

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 424 134**

51 Int. Cl.:

F16L 33/01 (2006.01)

F16L 33/22 (2006.01)

F16L 11/14 (2006.01)

F16L 9/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.09.2008 E 08806277 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2013 EP 2193302**

54 Título: **Mejoras relacionadas con elementos de conexión de tubo flexible**

30 Prioridad:

14.09.2007 GB 0718018

14.09.2007 GB 0718019

14.09.2007 GB 0718020

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.09.2013

73 Titular/es:

**BHP BILLITON PETROLEUM PTY LTD (100.0%)
Level 27, BHP Billiton Centre, 180 Lonsdale
Street
Melbourne, VIC 3000, AU**

72 Inventor/es:

WITZ, JOEL ARON

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 424 134 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 elementos de conexión de tubo flexible.

5 La presente invención se refiere a un elemento de conexión final para un tubo flexible, particularmente un tubo flexible que se pueda utilizar en condiciones criogénicas. La invención también se refiere a un tubo flexible que incorpora un elemento de conexión final.

10 Las aplicaciones típicas de los tubos flexibles implican el bombeo de fluidos desde un depósito de fluido a presión. Algunos ejemplos incluyen el suministro de aceite o GLP para calefacción doméstica a una caldera; el trasiego 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 almacenaje en tierra; el suministro de combustible para coches de carreras, especialmente durante el repostado en fórmula 1, así como el traslado de fluidos corrosivos, como ácido sulfúrico.

15 Es conocido el uso de tubos flexibles para el transporte de fluidos, como gases licuados, a una temperatura baja. Dichos tubos flexibles normalmente se utilizan para transportar gases licuados como el gas natural licuado (GNL) y el gas propano licuado (GLP).

20 Con el fin de que el tubo flexible resulte lo suficientemente flexible, cualquier longitud dada debe ser construida con materiales por lo menos parcialmente flexibles, es decir, materiales que no sean rígidos.

25 La presente invención se refiere a tubos flexibles compuestos. Los tubos flexibles compuestos convencionales están realizados con capas de películas poliméricas y tejidos contenidos entre un cable metálico helicoidal interior y exterior. El tubo flexible se construye envolviendo alrededor de un mandril, de forma secuencial, el cable interior, combinaciones de películas y tejidos, y el cable exterior. Los cables interior y exterior presentan el mismo paso helicoidal, pero están desfasados en la mitad de la longitud del paso para formar un perfil de pared de tubo flexible corrugado. A continuación, la estructura tubular resultante se extrae del mandril y se acaba con los elementos de conexión finales. Dichos elementos de conexión finales típicamente están contruidos con una boquilla metálica y un casquillo. Dicha boquilla prevé dos ranuras helicoidales paralelas mecanizadas en la superficie exterior, que encajan con la hélice doble formada por los cables interior y exterior. La boquilla se inserta en el orificio del tubo flexible con un casquillo en su parte exterior. Dependiendo de la aplicación, el extremo del conjunto de tubo flexible se puede terminar coronado con un manguito de goma o impregnado con una resina de dos partes de epoxy y, a continuación, el casquillo se engarza o estampa en la parte de la boquilla para retener el extremo del tubo flexible. Un tubo flexible de este tipo general se describe en la publicación de patente europea nº 0076540A1. El tubo flexible descrito en esta especificación incluye una capa intermedia de polipropileno orientado biaxialmente que, se considera, mejora la capacidad del tubo flexible para resistir la fatiga provocada por el flexionado repetido.

35 En nuestra solicitud de patente anterior WO 01/96772 se describe un nuevo tubo flexible compuesto que incorpora un trenzado con las capas de película y tejido contenidas entre los dos cables helicoidales. También se describe un elemento de conexión final nuevo para dicho tubo flexible. Se describen otras mejoras al tubo flexible y al elemento de conexión final en las solicitudes de patente del presente solicitante números WO 04/044472 y WO 04/079248, dando a conocer este último documento todas las características del preámbulo de la reivindicación 1. Estos tubos flexibles compuestos pueden estar provistos de un orificio grande y, típicamente, están destinados a operaciones de trasiego de fluidos de barco a barco regidas por los requisitos de la Organización Marítima Internacional (OMI). Dichos requisitos de la OMI para tubos flexibles (Código internacional para la construcción y equipo de buques que transporten gases licuados a granel – el “código CIG” demandan (por motivos de seguridad) que la presión de rotura del tubo flexible sea cinco veces la presión de trabajo máxima en la temperatura de servicio extremo. La presión de trabajo máxima típicamente oscila desde el mínimo requerido por la OMI de 10 barg hasta entre 20 y 30 barg.

40 Resulta importante que el elemento de conexión final pueda acomodar de forma segura las tensiones inducidas por las pruebas de presión de rotura de la OMI. Los elementos de conexión finales se realizan con componentes metálicos y la boquilla, en particular, debe poder acomodar la tensión circular inducida por la presión interna que corresponde en una primera aproximación mediante la fórmula de Barlow que establece que la tensión circular es igual al producto de la presión interna y el diámetro interno dividido por dos veces el grosor de la pared del tubo que forma la boquilla. La tensión admisible se determina por los códigos normalizados de diseño de recipientes a presión, como el Código de calderas y recipientes a presión de la ASME, como una proporción, unos dos tercios, del límite de elasticidad del material de la boquilla. Algunos materiales típicos para la boquilla son aceros al carbono para aplicaciones no criogénicas y aceros inoxidables austeníticos para el servicio criogénico, es decir, típicamente temperaturas por debajo de 150 °K. Los aceros al carbono no resultan adecuados para el servicio criogénico debido a que resultan frágiles a temperaturas muy bajas.

45 Algunos grados de acero inoxidable austenítico a título de ejemplo para un servicio criogénico son las “series 300” que no muestran fragilidad a temperaturas bajas. Las propiedades de material importantes son el límite de elasticidad (YS), la deformación elástica (EY), la resistencia a la rotura por tensión (UTS), el fallo por deformación (EF), el módulo de elasticidad (E), la densidad (RHO), la conductividad térmica (K) y el coeficiente de expansión

térmica (CTE). Estas propiedades varían en un rango entre temperaturas ambiente (293 °K) hasta criogénicas (4 °K para helio líquido o 77 °K para nitrógeno líquido [LN₂]). En general, la resistencia se incrementa con la reducción de temperatura. Esto se ilustra considerando como un ejemplo el grado 304 del AISI (8g/cc de densidad) que es un acero inoxidable austenítico utilizado comúnmente para el servicio criogénico. El YS y la UTS del 304 a temperatura ambiente es aproximadamente de 250 MPa y 590 MPa respectivamente, y a la temperatura del LN₂ (77 °K) aproximadamente de 400 MPa y 1525 MPa respectivamente. Aunque existe algo de reducción en la ductilidad con el EF que se reduce del 60% a temperatura ambiente al 40% a temperatura de LN₂, se da una ductilidad más que adecuada en el 304 a esta temperatura ambiente. A pesar de que este incremento en la resistencia se considera beneficioso, los diseñadores de recipientes con presión criogénica tienen a confiar en las especificaciones de temperatura ambiente mínima. Los módulos elásticos de temperatura LN₂ ambiente para 304 son 193 GPa y 205 GPa respectivamente.

