

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 424 368**

51 Int. Cl.:

F16L 11/08 (2006.01)

F16L 11/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.09.2008 E 08806291 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2013 EP 2188561**

54 Título: **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:

01.10.2013

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 2 424 368 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

Tubo flexible.

5 Esta invención se refiere a un tubo flexible, y más particularmente se refiere a un tubo flexible que puede utilizarse en condiciones criogénicas. Las aplicaciones típicas de un tubo flexible implican el bombeo de fluidos desde un depósito de fluido a presión. Algunos ejemplos incluyen el suministro de combustible para calefacción doméstica o GLP a una caldera; el transporte de líquidos y/o gases producidos en yacimientos petrolíferos desde una plataforma de producción fija o flotante hasta la bodega de carga de un buque, o desde una bodega de carga de buque hasta
10 una unidad de almacenamiento en tierra; el abastecimiento de combustible a coches de carreras, especialmente durante repostaje en la Fórmula 1; y el transporte de fluidos corrosivos, tales como ácido sulfúrico.

Se conoce bien utilizar un tubo flexible para el transporte de fluidos, tales como gases licuados, a baja temperatura. Tal tubo flexible se utiliza normalmente para transportar gases licuados tales como gas natural licuado (GNL) y gas
15 licuado de petróleo (GLP).

Para que el tubo flexible sea lo suficientemente flexible, cualquier longitud dada debe construirse al menos parcialmente de materiales flexibles, es decir, materiales no rígidos.

20 La presente invención se refiere a un tubo flexible compuesto. Los tubos flexibles compuesto convencionales están realizados de capas de películas poliméricas y materiales textiles intercaladas entre un alambre metálico helicoidal interno y externo. El tubo flexible se construye envolviendo alrededor de un mandril, por orden, el alambre interno, combinaciones de películas y material textil, y el alambre externo. Los alambres interno y externo presentan el mismo paso helicoidal pero están desplazados la mitad de la longitud de paso para formar un perfil de pared de tubo flexible corrugado. A continuación se extrae la estructura tubular resultante del mandril y se termina con elementos
25 de encaje de extremo. Los elementos de encaje de extremo se construyen normalmente a partir de un racor metálico y una virola. El racor presenta dos surcos helicoidales paralelos mecanizados en la superficie externa que coincide con la doble hélice formada por los alambres interno y externo. El racor se inserta en el orificio del tubo flexible con una virola en el exterior. Dependiendo de la aplicación, el extremo del paquete de tubo flexible puede atarse, taparse con un manguito de caucho o impregnarse con una resina epoxídica de dos partes, y a continuación se fija a presión o se estampa hacia abajo la virola en el racor para retener el extremo del tubo flexible. Un tubo flexible de este tipo general se describe en la publicación de patente europea nº 0 076 540 A1. El tubo flexible descrito en esta memoria
30 descriptiva incluye una capa intermedia de polipropileno orientado biaxialmente, que se dice que mejora la capacidad del tubo flexible de resistir la fatiga provocada por la flexión repetida.

35 En nuestra solicitud de patente anterior WO 01/96772 (que da a conocer todas las características de los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 8), describimos un tubo flexible compuesto nuevo que incorporaba un trenzado con las capas de película y material textil intercaladas entre los dos alambres helicoidales. También describimos un elemento de encaje de extremo nuevo para este tubo flexible. Se describieron mejoras adicionales para el tubo flexible y el elemento de encaje de extremo en nuestras solicitudes de patente WO 04/044472 y WO 04/079248. Estos tubos flexibles compuesto pueden estar dotados de un diámetro interior grande y están previstos normalmente para las operaciones de transferencia de fluidos de buque a buque que se rigen por los requisitos de la Organización Marítima Internacional (OMI). Los requisitos de la OMI para tubos flexibles (Código internacional para la construcción y el equipo de buques que transporten gases licuados a granel - el "Código CIG") están exigiendo (por razones de
40 seguridad) que la presión de rotura de tubo flexible debe ser cinco veces la presión de trabajo máxima a la temperatura de servicio extrema. La presión de trabajo máxima normalmente oscila desde la mínima requerida por la OMI de 10 barg hasta de 20 a 30 barg.

45 Los alambres interno y externo en tubos flexibles compuesto están realizados convencionalmente de acero. Cuando el tubo flexible va a utilizarse para un servicio criogénico, se utilizarán aceros austeníticos.

