

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 772**

51 Int. Cl.:

F16L 11/15 (2006.01)

F16L 11/20 (2006.01)

B29D 23/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.05.2007 PCT/GB2007/001695**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.11.2007 WO07129096**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.05.2007 E 07732723 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.07.2017 EP 2021671**

54 Título: **Mejoras relacionadas con tubos flexibles**

30 Prioridad:

08.05.2006 GB 0609081
08.05.2006 GB 0609083

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.11.2017

73 Titular/es:

BHP BILLITON INNOVATION PTY LTD (100.0%)
BHP BILLITON CENTRE, 180 LONSDALE STREET
MELBOURNE, VICTORIA 3000, AU

72 Inventor/es:

WITZ, JOEL ARON;
COX, DAVID;
HALL, GERARD ANTHONY y
SMITH, RICHARD

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 640 772 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

Mejoras relacionadas con tubos flexibles.

5 La presente invención se refiere a tubos flexibles, y más en particular se refiere a tubos flexibles de gran longitud, y a un procedimiento y a un aparato para fabricar tubos flexibles de gran longitud. La invención se refiere especialmente a tubos flexibles que pueden utilizarse en condiciones criogénicas.

10 Las aplicaciones típicas de tubos flexibles implican el bombeo de fluidos desde un depósito de fluidos a presión. Los ejemplos incluyen el suministro de combustible para calefacciones o LPG a una caldera; el transporte de líquidos y/o gases producidos en yacimientos petrolíferos desde una plataforma de producción fija o flotante hasta el compartimiento de carga de un barco, o desde el compartimiento de carga de un barco hasta una unidad de almacenamiento situada en tierra; el suministro de combustible a coches de carreras, especialmente durante el repostaje en Fórmula 1, y el transporte de fluidos corrosivos, tales como ácido sulfúrico.

15 Es bien conocida la utilización de tubos flexibles para el transporte de fluidos, tales como gases licuados, a baja temperatura. Dichos tubos flexibles se utilizan habitualmente para transportar gases licuados tales como gas natural licuado (LNG) y gas propano licuado (LPG).

20 Muchas aplicaciones de tubos flexibles requieren que el tubo flexible se apoye a lo largo de su longitud. Esto se aplica especialmente al transporte de los líquidos y/o gases producidos mencionados anteriormente. Sin un apoyo adicional, los tubos flexibles convencionales son incapaces a menudo de soportar su propio peso, o el peso del fluido contenido en las mismas.

25 Existen tres tipos principales de tubos flexibles que se utilizan para aplicaciones que precisan un calibre grande para transferir fluidos a presión elevada (por ejemplo, por lo menos 2 barg). Estos son:

1. Caucho (envolturas de caucho vulcanizado para formar el cuerpo del tubo flexible).
2. Fuelle (tubo de acero convoluto).
- 30 3. Material compuesto (películas y tejidos entre dos alambres helicoidales).

La presente invención se refiere a tubos flexibles de fuelle. Los tubos flexibles de caucho difieren de los tubos flexibles de material compuesto y de fuelle en que no poseen un componente de acero en su superficie interior.

35 Los tubos flexibles de caucho se fabrican típicamente envolviendo numerosas capas de materiales de caucho y algunas capas de acero y de tejido alrededor de un mandril recubierto con un agente de desmoldeo. Algunos tubos flexibles de caucho utilizan un revestimiento interior de caucho extrudido sobre un mandril como la capa más interior y a continuación se realiza la envoltura después del mismo. Otros tubos flexibles de caucho incluyen una carcasa enclavada dentro del revestimiento, para aumentar la resistencia al colapso. La estructura completa se vulcaniza después para unir entre sí las envolturas de caucho. El ensamblaje completo del tubo flexible, incluidos las piezas de extremo ("end fittings") que se encuentran también sobre el mandril y están envueltos dentro de la estructura del cuerpo del tubo flexible, se retira del mandril tirando y girando. El tubo flexible y el mandril se soportan mediante una serie de rodillos durante este proceso de extracción. Los tubos flexibles de caucho se producen típicamente con longitudes de hasta 12 m y calibres de hasta por lo menos 1,2 m.

45 El procedimiento tradicional de fabricación de tubos flexibles de fuelle y de material compuesto es, en esencia, el mismo que el de tubos flexibles de caucho. Un tubo flexible de fuelle se forma en secciones apoyadas sobre un mandril de acero y si se requieren capas aislantes o protectoras estas se envolverán alrededor del tubo de fuelle. Un tubo flexible de material compuesto se forma tradicionalmente enrollándose un alambre de acero helicoidalmente sobre un mandril de acero seguido por una serie de capas de película y de tejido. Esta se forma después en el cuerpo del tubo flexible mediante la aplicación de un segundo alambre helicoidal.

50 Tanto los tubos flexibles de fuelle como de material compuesto están ampliamente disponibles con calibres de hasta 200 mm y con longitudes de hasta aproximadamente 30 m. Sin embargo, es difícil fabricar y extraer un tubo flexible de calibre grande, superior a 400 mm, de alguno de estos tipos con una longitud razonable, superior a 10 m, utilizando las técnicas de fabricación tradicionales. Este no es el caso de los tubos flexibles de caucho, dado que no presentan un componente de acero interno.

60 Tanto los tubos flexibles de fuelle como de material compuesto se fabrican actualmente sobre mandriles de acero, lo que para diámetros pequeños funciona bien y es el patrón industrial; pero al aumentar el diámetro, aumenta drásticamente el efecto de fricción. El área superficial de contacto entre el tubo flexible y el mandril aumenta linealmente con el diámetro, pero el peso del mandril aumenta aproximadamente con el cuadrado del diámetro. El producto de estos dos factores es la fricción entre el tubo flexible y el mandril, dado que durante la extracción el peso del mandril se lleva a través del tubo flexible.

65 Otros factores que afectan a la facilidad de la extracción incluyen:

- Excoriación entre el mandril de acero y el alambre de acero.
- El coeficiente de fricción entre los dos materiales.
- El peso del tubo flexible.
- La utilización de rodillos de soporte utilizados para controlar la deflexión del mandril.