Un aspecto importante de diseño para el equipo criogénico es el efecto de los cambios dimensionales y los gradientes térmicos transitorios asociados con los casi 215 °K de cambio de temperatura de la temperatura ambiente a las condiciones de servicio criogénico. Los aceros como el 304 son conductores térmicamente y se contraerán cuando descienda la temperatura. Las conductividades térmicas para el 304 a temperatura ambiente y a temperatura de LN₂ son de 8 y 15 W/m °K respectivamente. El CTE promedio sobre esta gama de temperatura es de $13 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$, es decir, una contracción longitudinal de 3 mm/m aproximadamente para esta diferencia de temperatura de 216 °K.

Dicha contracción presenta un problema para los elementos de conexión finales convencionales en condiciones de choque térmico en las que el elemento de conexión final se expone rápidamente a fluido criogénico. Esto podría provocar una contracción de diferencial térmico transitorio en la dirección radial entre la boquilla y el casquillo, con el resultado de alguna pérdida. Este hecho se acentúa en condiciones de servicio a largo plazo si se confía en una resina de epoxy como relleno para sellar cualquier pequeño paso de fuga. El CTE para la resina de epoxy se encuentra entre $50 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ y $80 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ y, por lo tanto, la resina intentará contraerse más que el acero inoxidable austenítico adyacente. Con ciclos térmicos repetitivos, la unión de la resina con el acero podría fallar y, como consecuencia, se podría desarrollar un paso de fuga. Este es un problema conocido en el campo que se debe abordar mediante el control cuidadoso del perfil de exposición térmica y/o el diseño detallado del conjunto de elementos de conexión finales.

Con los elementos de conexión finales descritos en general en el documento WO 04/079248, gracias a la ventaja de tener un anillo separado para proporcionar la función de hermeticidad, la activación de la hermeticidad se lleva a cabo para compensar el choque térmico y se ha observado, que esta solución resulta satisfactoria en la prueba a escala real tanto con LN₂ como con GLP.

También se ha observado que resulta beneficiosa la construcción de una boquilla con el 36% de níquel, aleación metálica equilibrada con hierro, en ocasiones denominada por las marcas registradas Invar y Pernifer 36, (densidad 8,1 g/cc), que presenta una resistencia comparable con los aceros inoxidables austeníticos, pero con un CTE sustancialmente inferior. A condiciones ambiente, el YS y la UTS mínimas del Ni36 son 240 MPa y 450 MPa, respectivamente, con resultados de pruebas significativos que muestran que el YS se incrementa desde 270 MPa a temperatura ambiente hasta 700 MPa a temperatura de LN₂. El EF es el 40% sobre esta gama de temperatura. Las conductividades térmicas para el Ni36 a temperatura ambiente y temperatura de LN₂ son de 6 y 13 W/m °K, respectivamente.

Se puede observar que las propiedades del Ni36 son similares a las del 304 para el servicio criogénico, pero con una excepción notable. El promedio de CTE sobre la gama de temperatura de las condiciones ambientales a temperaturas de LN₂ es de $1-2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$, es decir, una contracción de la longitud de aproximadamente 0,4 mm/m para esta diferencia de temperatura de 216 °K. Esta es una orden de magnitud menor de contracción radial en comparación con el acero inoxidable austenítico, lo que representa una ventaja considerable en la mejora de la fiabilidad del mecanismo de hermeticidad.

La resistencia a la corrosión de un Ni36 para servicio marino se puede conseguir con la deposición de un revestimiento resistente a la corrosión de una aleación níquel-cromo o níquel-cobre como el Inconel (marca registrada) o el Monel (marca registrada) como ejemplos.

En tubos flexibles de orificio grande, por ejemplo entre 20" y 24" (500 a 600 mm), no resulta práctico controlar las transiciones térmicas, debido al volumen de fluido criogénico implicado. Además, incrementando el tamaño del orificio y manteniendo la capacidad de soportar presión elevada se consiguen unos elementos de conexión finales cada vez más pesados que resultan difíciles de manipular y de desplegar. Se ha observado que existe un problema práctico para conseguir un elemento de conexión final capaz de soportar presión elevada y de poco peso y para limitar el shock térmico utilizando la solución establecida con base de metal.

Se ha observado también que, para solucionar los problemas de elementos de conexión finales mencionados anteriormente para tubos flexibles de orificio grande, se pueden construir los componentes de elemento de conexión

final a partir de un material compuesto que se expande después del enfriamiento. Se deberá observar que esta referencia a “material compuesto” es diferente al uso del término “compuesto” en “tubos flexibles compuestos”.

5 De este modo, de acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un elemento de conexión final para un tubo flexible compuesto del tipo que comprende un cuerpo tubular de material flexible dispuesto entre los elementos de agarre interior y exterior, comprendiendo dicho elemento de conexión final un primer elemento adaptado para su disposición en el tubo flexible, y un segundo elemento adaptado para su disposición alrededor de la parte exterior del tubo flexible, donde el extremo de dicho tubo flexible se puede sellar entre el primer y el segundo elemento y donde por lo menos parte del primer elemento y/o por lo menos parte del segundo elemento están realizados en un material que se expande después del enfriamiento en por lo menos una dirección.

El término “primer elemento” representa la boquilla en la descripción anterior de la técnica anterior, mientras que el término “segundo elemento” representa el casquillo.

15 El primer elemento puede estar realizado en su totalidad en un material compuesto. Sin embargo, es preferible que solo la parte del material que se adapta para encajar en el tubo flexible esté realizada en un material compuesto que se expanda al enfriarse.

20 Los “materiales compuestos” son materiales que están realizados a partir de una combinación de dos o más materiales para otorgar un conjunto de propiedades único y a medida. La forma más común de material compuesto es una matriz de fibras en una resina. Dichas fibras pueden ser continuas con una orientación en la dirección longitudinal o las fibras pueden presentar longitudes cortas en una orientación mixta. Dichas fibras normalmente son fibras de una resistencia elevada como E-Glass, S-Glass, de aramida (por ejemplo Kevlar (marca registrada)) o de carbono. La resina encapsula las fibras y puede ser una resina termoplástica, como un polietileno, una poliimida, una poliamida, un fluoropolímero, cloruro de polivinilo (PVC), poliuretano (PU), polieteretercetona (PEEK) o una resina termoplástica como un epoxy o un poliéster o un éster de vinilo. El material compuesto puede ser una construcción laminada con capas de fibras longitudinales en una matriz de resina orientada en diferentes direcciones, con el fin de conseguir las propiedades mecánicas deseadas. El uso de fibras de resistencia elevada en el material compuesto generalmente tiene como resultado una construcción con una resistencia considerable en relación con la razón de peso y, por ello, los materiales compuestos han encontrado una aplicación amplia en las industrias aeroespacial y de la automoción, incluyendo aplicaciones de recipientes a presión.

