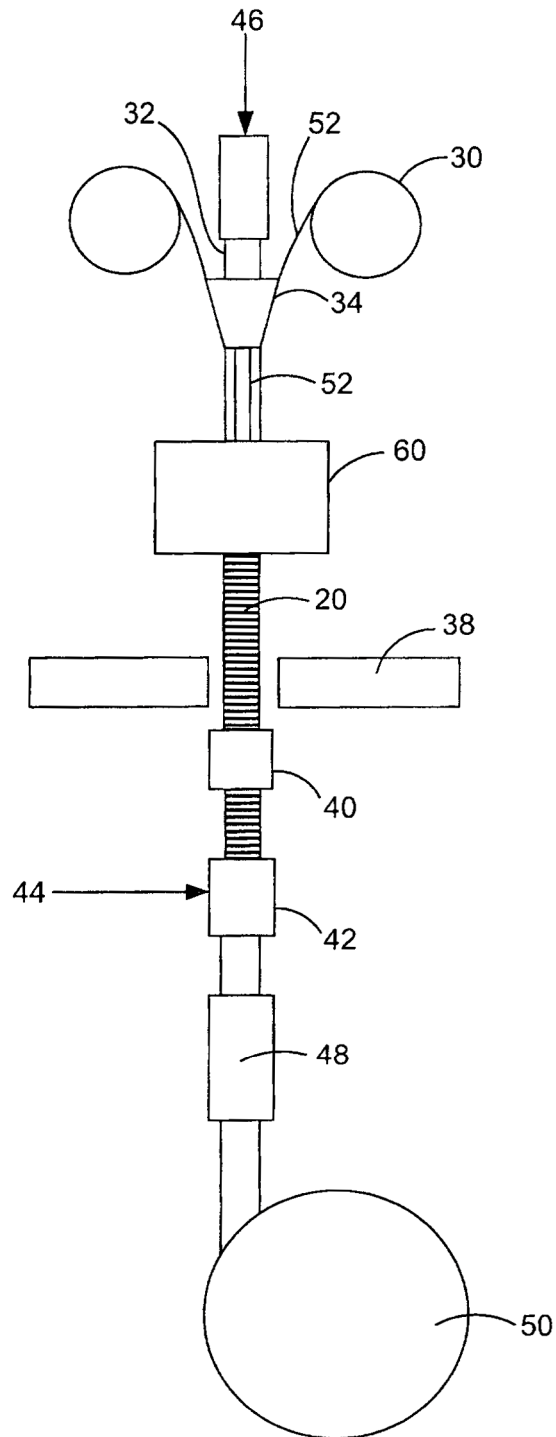


Figura 7

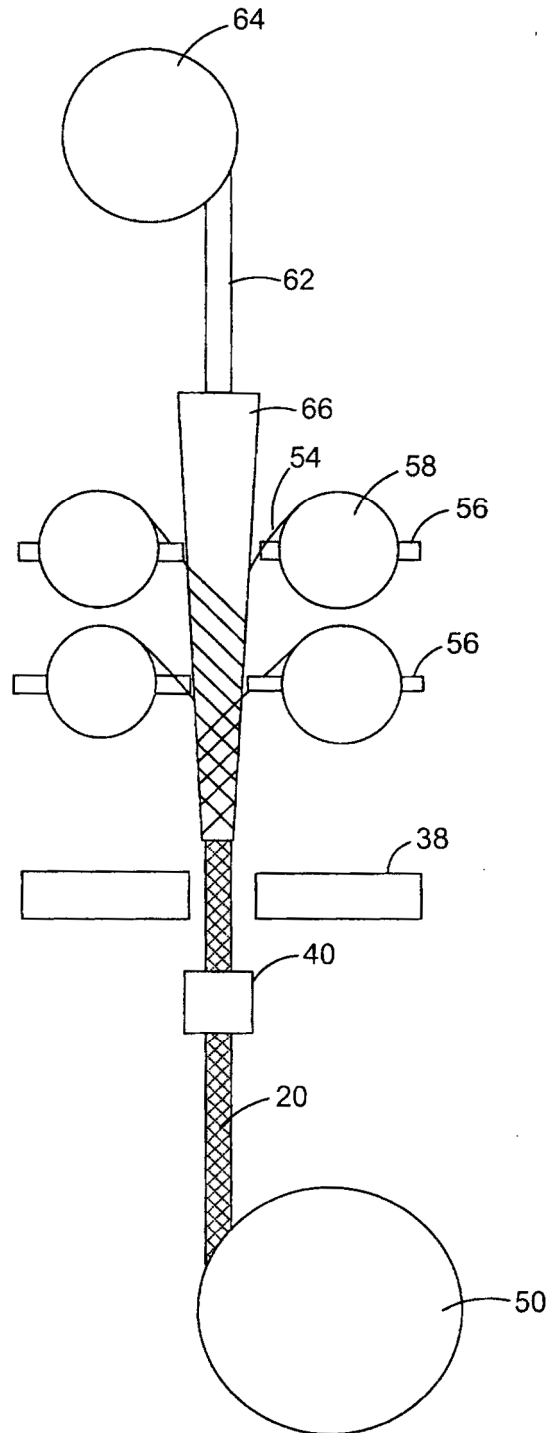