5

Los intentos de fabricación de tubos flexibles utilizando las técnicas tradicionales han dado como resultado tubos flexibles que tienen el calibre requerido, pero que son demasiado cortos, o tienen el calibre y la longitud requeridos pero han sufrido daños durante la extracción. Se ha dado también el caso en el que el mandril ha resultado dañado durante la extracción y, por lo tanto, este proceso sería impracticable y poco económico en un marco industrial.

10

Se describen tubos flexibles de fuelle en muchos documentos de la técnica anterior, que incluyen, por ejemplo, los documentos US2004112454 y US2004146676. Como se ha expuesto anteriormente, los tubos flexibles de fuelle se caracterizan por una estructura interna metálica interior que es difícil de retirar del mandril durante el proceso de fabricación. Como consecuencia existe un límite práctico del tamaño del tubo flexible que puede producirse en la técnica anterior conservando al mismo tiempo su capacidad operativa en entornos hostiles, tales como en condiciones de temperatura baja y alta, y en aplicaciones marinas. También se describen tubos flexibles en los documentos US3538728, US5893681 y SU396271.

15

20

Los documentos GB2303574, DE2948416, JP08336845, JP08011138 y JP03075132 divulgan un procedimiento para fabricar un tubo flexible o una tubería, pero no divulgan la fabricación de tubos flexibles de fuelle.

25

El documento DE2705361 divulga un conducto de tubo flexible flotante, de doble pared, que tiene un espacio intermedio entre las dos paredes espirales o corrugadas metálicas que proporciona flotabilidad. El documento US2004/256016 divulga un tubo flexible que absorbe la vibración que tiene una parte principal corrugada y porciones terminales cilíndricas, teniendo el tubo flexible una construcción multicapa de una capa de caucho interna tubular, una capa de refuerzo resistente a la presión y una capa de cubierta de caucho exterior. El documento US3240643 divulga un tubo aislado flexible para transportar fluidos gaseosos.

30

Los tubos flexibles de fuelle se fabrican exclusivamente sobre un mandril metálico; el mandril puede consistir exclusivamente en acero inoxidable o puede estar recubierto con acero inoxidable. En el año 2005, un mandril de acero al carbono podía costar normalmente 25.000 libras esterlinas y en su vida útil podría utilizarse para fabricar aproximadamente 25-30 tubos flexibles individuales. Sin embargo, existe un problema con los mandriles de acero al carbono, dado que el elemento interno metálico del tubo flexible a menudo está fabricado de acero inoxidable. Cuando dicho tubo flexible se fabrica utilizando un mandril de acero al carbono, parte del acero al carbono puede transferirse a la superficie del elemento interno de acero inoxidable; esto crea un sitio para la corrosión del elemento interno, lo que puede producir una falla rápida en ambientes extremos. Por este motivo, el mandril utilizado en la fabricación de tubos flexibles de fuelle y tubos flexibles de materiales compuestos se ha fabricado habitualmente de acero inoxidable. Un tubo flexible de acero inoxidable cuesta de tres a cuatro veces más que un mandril de acero al carbono.

35

40

Se ha descubierto en el contexto de la presente invención una forma mejorada de fabricación de tubos flexibles que posibilita la fabricación de tubos flexibles útiles con longitudes y diámetros que no se han logrado previamente. Por lo tanto, la invención comprende un procedimiento de fabricación de tubos flexibles, un aparato para fabricar tubos flexibles y los tubos flexibles de por sí.

45

Según un aspecto de la invención, se proporciona un tubo flexible según la reivindicación 1.

50

Se apreciará que la parte de tubo flexible se extiende en continuo entre las piezas de extremo. Por lo tanto, el tubo flexible según la invención es distinto del tubo flexible de la técnica anterior que comprende tramos más cortos de tubo flexible que se unen entre sí en secuencia uniendo las piezas de extremo entre sí.

55

En una forma de realización preferida, la longitud de la parte de tubo flexible es de por lo menos 31 m, de forma más preferida de por lo menos 32 m. La parte de tubo flexible es, de forma deseable, de por lo menos 35 m de longitud. La longitud de la parte de tubo flexible puede ser mucho mayor de 30 m, en función de los requerimientos. Así, la parte de tubo flexible puede presentar una longitud de hasta 50 m o incluso de hasta 60 m. La longitud de la parte de tubo flexible se encontrará normalmente dentro de los intervalos indicados anteriormente, sujeta a un mínimo de por lo menos 30 m.

60

El diámetro interno de la parte de tubo flexible es de por lo menos 400 mm. De acuerdo con las formas de realización preferidas de la invención, el diámetro interno de la parte de tubo flexible puede ser de por lo menos 450 mm, de por lo menos 500 mm o de por lo menos 550 mm. Es improbable que se desee que el diámetro de la parte de tubo flexible supere los 750 mm, y de acuerdo con la invención, el diámetro de tubo flexible no superaría los 600 mm.

65

El diámetro interno de la parte de tubo flexible según la invención corresponde al diámetro externo del mandril no

metálico sobre el que se forma. La longitud de la parte de tubo flexible corresponde a la distancia entre las piezas de extremo inmediatamente después de la fabricación del tubo flexible. Debe indicarse que debido a la naturaleza de los materiales y del proceso de fabricación, las dimensiones del tubo flexible estarían sujetas habitualmente a una tolerancia de aproximadamente +/- 3%.

5

Es importante entender que la presente invención proporciona un tubo flexible de fuelle funcional que tiene una longitud y/o un diámetro que son mayores a los que han sido posible según la técnica anterior. Existen ejemplos en la técnica anterior de tubos flexibles que presentan un diámetro y/o una longitud dentro de los intervalos descritos anteriormente, pero dichos tubos flexibles no son tubos flexibles funcionales, es decir, no serían capaces de funcionar bajo su presión de funcionamiento normal sin fugas.

10

El tubo flexible según la invención presenta una temperatura de funcionamiento alta o baja, incluida una temperatura de funcionamiento criogénica.

15

Cuando el tubo flexible tiene como objetivo su utilización a bajas temperaturas, la temperatura de funcionamiento del tubo flexible puede ser de 0°C hasta -200°C o -220°C. Típicamente, la temperatura de funcionamiento es de -20°C o inferior, -40°C o inferior, -60°C o inferior, o -80°C o inferior. Para aplicaciones criogénicas, la temperatura de funcionamiento será típicamente de -100°C a -170°C, -200°C o -220°C. Un intervalo de temperatura de funcionamiento de -100°C a -220°C es adecuado para la mayor parte de las aplicaciones criogénicas, incluido el transporte de LNG, oxígeno líquido (p.e.: -183°C) o nitrógeno líquido (p.e.: -196°C).