Calidades de acero inoxidable austenítico a modo de ejemplo para un servicio criogénico son las "series 300" que no muestran fragilidad a baja temperatura. Las propiedades de material importantes son el límite elástico (LE), la deformación elástica (DE), la resistencia a la tracción máxima (RTM), la deformación a la rotura (DF), el módulo elástico (E), la densidad (RHO), la conductividad térmica (K) y el coeficiente de expansión térmica (CET). Estas propiedades varían en el intervalo desde temperatura ambiente (293°K) hasta temperaturas criogénicas (4°K para helio líquido o 77°K para nitrógeno líquido [LN₂]). En general, la resistencia aumenta a medida que se reduce la temperatura. Esto se ilustra considerando como ejemplo la calidad AISI 304 (densidad de 8 g/cc) que es un acero inoxidable austenítico utilizado normalmente para el servicio criogénico. El LE y la RTM del 304 a temperatura ambiente es aproximadamente 250 MPa y 590 MPa respectivamente, y a temperatura de LN₂ (77°K) aproximadamente 400 MPa y 1525 MPa respectivamente. Aunque hay alguna reducción en la ductilidad al reducirse la DF desde el 60% a temperatura ambiente hasta el 40% a temperatura de LN₂, hay una ductilidad más que adecuada con la 304 a esta temperatura criogénica. Aunque este aumento en la resistencia se considera beneficioso, los diseñadores de recipientes de presión criogénicos tienden a basarse en las especificaciones de temperatura ambiente mínimas. Los módulos elásticos a temperatura ambiente y de LN₂ para el 304 son 193 GPa y 205 GPa respectivamente.
60
65

- Una cuestión de diseño importante para el equipamiento criogénico son los efectos de los cambios dimensionales y las oscilaciones de gradiente térmico asociadas con el cambio de temperatura alrededor de 215°K desde condiciones de servicio ambientales a criogénicas. Los aceros tales como el 304 son térmicamente conductores y se contraerán a medida que disminuya la temperatura. Las conductividades térmicas para el 304 a temperatura ambiente y temperatura de LN₂ son 8 y 15 W/m.°K respectivamente. El CET promedio para este intervalo de temperatura es $13 \times 10^{-60} \text{K}^{-1}$ es decir una contracción de longitud de aproximadamente 3 mm/m para esta diferencia de temperatura de 216°K.
- Para mantener la disposición de pared de tubo flexible es importante mantener la tensión en el alambre externo. Debido a que el paquete de pared del tubo flexible está constituido por una capa gruesa de películas y materiales textiles presenta propiedades de aislamiento inherentemente buenas y por tanto existe una diferencia de temperatura entre el alambre helicoidal interno y el externo cuando están en servicio criogénico. Por tanto el alambre interno se contraerá más que el alambre externo y esto se compensa mediante las tensiones residuales en los alambres respectivos introducidas durante la fabricación.
- Se ha encontrado que se pueden mejorar las propiedades de un tubo flexible criogénico realizando al menos algunos de los componentes del tubo flexible a partir de un material que se expande en al menos una dirección al enfriarse. También se ha encontrado que se pueden mejorar las propiedades del tubo flexible realizando al menos algunos de los componentes del tubo flexible a partir de un material compuesto. Debe observarse que esta referencia al “material compuesto” se diferencia de la utilización de la palabra “compuesto” en “tubos flexibles compuestos”.
- Según un primer aspecto de la invención se proporciona un tubo flexible que comprende un cuerpo tubular de material flexible dispuesto entre elementos de agarre interno y externo, en el que al menos uno de los elementos de agarre está realizado de un material que se expande en al menos una dirección al enfriarse el mismo.
- En una realización, tanto el elemento de agarre interno como el externo están realizados de un material que se expande al enfriarse. En otra realización, sólo el elemento de agarre externo está realizado de un material que se expande al enfriarse.
- Sin embargo, en la realización preferida, sólo el elemento de agarre interno está realizado de material que se expande al enfriarse; en esta realización preferida, el elemento externo puede realizarse de un material de elemento de agarre de tubo flexible convencional, que se contrae al enfriarse. Esto garantiza que cuando el tubo flexible esté sometido a enfriamiento, el elemento externo se contrae, mientras que el elemento interno se expande, provocando que el cuerpo tubular se comprima entre los elementos interno y externo.
- El material que se expande al enfriarse es preferentemente tal que el elemento de agarre, que está realizado a partir de un material alargado, se expande a lo largo de la longitud del material alargado cuando se enfría; esto quiere decir que cuando se proporciona el elemento de agarre como una espiral helicoidal, el diámetro de la espiral aumentará cuando los extremos de la espiral se mantienen fijos.
- Esta expansión longitudinal presenta el efecto de provocar un aumento en el radio de las espirales de los elementos de agarre. Si tanto el elemento de agarre interno como el externo se expanden, el efecto neto en el radio de tubo flexible será la diferencia entre las expansiones. Si uno se contrae, y el otro se expande puede haber un efecto neto cero en la dirección axial o radial del tubo flexible, si se seleccionan para compensarse entre sí, según se prefiera. Obsérvese que en aplicaciones criogénicas habrá un gradiente de temperatura a lo largo del tubo flexible, de modo que si se utilizan los mismos materiales en los elementos de agarre interno y externo, el elemento interno se expandirá más que el externo debido a que está más frío. Los elementos de agarre interno y externo se forman preferentemente como espirales: el elemento de agarre interno forma una espiral interna, y el elemento de agarre externo forma una espiral externa, estando dispuesto el cuerpo tubular entre las espirales interna y externa. Las espirales son preferentemente helicoidales. Los pasos de las espirales interna y externa son preferentemente los mismos. Las espirales interna y externa están dispuestas preferentemente de tal manera que están desplazadas entre sí la mitad de la longitud de paso. Los elementos de agarre se forman preferentemente como un alambre, una varilla o un tubo. Los elementos de agarre pueden presentar cualquier sección transversal adecuada, tal como circular, elíptica, cuadrada, rectangular, triangular, etcétera. Se prefiere que la sección transversal sea circular o elíptica.
- La expansión longitudinal al enfriarse tiene lugar a lo largo de la longitud del elemento de agarre, lo que da como resultado que el elemento de agarre tienda a aumentar en longitud. Cuando el elemento de agarre presenta forma de espiral, esto da como resultado un aumento en el diámetro de la espiral cuando los extremos del elemento de agarre están fijos.
- El material que se expande al enfriarse es preferentemente un material compuesto. Los “materiales compuestos” son materiales que están realizados a partir de una combinación de dos o más materiales para dar un conjunto único y realizado a medida de propiedades. La forma más común de material compuesto es una matriz de fibras dentro de