35 Muchos de los componentes constituyentes de un material compuesto, como la resina de epoxy, no resultarían adecuados para el servicio criogénico en una forma homogénea en masa, principalmente debido a su fragilidad a bajas temperaturas. Sin embargo, cuando los materiales que lo forman se combinan cuidadosamente en forma de fibra y laminado con otros materiales constituyentes en una matriz, entonces, la interacción estructural es tal, que las limitaciones de dicho material constituyente homogéneo en masa se pueden superar.

40 Se ha observado que la selección de fibra resulta importante y es preferible la utilización de fibras de alta resistencia de carbono, aramido, vidrio o de polietileno de peso molecular elevado o combinaciones de los mismos. Por ejemplo, algunas resistencias a la tracción, módulos de tracción y densidades de tracción para fibras de E-Glass, Kevlar-49, MS-LM (Medium Strength Low Modulus) y carbono son, en orden: 3450, 3790, 4138, MPa para la resistencia a la tracción; 72, 124, 228 GPa para los módulos de tracción; y 2,6, 1,4, 1,8 g/cc para la densidad. Se ha observado que se pueden utilizar tanto resinas termoendurecibles como resinas termoplásticas. La densidad del epoxy y el PEEK (polieteretercetona) es de 1,3 g/cc en ambos casos. Se ha observado que utilizando un material compuesto que contenga algunas de estas fibras de alta resistencia, particularmente en el primer elemento, se reduce sustancialmente el peso del elemento de conexión final, al mismo tiempo que se retiene la capacidad de soportar presión elevada.

50 Otra ventaja de la utilización de un material compuesto es que presenta una conductividad térmica baja en comparación con el acero. Típicamente, la conductividad térmica se encuentra entre 0,1 y 1 W/m °K aproximadamente, que es por lo menos una orden de magnitud menor que el acero inoxidable austenítico. Esto resulta particularmente ventajoso en aplicaciones criogénicas, ya que reduce la cantidad de aislamiento térmico requerido para que el elemento de conexión final minimice el flujo de calor que hace hervir el fluido criogénico. La evaporación gaseosa da lugar a la ineficiencia en el transporte de líquido criogénico y, por lo tanto, sería deseable minimizar el ritmo de evaporación. Esto presenta una importancia primordial en la transferencia de barco a barco, en la que los elementos de conexión finales de un tubo flexible criogénico flotante están en contacto con el agua.

60 Debido a la conductividad térmica baja inherente de los compuestos, se puede construir en capas sucesivas de materiales o compuestos aislantes externos a la capa de compuesto interna, utilizando la gradiente térmica inherente. Las capas aislantes pueden ser, por ejemplo, fibras aislantes huecas en una resina termoplástica, o poliuretano aireado (PU). El uso de PU proporciona potencialmente una capa protectora mecánica externa y robusta. De este modo, los elementos finales primero y/o segundo del elemento de conexión final se pueden construir a partir de una pluralidad de capas de material, algunas o todas ellas de material compuesto que, preferentemente, presentan una conductividad térmica de 2 W/m °K o menor, con mayor preferencia de 1 W/m °K o menor. Algunas capas de la primera y/o la segunda capa pueden ser de materiales no compuestos, como materiales poliméricos no

compuestos que, preferentemente, presentan una conductividad térmica por debajo de 2 W/m °K, con mayor preferencia, por debajo de 1 W/m °K. Los materiales no compuestos pueden ser una resina termoplástica o PU. Así, de acuerdo con la invención, se pueden construir los componentes del exterior de los elementos de conexión finales a partir de capas de material concebidas para proporcionar las propiedades en masa deseadas al elemento de conexión final.

Se ha observado que resulta particularmente ventajosa la utilización de las propiedades bastante inusuales de las fibras de carbono y de ciertas aramidias, particularmente la poli(p-fenileno tereftalamida), conocida como Kevlar (marca registrada) o Twaron (marca registrada), ya que muestran un CTE longitudinal negativo y un CTE transversal positivo. Por ejemplo, el CTE longitudinal para el Kevlar-49 es de $-2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ y en la dirección transversal es de $68 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$. En una construcción compuesta laminada que contenga dichas fibras la lámina se expande en la dirección de la fibra y se contrae transversalmente debido a la reducción por temperatura. Se ha observado que las fuerzas de corte internas se desarrollan en una disposición simétrica equilibrada de láminas y el resultado es una expansión longitudinal neta al enfriarse. Regulando la dirección de la fibra, se puede controlar la magnitud de la expansión hasta el punto en el que se puede conseguir un CTE longitudinal efectivo de cero a $-10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$. Se puede construir la boquilla del compuesto para controlar la magnitud de los cambios dimensionales radiales bajo el anillo de hermeticidad para realizar presiones de contacto de hermeticidad incluso mayores con la reducción de temperatura. La gama de CTE longitudinal preferida es inferior a cero (por ejemplo por debajo o igual a $-0,01 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ aproximadamente o $-0,1 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ aproximadamente) hasta $-4 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$, con mayor preferencia entre 1×10^{-6} y $-2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$.

De este modo, de acuerdo con la invención, por lo menos parte del primer elemento y/o el segundo elemento está realizada en un material que se expande en por lo menos una dirección al enfriarse. Particularmente, se prefiere que por lo menos parte del primer elemento se expanda al enfriarse, con mayor preferencia, es la parte del primer elemento que está adaptada para su disposición en el tubo flexible la que se expande al enfriarse. Preferentemente, la dirección de expansión es radialmente hacia la parte exterior del primer elemento, donde dicho primer elemento puede ejercer una presión hacia afuera radialmente en la parte interior del tubo flexible cuando se enfría.

En una forma de realización particularmente preferida, el primer elemento se realiza por lo menos parcialmente en un material compuesto que se expande después del enfriamiento, y el segundo elemento se realiza por lo menos parcialmente en un material compuesto que se contrae después del enfriamiento. Tal como se ha mencionado anteriormente, la expansión y/o contracción preferentemente tendrá lugar en la dirección que se extiende radialmente del eje del tubo flexible. En esta forma de realización, se prefiere que el primer elemento no incluya material compuesto que se contraiga después del enfriamiento y que el segundo elemento no incluya material compuesto que se expanda después del enfriamiento.

El elemento de conexión final de acuerdo con algunos aspectos de la invención descrita anteriormente también puede estar provisto de una o más de las características del elemento de conexión final ya descrito en el documento WO 04/079248. Dichas características se describirán con mayor detalle más adelante.

En una forma de realización preferida, el segundo elemento incluye un elemento de acoplamiento de tubo flexible adaptado para presionar contra el elemento interior, con el fin de retener el tubo flexible entre el mismo y el primer elemento, y unos medios separados para retener una o más capas del tubo flexible, comprendiendo dichos medios de retención un elemento de retención exterior adaptado para presionar contra un elemento de retención interior, con el fin de retener la o cada una de las capas del tubo flexible entre los elementos de retención exterior e interior de los medios de retención.