20

En general, la presión de funcionamiento del tubo flexible se encontrará en el intervalo de aproximadamente 500 kPa manométricos, o 1000 kPa manométricos, hasta aproximadamente 2.000 kPa manométricos, o posiblemente hasta aproximadamente 2.500 kPa manométricos. Estas presiones se refieren a la presión de funcionamiento del tubo flexible, no a la presión de rotura (que debe ser varias veces superior).

25

El caudal volumétrico de operación depende del medio fluido, la presión y el diámetro interior. Son típicos caudales de operación de 1.000 m³/h hasta 12.000 m³/h.

30

Una temperatura y una presión de funcionamiento preferidas serían de -100°C a -200°C a una presión de 500 kPa manométricos, preferentemente 1.000 kPa manométricos, hasta 2.000 kPa manométricos o 2.500 kPa manométricos.

35

El tubo flexible según la invención también puede estar prevista para su utilización con materiales corrosivos, tales como ácidos fuertes.

40

Las secciones corrugadas o convolutas pueden ser sinusoidales, con forma de U o con la forma de la letra griega omega, Ω. Las convoluciones o corrugaciones pueden estar dispuestas circunferencialmente a lo largo de la longitud de cada sección, o pueden estar dispuestas formando una espiral a lo largo de la longitud de cada sección. En general, solo las convoluciones sinusoidales se disponen formando una espiral.

Puede proporcionarse un número suficiente de secciones corrugadas o convolutas (por ejemplo, 3, 4, 5, etc.) para producir un tubo flexible de la longitud deseada.

45

En una forma de realización, el tubo flexible incluye una segunda capa que comprende una pluralidad de secciones corrugadas o convolutas dispuestas alrededor de la primera capa de secciones corrugadas o convolutas.

50

El tubo flexible incluye preferentemente por lo menos una capa de refuerzo, y por lo menos una capa protectora, que es típicamente la capa exterior. Pueden estar previstas unas capas protectoras y/o de refuerzo adicionales. Típicamente, la capa protectora comprende una capa blindada que se proporciona como la capa exterior del tubo flexible.

55

La primera y/o la segunda capa corrugada o convoluta pueden estar realizadas en metal, preferentemente de acero inoxidable.

60

El tubo flexible descrita anteriormente puede fabricarse mediante un procedimiento y un aparato, tal como se describe adicionalmente a continuación, que posibilitan fabricar un tubo flexible de longitud y diámetro superiores a lo que había sido posible anteriormente.

Según otro aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento de fabricación del tubo flexible descrito anteriormente, siendo el procedimiento tal como se reivindica en la reivindicación 2.

65

Las piezas de extremo se aplican preferentemente antes de retirar el tubo flexible del mandril, aunque pueden aplicarse en algunas circunstancias después de retirar el tubo flexible del mandril.

Se apreciará que pueden deslizarse una tercera, una cuarta, una quinta, etc., secciones corrugadas o convolutas sobre el mandril para crear una parte de tubo flexible de la longitud deseada.

5 La segunda capa corrugada o convoluta puede formarse, de la misma forma que la primera capa, después de que se haya formado la parte subyacente de la primera capa corrugada o convoluta.

10 Preferentemente, el mandril está formado de un material basado en papel, un material basado en madera o un material basado en polímero plástico, tal como un polietileno de alta densidad, o mezclas de los mismos. En una forma de realización particularmente ventajosa, el mandril es de cartón, es decir, un cartón realizado en pulpa de papel.

15 En la fabricación de tubos flexibles de fuelle es particularmente importante asegurar que el mandril presente una rigidez a la flexión suficiente como para mantenerlo lo suficientemente recto para que las secciones adyacentes puedan llevarse a un alineamiento sustancial alrededor de sustancialmente la totalidad de la circunferencia de los extremos del mismo. Los extremos se aseguran habitualmente entre sí mediante soldadura, y si no existe un alineamiento sustancial alrededor de sustancialmente la totalidad de la circunferencia, los extremos no se asegurarán de forma apropiada entre sí, y existirá un riesgo aumentado de falla durante la utilización del tubo flexible. Para lograr esto, en una forma de realización ventajosa, el mandril está formado de un material que tiene una relación del módulo de Young (E) con respecto a la densidad (ρ) en el intervalo de 0,1 a 10 GPa.m³/Mg (es decir, gigapascal x metro³/megagramo). Preferentemente la relación E/ ρ es superior a 0,3 GPa.m³/Mg, más preferentemente superior a 0,5 GPa.m³/Mg y todavía más preferentemente superior a 0,8 GPa.m³/Mg. Preferentemente, la relación E/ ρ es inferior a 10 GPa.m³/Mg, más preferentemente inferior a 5 GPa.m³/Mg y todavía más preferentemente a 3 GPa.m³/Mg. Así, se apreciará que el intervalo más preferido de E/ ρ es de 0,8 a 3 GPa.m³/Mg.

25 Los valores de E/ ρ para cartón y polietileno de alta densidad, que son dos materiales particularmente preferidos para el mandril, son de aproximadamente 1,2 y 1,0 GPa.m³/Mg, respectivamente. El valor de E/ ρ para el material del mandril de la técnica anterior, acero inoxidable, es de aproximadamente 20 GPa.m³/Mg.

30 En algunas circunstancias, puede ser deseable utilizar materiales compuestos, es decir, fibras dispuestas dentro de una matriz, como mandril. Los materiales compuestos presentan una relación E/ ρ próxima a la del acero inoxidable, pero su densidad es mucho menor. Así, en una forma de realización alternativa, el material del mandril presenta una E/ ρ en el intervalo de 20 a 22 GPa.m³/Mg y una densidad en el intervalo de 1,0 a 3,0 Mg/m³. Típicamente, el material compuesto comprende carbono, vidrio o fibras poliméricas dispuestas dentro de una matriz polimérica adecuada.

35 Por supuesto, se apreciará que, aunque el mandril está realizado en un material no metálico, es perfectamente posible que el mandril incluya materiales de carga metálicos o cerámicos. Así, la invención comprende la utilización de un mandril de cartón con materiales de carga metálicos o cerámicos. La estructura del mandril, no obstante, continúa siendo no metálica.