una resina. Las fibras pueden ser continuas con una orientación en la dirección longitudinal o las fibras pueden ser de longitudes cortas en orientación mixta. Las fibras son normalmente fibras de alta resistencia tales como de vidrio E, de vidrio S, de aramida (por ejemplo Kevlar (marca)) o de carbono. La resina encapsula las fibras y puede ser una resina termoplástica tal como un polietileno, una poliimida, una poliamida, un fluoropolímero, poli(cloruro de vinilo) (PVC), poliuretano (PU), polieteretercetona (PEEK) o una resina termoendurecible tal como una resina epoxídica o un poliéster o un éster vinílico o una resina flexible reticulada tal como PU o caucho de silicona. El material compuesto puede ser una construcción laminada con capas de fibras longitudinales en una matriz de resina orientadas en direcciones diferentes para conseguir las propiedades mecánicas deseadas. La utilización de fibras de alta resistencia dentro del material compuesto da como resultado generalmente una construcción con una relación resistencia-peso considerable y por esta razón los materiales compuestos han encontrado aplicación muy extendida en las industrias aerospacial y del automóvil, incluyendo aplicaciones de recipientes de presión.

Muchos de los componentes constituyentes de un material compuesto tal como resina epoxídica no serían adecuados para un servicio criogénico en una forma homogénea voluminosa, principalmente debido a su fragilidad a bajas temperaturas. Sin embargo, cuando los materiales constituyentes se combinan cuidadosamente en forma de fibra y material laminado con otros materiales constituyentes en una matriz, entonces la interacción estructural es tal que pueden superarse las restricciones del material constituyente homogéneo voluminoso.

Se ha encontrado que para mejorar las propiedades criogénicas del tubo flexible según la invención se pueden construir los elementos de agarre, especialmente el elemento de agarre interno, a partir de un material compuesto.