Preferentemente, los elementos de retención interior y exterior presentan forma de anillo. Con mayor preferencia, los elementos de retención interior y exterior preferentemente están provistos en la forma de un anillo, preferentemente con el elemento de retención exterior dispuesto concéntrico con respecto al elemento de retención interior. Con mayor preferencia, el primer y el segundo elemento son anillos partidos que facilitan el montaje.

En una forma de realización preferida, el elemento de retención exterior que entra en contacto con la o cada una de las capas del tubo flexible está provisto de formaciones de agarre para facilitar el agarre de la o de cada una de las capas de dicho tubo flexible. La superficie del elemento de retención interior puede estar provista de formaciones correspondientes.

En una forma de realización preferida, las superficies adyacentes de los elementos de retención interior y exterior están provistas de una formación de agarre para facilitar el agarre de la o cada una de las capas del tubo flexible entre las mismas.

Se puede prever cualquier cantidad adecuada de elementos de retención interior y exterior. En la forma de realización más sencilla, se prevé un elemento de retención exterior y un elemento de retención interior. Se pueden proporcionar dos o más elementos de retención con un elemento de retención interior. También se pueden proporcionar dos o más elementos de retención con un elemento de retención exterior. Y se pueden proporcionar dos o más elementos de retención exteriores con dos o más elementos de retención interiores, preferentemente, de

manera que cada uno de los elementos de retención exteriores prevea un elemento de retención interior correspondiente.

5 El elemento de acoplamiento de tubo flexible preferentemente presenta forma de anillo. Dicho elemento de acoplamiento de tubo flexible preferentemente presenta forma de anillo, con mayor preferencia de anillo partido. El elemento de acoplamiento de tubo flexible preferentemente pinza la totalidad de las capas del tubo flexible de forma segura entre el mismo y el elemento interior del elemento de conexión final.

10 En una forma de realización preferida, el elemento de retención interior de los medios de retención está integrado con los medios de acoplamiento del tubo flexible. En esta forma de realización, dichos medios de acoplamiento del tubo flexible comprenden una primera parte de un primer grosor en sección transversal (es decir, diámetro cuando presenta forma de anillo) y el elemento de retención interior integrado comprende una segunda parte de un segundo grosor en sección transversal (es decir, diámetro cuando presenta forma de anillo), siendo dicho segundo grosor menor que el primer grosor. El elemento de retención exterior puede presentar un tercer grosor en sección transversal (es decir, diámetro cuando presenta forma de anillo) y el segundo y el tercer grosor en sección transversal pueden ser iguales. Preferentemente, la suma del segundo y el tercer grosor en sección transversal es sustancialmente la misma que el primer grosor en sección transversal.

20 Cuando el elemento de retención interior está integrado con el elemento de acoplamiento de tubo flexible, se prefiere que dicho elemento de acoplamiento de tubo flexible presente forma de L, de manera que el elemento de retención interior se extienda desde el cuerpo del elemento de acoplamiento de tubo flexible y el elemento de retención exterior se pueda recibir en el rebaje de la forma de L.

25 Cuando el elemento de retención interior está integrado con el elemento de acoplamiento de tubo flexible, la superficie interior de dicho elemento de retención de tubo flexible también podría funcionar para pinzar el tubo flexible de manera fija entre el propio tubo flexible y el elemento interior, es decir, podría contribuir a la función de acoplamiento de dicho tubo flexible.

30 El elemento de acoplamiento de tubo flexible y/o los elementos de retención se pueden realizar en un material compuesto, tal como se ha descrito anteriormente.

35 El primer elemento podría incluir un rigidizador de flexión tubular adaptado para su encaje en el cuerpo del tubo flexible. Dicho rigidizador de flexión preferentemente es un material polimérico, con mayor preferencia un poliuretano. Preferentemente, el rigidizador de flexión está inclinado, de manera que el grosor se reduzca en una dirección alejada del extremo del tubo flexible; el grado de inclinación se puede optimizar para cada aplicación específica. Preferentemente, la punta del rigidizador de flexión (es decir, la parte más alejada del extremo del tubo flexible) está provista de un soporte contra el que puede desplazarse cualquier protección mecánica exterior en el tubo flexible.

40 En una forma de realización preferida, el segundo elemento también puede incluir un elemento de transmisión de carga y un elemento final, estando dicha disposición de manera que el elemento de acoplamiento de tubo flexible y el elemento final estén conectados mediante el elemento de transmisión de carga, de manera que las cargas aplicadas al elemento de acoplamiento de tubo flexible se puedan transferir al elemento final mediante el elemento de transferencia de carga. En una forma de realización preferida, el elemento de transmisión de carga comprende un elemento cilíndrico que prevé un primer rebaje para recibir una parte del elemento de acoplamiento de tubo flexible y un segundo rebaje para recibir parte del elemento final. El elemento de transferencia de carga puede estar realizado en un material compuesto, tal como se ha descrito anteriormente. El elemento final puede estar realizado en un material compuesto, tal como se ha descrito anteriormente.

50 El elemento final del segundo elemento preferentemente está integrado con el primer elemento.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se prevé un tubo flexible que comprende un cuerpo tubular de un material flexible dispuesto entre los elementos de agarre interior y exterior, y un elemento de conexión final tal como se ha descrito anteriormente fijado a cada extremo del tubo flexible.

55 El tubo flexible preferentemente comprende un cuerpo tubular y un trenzado de refuerzo axial dispuesto entre los elementos de agarre interior y exterior, donde el cuerpo tubular comprende una capa de refuerzo y una capa de sellado. Preferentemente, se prevén capas de refuerzo interior y exterior, y la capa de sellado está contenida entre las capas de refuerzo.

60 Preferentemente, el tubo flexible comprende una capa protectora y/o aislante envuelta alrededor de dicho tubo flexible, donde dicha capa protectora y/o aislante prevé una parte final adaptada para su recepción en el primer rebaje del elemento de transferencia de carga.

Aunque se puede retener más de una capa del tubo flexible mediante los medios de retención del elemento de conexión final, se prefiere particularmente que solo se retenga el trenzado de dicho tubo flexible entre los elementos de retención interior y exterior de los medios de retención.

5 Tal como se ha mencionado anteriormente, el tubo flexible y el elemento de conexión final pueden prever cualquier combinación de características del tubo flexible y el elemento de conexión final descritos en los documentos WO 01/96772, WO 04/044472 y WO 04/079248.

10 El tubo flexible según la invención se puede prever para su uso en una amplia variedad de condiciones, como temperaturas superiores a 100°C, temperaturas entre 0°C y 100°C y temperaturas inferiores a 0°C. Con una selección de material adecuada, el tubo flexible se puede utilizar a temperaturas inferiores a -20°C, inferiores a -50°C o incluso inferiores a -100°C. Por ejemplo, para el transporte de GNL, el tubo flexible puede tener que funcionar a temperaturas inferiores a -170°C, o incluso inferiores. Además, también se contempla que el tubo flexible se pueda utilizar para transportar oxígeno líquido (punto de ebullición -183°C) o nitrógeno líquido (punto de ebullición -196°C),
15 en cuyo caso el tubo flexible puede precisar un funcionamiento a temperaturas de -200°C o inferiores.