40 El mandril puede proporcionarse con una longitud continua, o puede proporcionarse en una pluralidad de secciones de mandril de longitud más corta, que se ensamblan *in situ* para formar el mandril completo. El propósito de esto es facilitar el transporte del mandril.

45 Típicamente, el mandril presenta una forma sustancialmente cilíndrica.

50 La longitud del mandril será, típicamente, aproximadamente de 1000 a 2000 mm superior a la longitud de la parte de tubo flexible que se desea fabricar en el mandril. El diámetro externo del mandril será típicamente sustancialmente idéntico al diámetro interno de la parte de tubo flexible que se desea fabricar en el mandril.

55 Ventajosamente, el mandril es hueco, de forma que puede disponerse longitudinalmente dentro del mandril un árbol de transmisión. Además, se dispone preferentemente un tapón en por lo menos un extremo del mandril, siendo la disposición tal que el tapón esté asegurado fijamente al mandril, de forma que la rotación del tapón cause la rotación del mandril. Preferentemente se dispone uno de dichos tapones en cada extremo del mandril. Cuando el mandril es hueco, el espesor del mandril (es decir, la diferencia entre su diámetro interno y su diámetro externo) sería típicamente de aproximadamente 10 mm a 25 mm.

60 Como se ha expuesto anteriormente, el mandril no metálico debería realizarse en un material que fuera lo suficientemente fuerte para que el mandril pueda soportar de forma apropiada el tubo flexible durante la construcción de la misma. Además, excepto para cualquier recubrimiento que pueda proporcionarse sobre la superficie interna o externa del mandril, la totalidad del mandril está realizado, preferentemente, en el mismo material no metálico.

65 El árbol de transmisión se asegura preferentemente al, o a cada, tapón y presenta, de manera deseable, un extremo de proyección que puede conectarse al motor de accionamiento, de forma que la rotación del árbol de

transmisión cause la rotación del tapón y, por lo tanto, la rotación del mandril. Es una característica preferida de la invención que el mandril se haga girar mientras parte o la totalidad de las estructuras internas y/o externas están dispuestas en su sitio sobre el mandril. Preferentemente, el motor de accionamiento se proporciona con una caja de cambios.

5

Alternativamente, el árbol de transmisión puede no estar presente, y la rotación del mandril puede realizarse haciendo girar un tapón o ambos tapones (si están presentes) utilizando el motor de propulsión.

10

En una forma de realización preferida, el mandril es un mandril sacrificial, a fin de ayudar a retirar el tubo flexible del mandril. En esta forma de realización, el tubo flexible se retira del mandril sacrificando el mandril, y retirándolo de dentro el tubo flexible; cualesquiera tapones y el árbol de transmisión pueden retirarse antes de sacrificar el mandril. El mandril puede sacrificarse, por ejemplo, proporcionándole un área debilitada previamente sobre la que puede aplicarse un esfuerzo a fin de provocar el sacrificio del mandril; o proporcionándole una perforación, a lo largo de la cual el mandril puede desgarrarse; o proporcionándole una estructura de cremallera, por lo que soltando la cremallera a lo largo de la longitud del mandril se provoca el sacrificio del mandril. Los medios precisos utilizados para fabricar el mandril, un mandril sacrificial, son convencionales y podrían utilizarse en vez de los mismos otras técnicas convencionales no descritas en la presente memoria. Deberá apreciarse que el sacrificio del mandril provoca su destrucción, lo que significa que no puede volver a utilizarse. Esto es aún muy económico, dado que el mandril según la invención puede realizarse en un material reciclable económico.

15

20

Otra técnica para retirar el mandril, cuando el mandril está realizado en un material que puede debilitarse mediante contacto con un fluido seleccionado apropiadamente, es humedecer el mandril a fin de debilitarlo con el fluido, retirando después el mandril debilitado. Una forma de humedecer el mandril es sumergir la totalidad del tubo flexible y la estructura del mandril en un tanque del fluido. Se prefiere que el fluido sea agua, pero también pueden utilizarse en lugar de la misma otros fluidos, tales como ácido acético débil o una solución alcohólica.

25

En otra forma de realización preferida, el mandril se retira desenroscándolo del tubo flexible. Puede lograrse, de forma deseable, aplicando un par de torsión al árbol de transmisión, manteniendo mientras el tubo flexible en contrarrotación. Esta técnica es particularmente adecuada cuando la estructura interna del tubo flexible incluye un elemento helicoidal, dado que el elemento helicoidal puede crear una ligera indentación en el mandril, que ayuda a desenroscar el mandril del tubo flexible.

30

Debe indicarse que la rotación del mandril es solo probable que sea beneficiosa en casos en los que las convoluciones del fuelle estén dispuestas formando una espiral. Para convoluciones circunferenciales, es improbable que se obtenga algún tipo de beneficio proporcionando rotación al mandril durante la construcción del tubo flexible o durante la retirada del tubo flexible del mandril.

35

En una forma de realización, el mandril puede recubrirse previamente, antes del montaje del tubo flexible, a fin de ayudar a la retirada del tubo flexible terminada del mandril. El recubrimiento previo puede servir para reducir la fricción entre el mandril y el tubo flexible completado.

40

Durante la construcción del tubo flexible pueden disponerse secciones cortas del fuelle sobre el mandril, que después se sueldan entre sí. La soldadura de los fuelles (que puede ser, por ejemplo, de 1-2 mm de espesor) puede causar la quemadura del mandril, por lo que, para prevenir esto, es deseable proporcionar al mandril de un protector térmico y/o un revestimiento ignífugo en la superficie exterior del mismo.

45

Según otro aspecto de la invención, se proporciona un aparato para fabricar el tubo flexible del tipo descrito anteriormente, siendo el aparato tal como se reivindica en la reivindicación 15.

50

El mandril presenta preferentemente la misma construcción que el mandril descrito anteriormente con respecto al procedimiento según la invención.

Preferentemente, el árbol de transmisión se proyecta hacia el exterior desde los tapones y el mandril en cada extremo del mandril.

55

En una forma de realización preferida, el aparato comprende adicionalmente un motor de accionamiento dispuesto para hacer girar el árbol de transmisión.