Figura 8

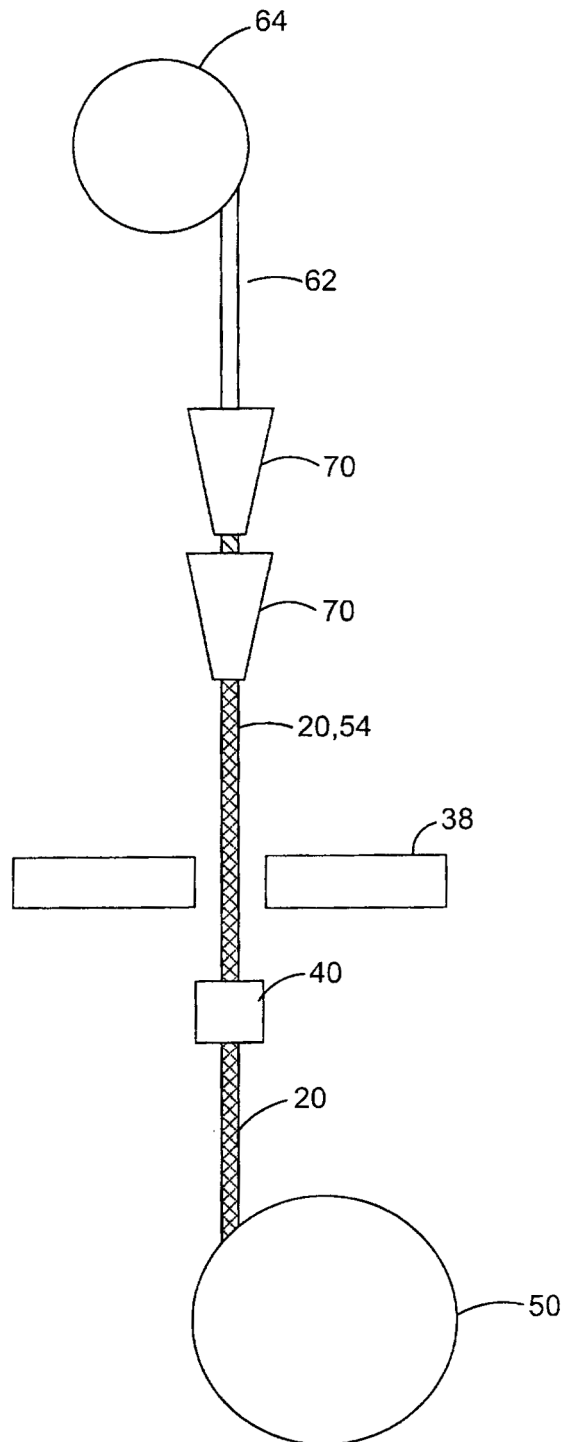


Figura 9