El tubo flexible según la invención también se puede proporcionar para su uso en una variedad de trabajos diferentes. Típicamente, el diámetro interior del tubo flexible oscilaría entre 2 pulgadas (51 mm) aproximadamente y 24 pulgadas (610 mm) aproximadamente, más típicamente entre 4, 6 u 8 pulgadas (203 mm) y 16 pulgadas (406 mm). En general, la presión de funcionamiento del tubo flexible estaría en la gama entre 500 kPa manométricos aproximadamente y 2000 kPa manométricos aproximadamente, o incluso hasta 4000 kPa manométricos aproximadamente o incluso mayor. Estas presiones se refieren a la presión de funcionamiento del tubo flexible, no a la presión de rotura (que debe ser varias veces mayor). El caudal de flujo volumétrico depende del medio fluido, la presión y el diámetro interno. Son típicos los caudales de flujo entre 1000 m³/h y 12000 m³/h .

25 El tubo flexible según la invención también se puede proporcionar para su uso con fluidos corrosivos, como ácidos fuertes.

A continuación se hará referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

30 la figura 1 es una vista en perspectiva de un tubo flexible con el que se puede utilizar el elemento de conexión final según la invención;

35 la figura 2 es una vista en sección transversal de una primera forma de realización de un elemento de conexión final para un tubo flexible, según la invención;

la figura 3 es una vista en sección transversal esquemática de una segunda forma de realización de un elemento de conexión final para un tubo flexible, según la invención;

40 la figura 4 es una vista en sección transversal esquemática de una tercera forma de realización de un elemento de conexión final para un tubo flexible, según la invención;

45 la figura 5 es una vista esquemática ampliada en sección transversal de parte de un elemento de acoplamiento de tubo flexible del elemento de conexión final según la invención, antes del montaje;

la figura 6 es una vista esquemática ampliada en sección transversal de parte de un elemento de acoplamiento de tubo flexible del elemento de conexión final según la invención, después del montaje.

50 El tipo de tubo flexible al que se aplica la presente invención se describe en detalle en el documento WO 01/96772. La figura 1 muestra el tubo flexible 100 con mayor detalle.

En resumen, el tubo flexible 100 comprende unos elementos de agarre interiores y exteriores 102 y 104 que, preferentemente, están dispuestos en una forma helicoidal y, preferentemente, son cables. Un cuerpo tubular 106 y un trenzado de refuerzo axial 108, que rodea dicho cuerpo tubular 106, se disponen entre los elementos de agarre 102 y 104. El cuerpo tubular comprende una capa de refuerzo interior 110 y una capa de refuerzo exterior 112 y una capa de sellado 114 dispuesta entre dichas capas de refuerzo interior y exterior 110 y 112. Una capa protectora/aislante exterior 116 rodea el trenzado 108. Tal como se ha mencionado anteriormente, el tubo flexible 100 se describe con mayor detalle en el documento WO 01/96772.

60 Los extremos del tubo flexible se pueden sellar utilizando el elemento de conexión final 200 que se muestra en la figura. Dicho tubo no se ha mostrado en la figura, con el fin de mejorar la claridad. El elemento de conexión final 200 comprende un elemento interior tubular 202 provisto de un extremo de tubo flexible 202a y una boquilla final 202b. Ventajosamente, la parte 202a es un material compuesto que se expande en por lo menos una dirección al enfriarse, con mayor preferencia en la dirección radial del eje longitudinal del tubo flexible 100. La boquilla final también se puede realizar en un material compuesto, para reducir el peso del conjunto. El elemento de conexión final 200 también incluye un elemento de hermeticidad que comprende un anillo de hermeticidad 204 que, típicamente, se

basa en una resina polimérica como PTFE, opcionalmente con un relleno cerámico, y un anillo partido de acero inoxidable 206 alrededor de dicho anillo de hermeticidad 204. El anillo 206 puede estar realizado en un material compuesto.

5 El elemento de conexión final 200 también incluye unos medios de transferencia de carga que comprenden un elemento de acoplamiento de tubo flexible 208, un elemento de transferencia de carga 210 y un elemento final en la forma de una placa en forma de disco 212. Dicha placa 212 está integrada con la boquilla final 202b del elemento interior 202, tal como se ilustra en 212b. El elemento de transferencia de carga comprende una placa en forma de disco 214 y por lo menos una barra de transferencia de carga 216. En la figura, se aprecian dos de las barras 216, pero se prefiere proporcionar tres o más de las barras 216 y, preferentemente, que las barras sean equidistantes alrededor de la circunferencia. Se proporciona una tuerca de apriete 218 en cada barra 216. Las placas 212 y 214 prevén aberturas 212a y 214a respectivamente para recibir las barras 216. Una o más, o la totalidad, de las partes 210, 212, 214, 216 y 218 pueden estar realizadas en un material compuesto que se expande en por lo menos una dirección al enfriarse.

15 El elemento de acoplamiento de tubo flexible 208 está provisto de un rebaje helicoidal en la forma de ranuras 208a que están adaptadas para recibir el cable exterior del tubo flexible en su interior. El elemento interior 202 está provisto de un rebaje helicoidal exterior en la forma de ranuras 202d que están adaptadas para recibir el cable interior 22. Las ranuras 208a y 202d están separadas en media longitud del paso p , donde p es la longitud de paso de los cables de agarre del tubo flexible (que no se muestra).

20 El elemento de acoplamiento de tubo flexible 208 también incluye unos medios de retención para retener el trenzado 108 del tubo flexible 100. Dichos medios de retención comprenden un elemento de retención interior 230 que está integrado con el resto del elemento de acoplamiento de tubo flexible, y un elemento de retención exterior separado 232. El exterior 232 puede pinzar el trenzado 108 del tubo flexible 100 entre el mismo y el elemento interior 230. El elemento exterior 232 prevé formaciones de agarre en su superficie interior, para facilitar el agarre del trenzado 108 entre el elemento exterior 232 y el elemento interior 230. Dichas formaciones de agarre preferentemente son circulares, pero pueden adoptar otros patrones.

25 Se prefiere que las partes 206, 208, 230 y 232 se contraigan al enfriarse. Esto se puede conseguir realizándolas con acero o con un material compuesto que se contraiga por lo menos en una dirección al enfriarse.

30 El elemento 202 está provisto de dos salientes circulares 202e que están situados debajo del anillo de hermeticidad 204. Dichos salientes 202e son adecuados para mejorar la hermeticidad del elemento tubular entre el elemento interior 202 y el anillo de hermeticidad 204, y ayudan a evitar que el elemento tubular se salga inadvertidamente de su posición.

35 El elemento de conexión final 200 también está provisto de un rigidizador de flexión polimérico flexible 240 que prevé aberturas 242 a través de las que se pueden recibir las barras 216. Un extremo del rigidizador de flexión 240 se apoya en la placa 214. Las partes 202e y 240 se pueden realizar en material compuesto que se expanda en por lo menos una dirección al enfriarse. La figura 3 muestra un elemento de conexión final que es similar al elemento de conexión final que se muestra en la figura 2, y se han utilizado los mismos números de referencia para designar las partes. Las diferencias son: no se prevé el rigidizador de flexión en el diseño que se muestra en la figura 2, aunque se podría prever si se desea; las placas 212 y 214 presentan un diámetro menor, de manera que las estructura es más compacta.