Se ha encontrado que la selección de fibra es importante y se prefiere utilizar carbono, aramida o vidrio, o combinaciones de los mismos. Las fibras pueden combinarse con otras fibras siempre que la combinación presente un efecto neto de expansión en al menos una dirección al enfriarse. Por ejemplo, las resistencias a la tracción representativas, los módulos de tracción y las densidades para fibras de vidrio E, Kevlar-49, carbono MS-LM (resistencia media-módulo bajo) son, en orden: 3450, 3790, 4138 MPa para la resistencia a la tracción; 72, 124, 228 GPa para el módulo de tracción; y 2,6, 1,4, 1,8 g/cc para la densidad.

Se ha encontrado que pueden utilizarse tanto resinas termoendurecibles como termoplásticas, incluyendo resina epoxídica y resina PEEK. La densidad de la resina epoxídica y PEEK son ambas de aproximadamente 1,3 g/cc. Se ha encontrado que utilizando un material compuesto que contiene algunas de las fibras de alta resistencia identificadas anteriormente, en el elemento de agarre, hay una reducción en el peso del tubo flexible.

Se ha encontrado adicionalmente que es ventajoso utilizar un material compuesto para el elemento de agarre, ya que presenta una conductividad térmica inferior en comparación con el acero. Normalmente la conductividad térmica es de aproximadamente 0,1 a 1 W/m⁰K que es al menos un orden de magnitud menor que el acero inoxidable austenítico. Esto es útil en aplicaciones criogénicas.

Se ha encontrado que es particularmente ventajoso utilizar las propiedades bastante inusuales de las fibras de carbono y de ciertas aramiditas, que muestran un CET longitudinal negativo y un CET transversal positivo. Las fibras de aramida son preferentemente una poli(p-fenilentereftalamida), conocida como Kevlar (RTM) o Twaron (RTM). Por ejemplo, el CET longitudinal para el Kevlar-49 es $-2 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ y en la dirección transversal es $68 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$. En una construcción compuesta laminada que contiene estas fibras, la capa se expande en la dirección de la fibra y se contrae transversalmente a medida que se reduce la temperatura. Se observa que se desarrollan fuerzas cortantes internas dentro de una disposición simétrica equilibrada de capas y el resultado es una expansión longitudinal neta al enfriarse. Ajustando la dirección de la fibra es posible controlar la magnitud de la expansión hasta el punto en el que puede lograrse un CET longitudinal efectivo desde cero hasta aproximadamente $-10 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$. El intervalo de CET longitudinal preferido es desde bajo cero (por ejemplo, por debajo de o igual a aproximadamente $-0,01 \text{K}^{-1}$ o aproximadamente $-0,1 \text{K}^{-1}$) hasta $-4 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, más preferentemente de -1×10^{-6} a $-2 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

En la realización preferida, el material que se expande al enfriarse es un material compuesto realizado a partir de fibras de carbono o aramida, especialmente poli(p-fenilentereftalamida) tal como Kevlar (marca) y Twaron (marca), que se expanden a medida que se reduce la temperatura. Las fibras están dispuestas preferentemente sustancialmente de manera unidireccional. Cuando se utiliza para el elemento de agarre interno del tubo flexible, este material mantiene las presiones de contacto con el material textil adyacente y por tanto favorece la integridad del paquete de pared de tubo flexible.

En una realización particularmente ventajosa, el elemento de agarre interno está realizado de un material que se expande al enfriarse, preferentemente un material compuesto; y el elemento de agarre externo está realizado de un material no metálico que presenta propiedades que pueden soportar las cargas y temperaturas a las que se someterá el tubo flexible, tales como polímeros no compuestos, especialmente polietileno de peso molecular ultraalto, y materiales compuestos. Cuando el elemento de agarre externo está realizado de un material compuesto, se prefiere que no sea un material que se expanda al enfriarse.

En una realización particularmente ventajosa, el elemento de agarre interno está realizado de un material que se expande longitudinalmente al enfriarse, preferentemente un material compuesto; y el elemento de agarre externo

está realizado de un material que se contrae al enfriarse, o no cambia sustancialmente de longitud al enfriarse, preferentemente un material compuesto o un material polimérico no compuesto.