En la técnica anterior, la fabricación de tubos flexibles de fuelle se lleva a cabo exclusivamente utilizando mandriles de acero al carbono o, más habitualmente, de acero inoxidable, y no se ha contemplado que otros materiales pudieran ser adecuados. Se ha descubierto en el contexto de la presente invención inesperadamente que otros materiales son adecuados, y que tienen muchas ventajas sobre la técnica anterior. Así, en el año 2005, puede obtenerse un mandril de cartón adecuado a un coste de aproximadamente 150 libras esterlinas, en comparación con por lo menos 25.000 libras esterlinas para un mandril de acero al carbono y por lo menos 75.000 libras esterlinas para un mandril de acero inoxidable. Aunque el mandril según la invención no se utilizara

60

65

normalmente más de una vez, existe aún un ahorro considerable.

Además, los mandriles no metálicos según la invención pueden retirarse del tubo flexible terminado de una forma mucho más sencilla que los mandriles de acero de la técnica anterior.

5 Los mandriles no metálicos según la invención son mucho más ligeros que los mandriles de acero utilizados en la técnica anterior. Esto significa que son más fáciles de manipular y de transportar. Esto también significa que los mandriles no metálicos no requieren el mismo nivel de soporte que el requerido para mandriles de acero. Esto facilita el proceso de fabricación del tubo flexible.

10 Una ventaja particularmente importante del mandril según la invención es que es práctico fabricarlo más largo y/o con un diámetro más grande que los mandriles de acero de la técnica anterior. Así, como se ha descrito anteriormente, no ha sido posible previamente fabricar un tubo flexible de fuelle o de material compuesto funcional con longitudes superiores a aproximadamente 25 m a 30 m o con diámetros superiores a aproximadamente 200 mm a 300 mm. Un tubo flexible funcional es una que puede utilizarse en sus condiciones de funcionamiento normales sin fugas.

15 Así, no ha sido posible previamente fabricar tubos flexibles de fuelle funcionales que presenten algún diámetro significativo con longitudes superiores a 25 m a 30 m.

20 Se hace referencia a continuación a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una vista en sección transversal esquemática de un tubo flexible de fuelle según la invención;

25 La figura 2 es una vista de un extremo en sección transversal de una de las capas corrugadas utilizadas en el tubo flexible de fuelle mostrado en la figura 1;

Las figuras 3A, 3B, 3C y 3D representan cuatro aplicaciones del tubo flexible según la presente invención;

30 La figura 4 es una vista en perspectiva de un aparato para su utilización en la fabricación de un tubo flexible, según la invención y

La figura 5 es una vista en sección transversal del aparato representado en la figura 4.

35 En la figura 1 el tubo flexible de fuelle según la invención se designa en general con el número de referencia 210.

40 El tubo flexible 210 comprende una capa corrugada tubular interna 212 y una capa corrugada tubular externa 214, estando constituida cada una de las mismas por una pluralidad de secciones corrugadas 212a y 214a dispuestas extremo a extremo y sujetas de manera conjunta. Cada una de las capas 212 y 214 se proporciona con corrugaciones sinusoidales (o en forma de U o en forma de Ω). Se proporciona una capa de aislamiento 216 entre los fuelles 212 y 214. Además, se dispone un vacío en el espacio entre los fuelles 212 y 214, para mejorar adicionalmente el aislamiento. Se proporciona una capa blindada 218 alrededor del fuelle exterior 214, para mejorar el aislamiento adicionalmente. Se proporciona un puerto de bombeo 220 para evacuar aire de entre las capas 212 y 214 a fin de crear un vacío. El tubo flexible 210 también incluye unas piezas de extremo 222 en cada uno de los extremos del tubo flexible de fuelle (en la figura 1 únicamente se representa una pieza de extremo 222).

45 Las figuras 3A a 3D representan tres aplicaciones del tubo flexible 10. En cada una de las figuras 3A a 3C está unido un recipiente flotante de producción, almacenamiento y descarga (FPSO) 102 a un buque de LNG 104 por medio de un tubo flexible 10 según la invención. El tubo flexible 10 transporta LNG desde un tanque de almacenamiento del FPSO 102 a un tanque de almacenamiento del buque de LNG 104. En la figura 3A, el tubo flexible 10 se encuentra por encima del nivel del mar 106. En la figura 3B, el tubo flexible 10 está sumergido por debajo del nivel del mar 106. En la figura 3C, el tubo flexible 10 flota cerca de la superficie del mar. En cada caso el tubo flexible 10 transporta el LNG sin ningún soporte intermedio. En la figura 3D el buque de LNG está unido a una instalación de almacenamiento con base en tierra 108 por medio del tubo flexible 10.

50 El tubo flexible 10 puede utilizarse para muchas otras aplicaciones aparte de las aplicaciones mostradas en las figuras 3A a 3D. El tubo flexible puede utilizarse en condiciones criogénicas y no criogénicas.

60 Las figuras 4 y 5 representan un aparato 300 según la invención. El aparato 300 puede utilizarse en el procedimiento según la invención para fabricar el tubo flexible según la invención.

65 El aparato 300 comprende un mandril 302 que presenta una longitud y un diámetro que corresponden a la longitud y al diámetro deseados del tubo flexible 10 y 200. El diámetro externo del mandril 302 corresponde al diámetro interno del tubo flexible 10 o 200. La longitud del mandril 302 es típicamente 1-2 m superior a la longitud del tubo flexible 10 o 200. El mandril 300 presenta una forma de sección transversal sustancialmente circular

aunque pueden ser deseables otras formas en algunas circunstancias.

Un tapón 304 que transmite un par de fuerzas está asegurado a cada uno de los extremos del mandril 300, y un árbol de transmisión 306 se extiende a lo largo de la longitud del mandril entre los tapones 304, y se extiende hacia el exterior siendo los extremos del mandril 302. Un motor de accionamiento 308, que puede ser un motor eléctrico, se proporciona para transmitir rotación al árbol de transmisión 306. Se apreciará que el árbol de transmisión 306 puede transmitir el par de fuerzas a los tapones 304, que a su vez pueden transmitir el par de fuerzas al mandril 302 para hacer girar el mandril 302. Típicamente, el mandril girará a una velocidad de 10-60 rpm.