40 La figura 4 muestra un elemento de conexión final similar al elemento de conexión final que se muestra en la figura 2, y se han utilizado los mismos números de referencia para designar las partes. En la figura 4, la barra de transferencia de carga se ha sustituido por un elemento de transferencia de carga 250 que prevé rebajes 250a y 250b adaptados para recibir los bordes de las placas 212 y 214, respectivamente. La parte 250 se podría realizar en un material compuesto que se expanda en por lo menos una dirección al enfriarse.

45 El rebaje 250b también recibe una parte final 260a de una capa protectora y/o aislante 260 provista en la superficie exterior del tubo flexible 100 (es decir, provista en la parte exterior del elemento de agarre 104). La capa 260 puede ser el mismo tipo de capa que se describe en la publicación de patente internacional copendiente WO 04/044472 del presente solicitante. Dicha capa comprende un elemento perfilado alargado que se envuelve helicoidalmente alrededor de la parte exterior del tubo flexible 100.

50 A continuación se hará referencia a las figuras 5 y 6. A fin de que el trenzado de refuerzo axial 108 funcione de manera más eficiente, se debería acoplar de forma segura al elemento de conexión final 200. El elemento exterior 232 concuerda con el elemento interior 230 para conseguir dicha fijación. Esta interfaz está concebida para reducir a cero la tensión en el trenzado 108, provocada por la presión y la tensión del tubo flexible, con el fin de ayudar a evitar que dicho trenzado 108 se salga de su acoplamiento.

55 Cuando el trenzado 108 se estira axialmente, intenta reducir su radio debido a su propia estructura. Si se evita que reduzca dicho radio, se generará una presión de contacto igual a la tensión local en relación con la curvatura local.

- 5 Para ilustrar el concepto de curvatura local, se considera una cuerda enrollada alrededor de un cilindro, donde la curvatura local es el recíproco del radio del cilindro. Esta fuerza de contacto está en relación con el coeficiente de fricción local del trenzado 108 (se trata del denominado efecto "cabrestante"). La fuerza de fricción no es lineal debido a las formaciones onduladas 230a y 232a en los elementos 230 y 232, sería lineal si se tratase de placas rectas. El decaimiento no lineal es más efectivo.
- 10 El trenzado se dobla hacia atrás en la parte exterior del cuerpo del tubo flexible alrededor de un borde frontal achaflanado 230b del elemento 230. Dicho borde achaflanado 230b evita que se induzcan grandes concentraciones de tensión en el trenzado 108 como resultado del contacto de dicho trenzado 108 con el elemento 232 bajo tensión. El radio controla la presión de contacto generada por la tensión en el trenzado 108. La caída de tensión es una función no lineal del producto del ángulo de contacto que realiza el trenzado con el radio y el coeficiente de fricción local. En el caso que se muestra, donde el radio del achaflanado es constante, la función no lineal es exponencial.
- 15 Cuando el elemento exterior 232 concuerda en su totalidad con el elemento interior 232, las superficies perfiladas 230a y 232a del primer y el segundo elemento concuerdan estrechamente, respectivamente, forzando así a que el trenzado 108 pase a través de una serie de ondulaciones. Cada una de dichas ondulaciones actúa como un cabrestante y, de este modo, reduce la tensión en el trenzado, tal como se ha descrito anteriormente.
- 20 El tubo flexible se fija al elemento de conexión final 200 del siguiente modo. El elemento interior 202 se enrosca en el extremo del tubo flexible, de modo que dicho tubo flexible queda cerca de la placa 212. El cable interior del tubo flexible se recibe en las ranuras 202d y el cable exterior del tubo flexible se recibe en las ranuras 208a. Los cables interior y exterior se recortan, de manera que no se extiendan a lo largo del elemento interior 202 más allá de las ranuras 202d y 208a. Cualquier aislamiento del tubo flexible también se recorta en este punto. La capa de refuerzo interior del tubo flexible también se recorta en este punto, o en algún punto antes de que alcance el anillo de hermeticidad 204. Esto significa que la capa de sellado del tubo flexible se acopla directamente con la superficie exterior del elemento interior 202. El resto del cuerpo tubular del tubo flexible se puede extender a lo largo del elemento interior 202 entre dicho elemento interior 202 y el anillo de hermeticidad 204.
- 25
- 30 A continuación, se aprieta el elemento de acoplamiento de tubo flexible 208, con el fin de provocar su pinzado en el tubo flexible llevándolo a un acoplamiento firme con dicho tubo flexible. Seguidamente, se aprietan las tuercas 218, lo que induce a cierta tensión axial en el tubo flexible, eliminando así cualquier juego del sistema. Dichas fuerzas se transmiten desde el elemento de acoplamiento de tubo flexible 208 a la placa 214, a la barra 216, a la placa 212 y a la boquilla final 202b del elemento interior 202. El elemento tubular se estira sobre la superficie superior del elemento de acoplamiento de tubo flexible 208 y entre el elemento exterior 232 y el elemento interior 230. El segundo elemento exterior 232 y el elemento interior 230 pinzan el trenzado 108 firmemente en su lugar.
- 35
- 40 El cuerpo tubular 106 del tubo flexible 100 se extiende debajo del anillo de hermeticidad 204. Después de que el elemento de acoplamiento 208 y las tuercas 218 se hayan apretado, se aprieta el anillo partido 206 con el fin de incrementar la fuerza aplicada en el cuerpo tubular mediante el anillo de hermeticidad 204.
- 45 A continuación, se enfría el elemento de conexión final 200 hasta una temperatura baja mediante nitrógeno líquido. Esto hace que el anillo de hermeticidad 204 se contraiga relativamente más que el anillo partido 206, por lo que se reduce la fuerza de compresión aplicada en el anillo de hermeticidad 204 mediante el anillo partido 206. Aunque el anillo partido 206 y el anillo de hermeticidad 204 se encuentran a una temperatura relativamente baja, dicho anillo partido 206 se vuelve a apretar. Seguidamente, se permite que la temperatura aumente hasta las condiciones ambientales, por lo que la fuerza de compresión se incrementa en el anillo de hermeticidad gracias a la mayor expansión de dicho anillo de hermeticidad 204 con respecto al anillo partido 206.
- 50 Se observará que la invención descrita anteriormente se puede modificar. Por ejemplo, el elemento de retención interior 230 se podría separar del resto del elemento de acoplamiento de tubo flexible. Además, se pueden prever elementos de retención interior y exterior 230 y 232 adicionales.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Elemento de conexión final (200) para un tubo flexible compuesto (100) del tipo que comprende un cuerpo tubular (106) de un material flexible dispuesto entre los elementos de agarre exterior e interior (102, 104), comprendiendo dicho elemento de conexión final un primer elemento (202) adaptado para su disposición en el interior del tubo flexible y un segundo elemento (208) adaptado para su disposición alrededor de la parte exterior del tubo flexible, pudiendo el extremo de dicho tubo flexible ser sellado entre los primer y segundo elementos, caracterizado porque por lo menos parte del primer elemento y/o por lo menos parte del segundo elemento están realizados en un material que se expande después del enfriamiento en por lo menos una dirección.
- 10 2. Elemento de conexión final según la reivindicación 1, en el que por lo menos parte del primer elemento (202) está realizada en un material que se expande después del enfriamiento en por lo menos una dirección del mismo.
- 15 3. Elemento de conexión final según la reivindicación 2, en el que dicha parte del primer elemento está adaptada para expandirse al enfriarse en una dirección radialmente hacia afuera con respecto al eje del tubo flexible.
- 20 4. Elemento de conexión final según la reivindicación 1, 2 o 3, en el que por lo menos parte del primer elemento y/o por lo menos parte del segundo elemento están realizadas en un material compuesto.
- 25 5. Elemento de conexión final según la reivindicación 4, en el que por lo menos parte del primer elemento está realizada en un material compuesto.
6. Elemento de conexión final según la reivindicación 4 o 5, en el que el material compuesto comprende fibras de carbono, aramida, vidrio o de UHMWPE.
7. Elemento de conexión final según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que por lo menos parte del segundo elemento (208) está adaptado para contraerse al enfriarse en una dirección radialmente hacia el interior con respecto al eje del tubo flexible.
- 30 8. Elemento de conexión final según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el coeficiente longitudinal de expansión térmica del material que se expande después del enfriamiento está comprendido entre cero y $-10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$.
- 35 9. Elemento de conexión final según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el material que se expande después del enfriamiento es un material compuesto que comprende fibras de carbono o fibras de poli(p-fenileno tereftalamida).
- 40 10. Elemento de conexión final según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer elemento (202) está realizado por lo menos parcialmente en un material compuesto que se expande después del enfriamiento y el segundo elemento (208) está realizado por lo menos parcialmente en un material compuesto que se contrae después del enfriamiento.
- 45 11. Tubo flexible (100) que comprende un cuerpo tubular (106) de material flexible dispuesto entre los elementos de agarre exterior e interior (102, 104) y que también comprende un elemento de conexión final (200) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores fijado a cada extremo del tubo flexible.
- 50 12. Tubo flexible según la reivindicación 11, en el que el cuerpo tubular comprende una capa de refuerzo y una capa de sellado.
13. Tubo flexible según la reivindicación 11, en el que el cuerpo tubular comprende unas capas de refuerzo interior y exterior (110, 112) y una capa de sellado (114) dispuesta entre las capas de refuerzo interior y exterior.
14. Tubo flexible según la reivindicación 11, 12 o 13 que también comprende unos medios de refuerzo axial.
- 55 15. Tubo flexible según la reivindicación 14, en el que los medios de refuerzo axial comprenden un trenzado de refuerzo axial (108).