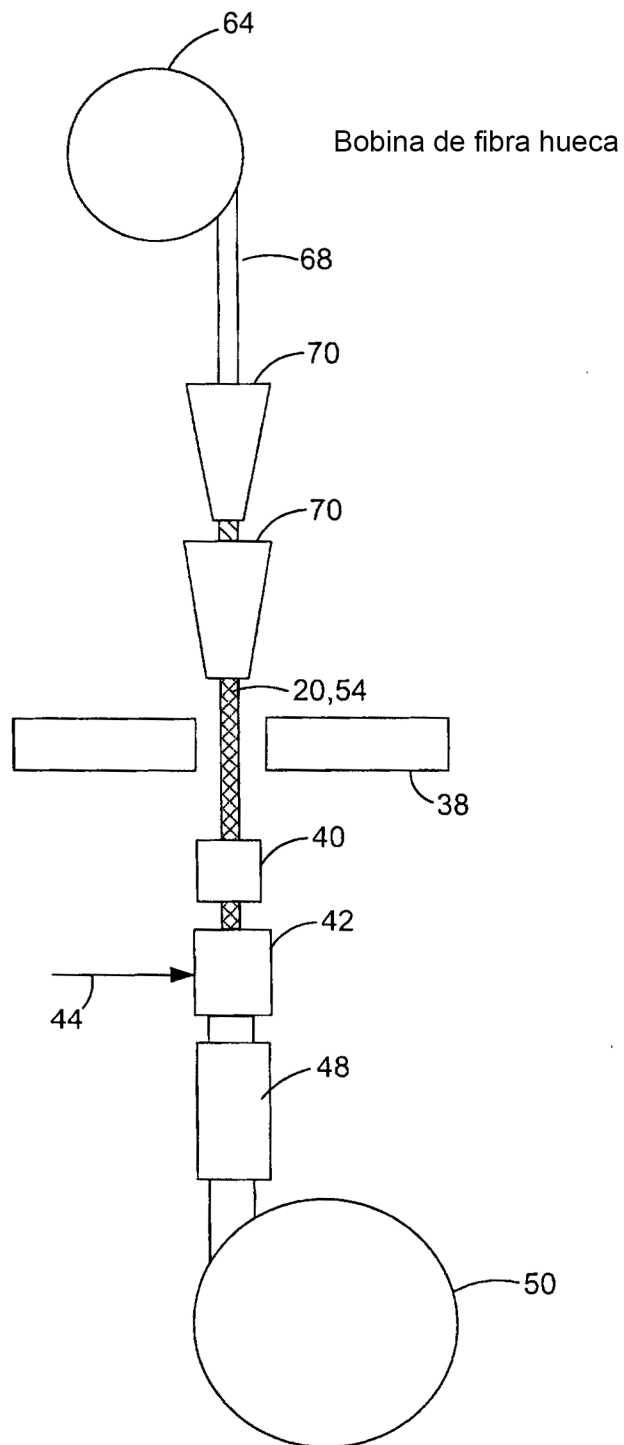


Figura 10

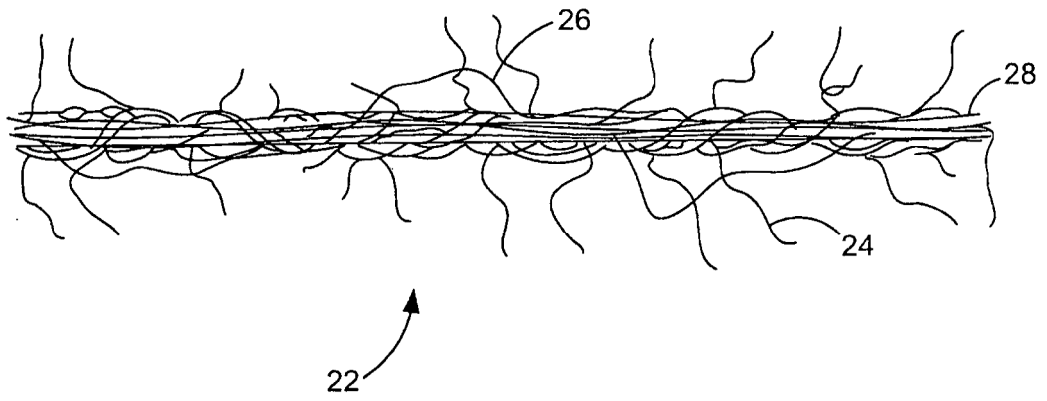


Figura 11