La aplicación del tubo flexible 210 al mandril 300 provoca fuerzas de flexión grandes que se dirigen contra el mandril, provocadas por el peso del tubo flexible 210 a lo largo de la longitud del mandril 300. Así, es importante que el mandril 300 presente una rigidez a la flexión suficiente para que pueda formarse la parte de tubo flexible sobre el mandril sin provocar ninguna flexión sustancial del mandril a lo largo del eje longitudinal del mismo. Esto es importante, puesto que si el mandril se dobla, las secciones corrugadas o convolutas de la parte de tubo flexible no pueden llevarse a un alineamiento apropiado, y no pueden asegurarse apropiadamente; esto provocará que sea más probable que el tubo flexible sufra una falla durante su utilización. Una forma de seleccionar un mandril de rigidez de flexión apropiada es seleccionar un material que tenga una relación apropiada de módulo de Young (E) con respecto a la densidad (ρ), tal como se ha descrito anteriormente, pero otras técnicas pueden ser evidentes para el experto en la materia.

La fabricación de tubos flexibles utilizando el aparato 300 se describirá a continuación haciendo referencia al tubo flexible de fuelle 210. Inicialmente, el aparato 300 se dispone en su sitio, y el motor de accionamiento 308 se opera para hacer girar el mandril 302 a una velocidad requerida.

Como primera etapa, una de las secciones corrugadas 212a se dispone sobre el mandril 302. Como se ha mencionado anteriormente, el diámetro exterior del mandril 302 corresponde al diámetro interno deseado del tubo flexible 210. Una segunda sección corrugada 212a se dispone sobre el mandril y se engarza con la primera sección 212a. Los extremos de cada sección 212a presentan una sección transversal sustancialmente circular, como se representa en la figura 2. El mandril 302 presenta una rigidez a la flexión suficiente como para poder soportar las secciones 212a de tal manera que sustancialmente la totalidad de la periferia circunferencial 212b (ver la figura 2) en los extremos contiguos de las secciones 212a engranan entre sí de forma que los extremos puedan asegurarse uno a otro, por ejemplo mediante soldadura. Pueden disponerse unas secciones adicionales 212a sobre el mandril 302 y soldarse al resto de la capa corrugada 212 hasta que se haya alcanzado la longitud deseada.

La capa de aislamiento 216 se envuelve a continuación alrededor de la capa corrugada interior 212, y las secciones corrugadas exteriores 214a se disponen sobre la capa aislante 216, y pueden asegurarse unas a otras de la misma forma que se hizo para la capa interior 212.

A continuación, la capa blindada se dispone sobre los fuelles exteriores 212. El aire entre los fuelles 212 y 214 se evacúa después utilizando la vía del puerto de bombeo 220. Las piezas de extremo 222 se aplican después a los extremos del tubo flexible 210.

Cuando las piezas de extremo 222 están en su sitio, el tubo flexible 210 puede retirarse del mandril 302 mediante cualquier medio deseado. En una forma de realización, el mandril 302 puede, sencillamente, destruirse, por ejemplo mediante desgarrado. En otra forma de realización, el motor de accionamiento 308 se hace funcionar para hacer girar el mandril 302, para provocar que el mandril 302 se desenrosque del tubo flexible 210.

Después de retirar el tubo flexible 210 del mandril 302, el mandril 302 puede descartarse. Los tapones 304, el árbol de transmisión 306 y el motor de accionamiento 308 pueden conservarse para su utilización con otro mandril 302.

Se apreciará que la invención descrita anteriormente puede modificarse sin apartarse del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Tubo flexible (210) que comprende una parte de tubo flexible tubular formada por mandril que se extiende de manera continua entre dos piezas de extremo (222), en el que la parte de tubo flexible tubular comprende:
- 5 una capa corrugada o convoluta tubular interior (212) que comprende una pluralidad de secciones de acero corrugadas o convolutas (212a) sujetas extremo a extremo de una manera paralela axial tal como por soldadura;
- 10 una capa de acero corrugada o convoluta tubular exterior (214) dispuesta alrededor de la capa corrugada o convoluta tubular interior;
- 15 una capa aislante (216) entre las capas corrugadas o convolutas tubulares interior y exterior, en la que está previsto un vacío en el espacio entre las capas corrugadas o convolutas tubulares interior y exterior y,
- 20 por lo menos una capa protectora y/o de refuerzo (218) dispuesta alrededor de las capas corrugadas o convolutas, en la que el diámetro interno de la parte de tubo flexible es de 400 mm a 600 mm y la longitud de la parte de tubo flexible es de 30 m a 50 m de manera que el tubo flexible pueda funcionar sin fuga a temperaturas de -100°C a -220°C y a presiones de 500 kPa a 2.500 kPa.
2. Procedimiento de fabricación de un tubo flexible de acero convoluto de fuelle (210) según la reivindicación 1, comprendiendo dicho procedimiento:
- 25 deslizar una primera sección de fuelle de acero tubular corrugada o convoluta (212a) a lo largo de un mandril no metálico (302) que presenta un diámetro exterior de por lo menos 400 mm y una longitud de por lo menos 30 m,
- 30 deslizar una segunda sección de fuelle de acero tubular corrugada o convoluta (212a) a lo largo del mandril de manera que un extremo de la segunda sección tubular corrugada o convoluta engrane con un extremo de la primera sección tubular corrugada o convoluta,
- 35 sujetar los extremos de las secciones tubulares corrugadas o convolutas para formar la capa tubular corrugada o convoluta interior (212),
- 40 disponer la capa de acero tubular corrugada o convoluta exterior (214) alrededor de la capa tubular corrugada o convoluta interior (212);
- 45 proporcionar la capa aislante (216) entre las capas tubulares corrugadas o convolutas interior y exterior (212, 214) y proporcionar un vacío en el espacio entre las capas tubulares corrugadas o convolutas interior y exterior;
- aplicar por lo menos una capa protectora y/o de refuerzo (218) sobre las secciones tubulares corrugadas o convolutas,
- aplicar una pieza de extremo (222) respectiva a cada extremo de la parte de tubo flexible, y
- retirar el tubo flexible del mandril.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que el mandril (302) presenta una rigidez a la flexión suficiente para mantenerlo suficientemente recto de manera que por lo menos un extremo de una sección corrugada o convoluta (212a) de la parte de tubo flexible pueda ponerse en alineación sustancial alrededor de sustancialmente la circunferencia completa de un extremo adyacente de una sección corrugada o convoluta antes de sujetar las secciones corrugadas o convolutas de manera conjunta.
4. Procedimiento según la reivindicación 2 o 3, en el que el mandril está formado por un material a base de papel, un material a base de madera o un material a base de polímero plástico, o mezclas de los mismos.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que el mandril es de cartón.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que el mandril está formado por un material que presenta una relación del módulo de Young (E) con respecto a la densidad (ρ) en el intervalo de 0,3 a 10 GPa.m³/Mg (es decir, gigapascal x metro³/megagramo).
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que el mandril está formado por un material que presenta una relación del módulo de Young (E) con respecto a la densidad (ρ) en el intervalo de 0,8 a 3 GPa.m³/Mg (es decir, gigapascal x metro³/megagramo).