Fig. 1.

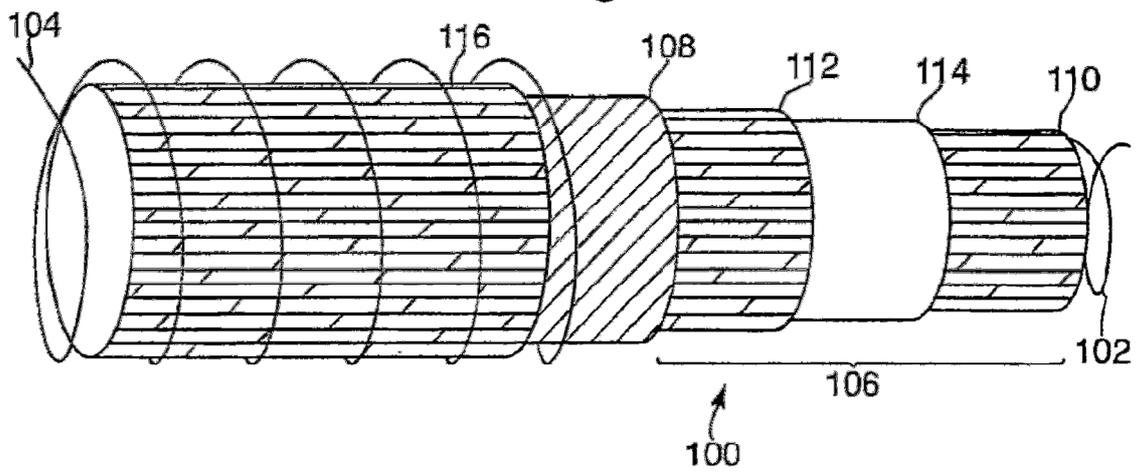


Fig.2.

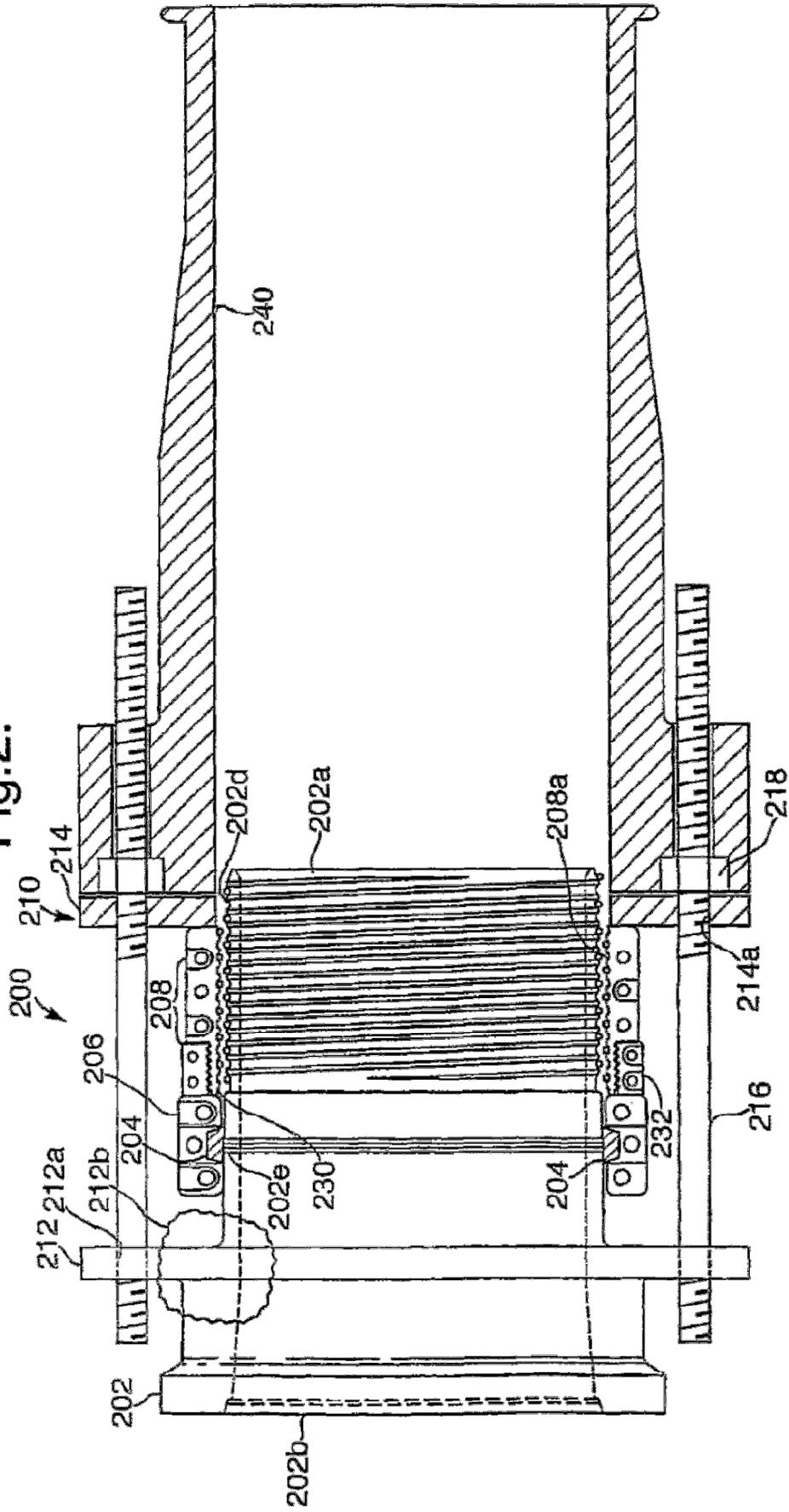


Fig.3.

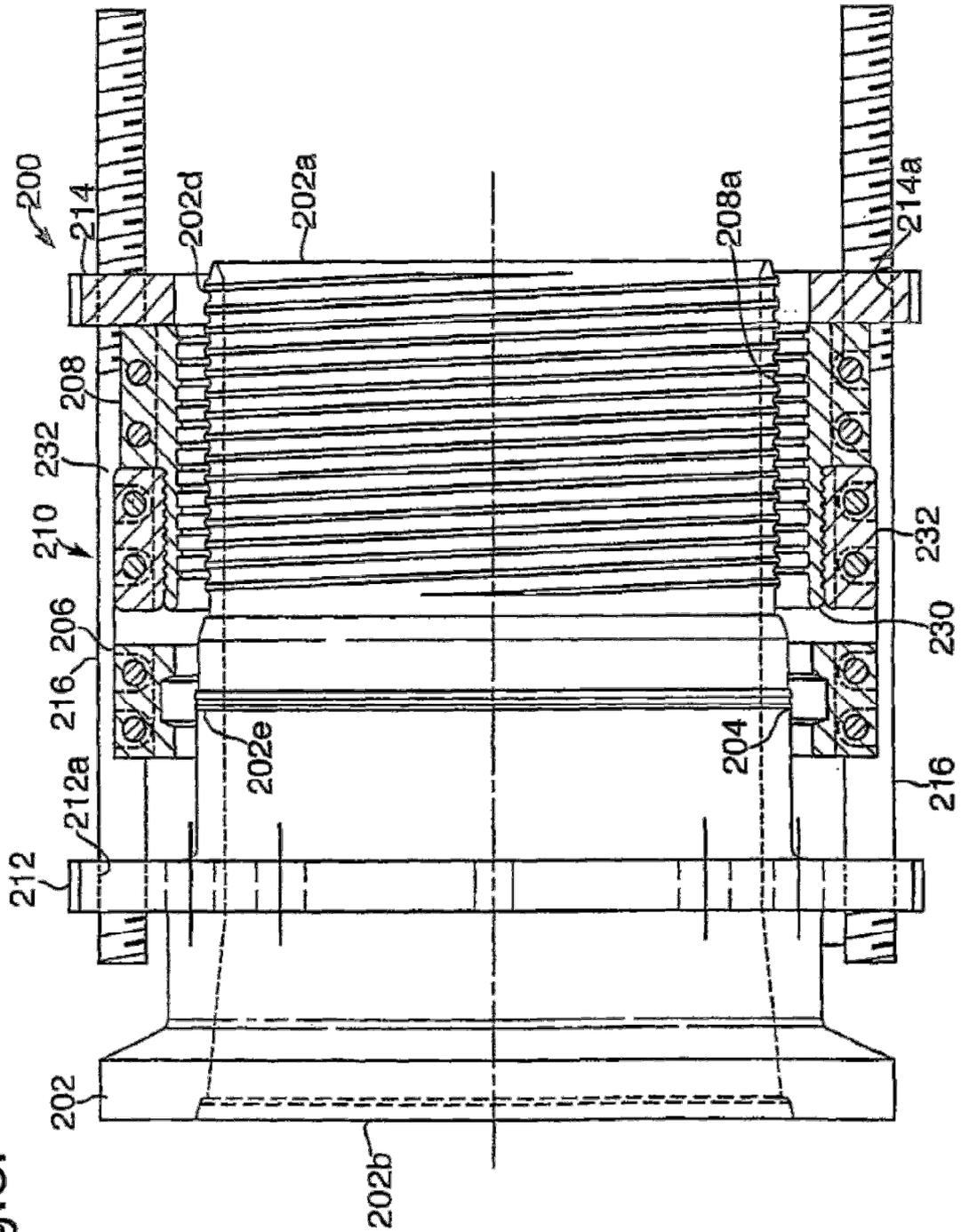


Fig.5.

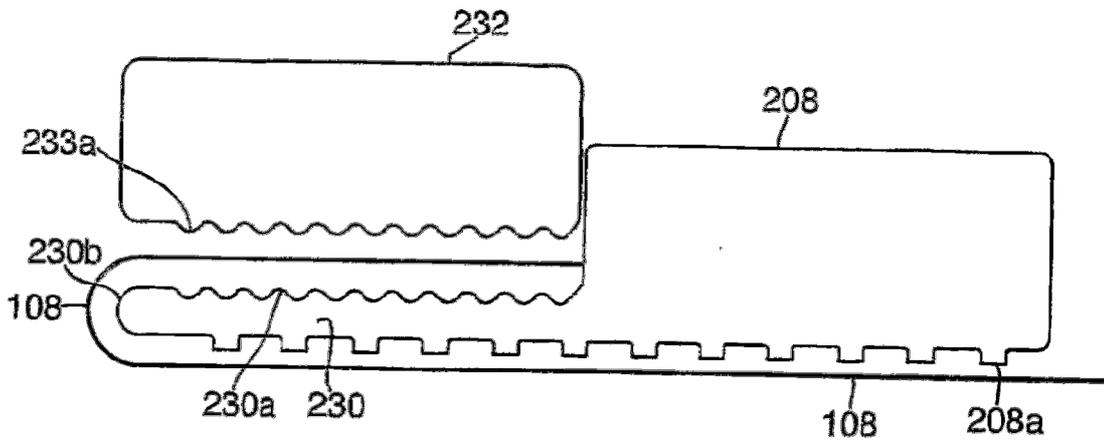


Fig.6.