- 5 8. Procedimiento según la reivindicación 2 o 3, en el que el mandril está realizado en un material compuesto que presenta una relación del módulo de Young (E) con respecto a la densidad (ρ) en el intervalo de 20 a 22 GPa.m³/Mg y una densidad en el intervalo de 1,0 a 3,0 Mg/m³.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8, en el que el mandril es de forma sustancialmente cilíndrica.
- 10 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 9, en el que el mandril es hueco, de manera que puede estar dispuesto longitudinalmente dentro del mandril un árbol de transmisión (306).
- 15 11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que se dispone un tapón (304) en por lo menos un extremo del mandril (302), siendo la disposición tal que el tapón esté sujeto fijamente al mandril, produciendo así la rotación del tapón la rotación del mandril.
- 20 12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que el árbol de transmisión (306) está sujeto al, o a cada, tapón (304) y presenta un extremo en resalte que puede conectarse a un motor de accionamiento (308), produciendo así la rotación del árbol de transmisión la rotación del tapón y por lo tanto la rotación del mandril.
- 25 13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 12, en el que el mandril es un mandril sacrificial, con el fin de auxiliar en la retirada del tubo flexible del mandril.
- 30 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 13, en el que el mandril se reviste previamente, antes de montar el tubo flexible, con el fin de auxiliar en la retirada del tubo flexible completada del mandril.
- 35 15. Aparato (300) para la fabricación de un tubo flexible de acero convoluto de fuelle (210) del tipo reivindicado en la reivindicación 1, en el que dicho aparato comprende un mandril no metálico sustancialmente cilíndrico hueco (302) que presenta un diámetro exterior de por lo menos 400 mm y una longitud de por lo menos 30 m, alrededor del cual se puede disponer el tubo flexible, un tapón (304) dispuesto en cada extremo del mandril, estando fijados los tapones al mandril, transmitiéndose así un par de torsión aplicado a los tapones al mandril para hacer girar el mandril alrededor del eje longitudinal del mandril, y un árbol de transmisión (306) que se extiende longitudinalmente a lo largo del interior del mandril, estando conectado el árbol de transmisión a los tapones, transmitiéndose así un par de torsión aplicado al árbol de transmisión a los tapones para hacer girar los tapones, sobresaliendo el árbol de transmisión exteriormente desde los tapones y el mandril por lo menos en un extremo del mandril.
- 40 16. Aparato según la reivindicación 15, en el que el mandril presenta una rigidez a la flexión suficiente para mantenerlo suficientemente recto de manera que por lo menos un extremo de una sección corrugada o convoluta (212a) de la parte de tubo flexible pueda ponerse en alineación sustancial alrededor de sustancialmente la circunferencia completa de un extremo adyacente de una sección corrugada o convoluta antes de sujetar las secciones corrugadas o convolutas de manera conjunta.
- 45 17. Aparato según la reivindicación 15 o 16, en el que el mandril está formado por un material a base de papel, un material a base de madera o un material a base de polímero plástico, o mezclas de los mismos.
- 50 18. Aparato según la reivindicación 17, en el que el mandril es de cartón.
- 55 19. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 18, en el que el mandril está formado por un material que presenta una relación del módulo de Young (E) con respecto a la densidad (ρ) en el intervalo de 0,3 a 10 GPa.m³/Mg (es decir, gigapascal x metro³/megagramo).
- 60 20. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 18, en el que el mandril está formado por un material que presenta una relación del módulo de Young (E) con respecto a la densidad (ρ) en el intervalo de 0,8 a 3 GPa.m³/Mg (es decir, gigapascal x metro³/megagramo).
- 65 21. Aparato según la reivindicación 15 o 16, en el que el mandril está realizado en un material compuesto que presenta una relación del módulo de Young (E) con respecto a la densidad (ρ) en el intervalo de 20 a 22 GPa.m³/Mg y una densidad en el intervalo de 1,0 a 3,0 Mg/m³.
22. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 21, en el que el árbol de transmisión (306) sobresale exteriormente desde los tapones (304) y el mandril (302) en cada extremo del mandril.
23. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 22, que comprende además un motor de accionamiento (308) dispuesto para hacer girar el árbol de transmisión (306).

Fig.1.

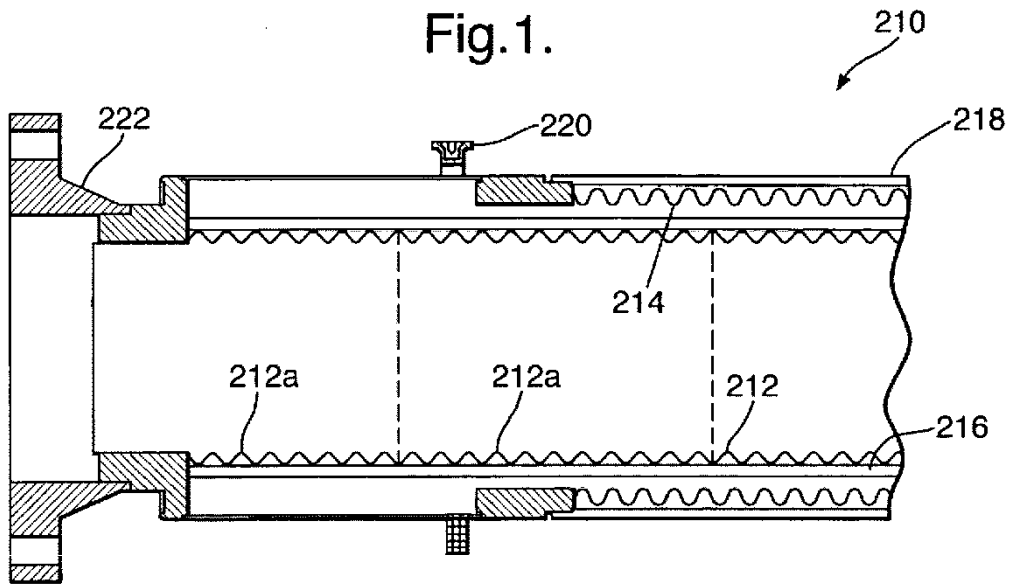


Fig.2.

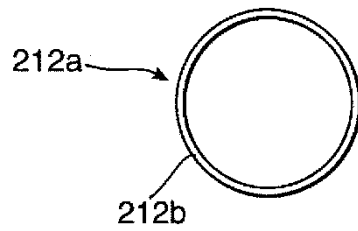


Fig.3A.

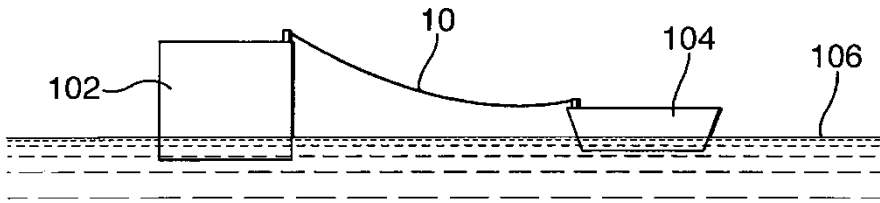


Fig.3B.

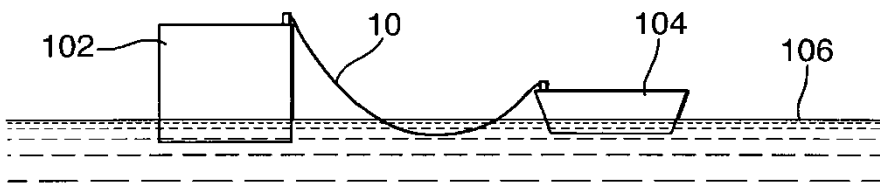


Fig.3C.

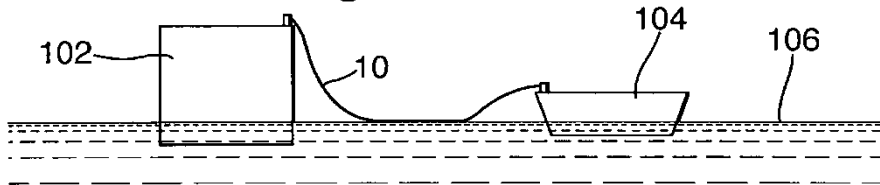
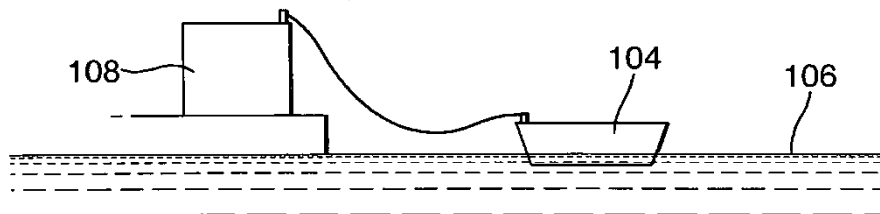


Fig.3D.



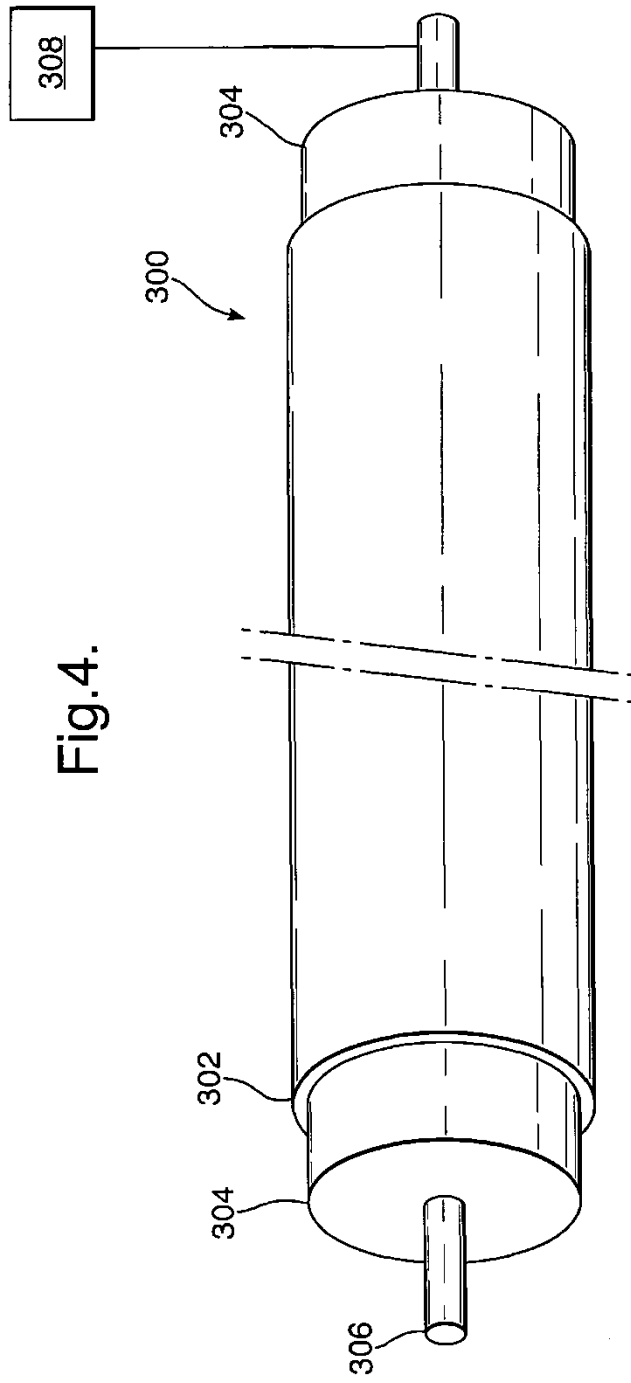


Fig.4.

Fig.5.