La utilización de un material compuesto en el elemento de agarre interno y/o el externo presenta la ventaja adicional de reducir el peso por unidad de longitud del tubo flexible, lo que ayuda a la manipulación. Por ejemplo con un tubo flexible compuesto de diámetro interior de 16" (400 mm) aéreo, cada elemento de agarre está realizado normalmente de alambre de acero inoxidable helicoidal y contribuye aproximadamente a un tercio del peso total por unidad de longitud del tubo flexible. Sustituir sólo el elemento de agarre interno por un material compuesto reduce el peso por unidad de longitud en aproximadamente un cuarto, y sustituir tanto el elemento de agarre interno como el externo por un material compuesto reduce el peso por unidad de longitud en aproximadamente la mitad.

Según un segundo aspecto de la invención se proporciona un tubo flexible que comprende un cuerpo tubular de material flexible dispuesto entre elementos de agarre helicoidales interno y externo, en el que el elemento de agarre interno está realizado de un material compuesto, y el elemento de agarre externo está realizado de un material compuesto o un material polimérico no compuesto.

En este aspecto de la invención, los elementos de agarre interno y externo se forman preferentemente como espirales: el elemento de agarre interno forma una espiral interna, y el elemento de agarre externo forma una espiral externa, estando dispuesto el cuerpo tubular entre las espirales interna y externa. Las espirales son preferentemente helicoidales. Los pasos de las espirales interna y externa son preferentemente los mismos. Las espirales interna y externa están dispuestas preferentemente de tal manera que están desplazadas entre sí la mitad de la longitud de paso. Los elementos de agarre se forman preferentemente como un alambre, una varilla o un tubo. Los elementos de agarre pueden presentar cualquier sección transversal adecuada, tal como circular, elíptica, cuadrada, rectangular, triangular, etcétera. Se prefiere que la sección transversal sea circular o elíptica.

El elemento de agarre interno está realizado preferentemente de un material compuesto que se expande longitudinalmente al enfriarse. Preferentemente el elemento interno está realizado de un material compuesto que incluye fibras de carbono o fibras de aramida, especialmente fibras de poli(p-fenilentereftalamida). Más preferentemente las fibras están dispuestas sustancialmente de manera unidireccional.

El elemento de agarre externo puede realizarse de un material compuesto que se expande al enfriarse, pero preferentemente está realizado de un material que se contrae al enfriarse, o no cambia la longitud al enfriarse, ya que esto proporciona la compresión óptima del cuerpo tubular durante el funcionamiento a temperaturas criogénicas.

El tubo flexible según los aspectos anteriores de la invención descrita anteriormente también puede estar dotado de una o más de las características del tubo flexible ya descrito en el documento WO 01/96772. Esto se describirá en mayor detalle a continuación.

Preferentemente, el tubo flexible comprende además medios de fortalecimiento axial adaptados para reducir la deformación del cuerpo tubular cuando el cuerpo tubular esté sometido a tensión axial, y los medios de fortalecimiento axial están adaptados además para ejercer una fuerza radialmente hacia dentro en al menos parte del cuerpo tubular cuando los medios de fortalecimiento axial estén sometido a tensión axial. La deformación a la rotura del cuerpo tubular y los medios de fortalecimiento axial se sitúa preferentemente dentro del intervalo del 1 al 10%. Más preferentemente la deformación a la rotura es superior al 5% a temperaturas ambiente y criogénica. Además, los materiales del cuerpo tubular y los medios de fortalecimiento axial son compatibles ventajosamente de modo que cada uno de ellos actúa de manera similar cuando están en funcionamiento, de modo que ningún componente esté sometido a excesivos esfuerzos y deformaciones. Esto quiere decir que los materiales del cuerpo tubular y los medios de fortalecimiento axial responden a la deformación de manera similar. Generalmente se necesita una deformación de doblado (para un componente cilíndrico) de al menos el 3% para el tipo de aplicaciones de tubo flexible previstas principalmente por la presente invención. A pesar del deslizamiento entre capas, y el fortalecimiento de componentes orientados helicoidalmente explicará para parte de este deslizamiento, aún habrá una deformación resultante del orden del 1% actuando sobre los componentes estructurales de la pared de tubo flexible. Esto se compara con una deformación elástica típica del 0,2% para metales.

Se prefiere que los medios de fortalecimiento axial estén realizados de un material no metálico, especialmente un material de plástico; los materiales adecuados se tratan en detalle a continuación. Esto es debido a que es improbable que los materiales metálicos presenten las características de deformación deseadas.

Se prefiere que el cuerpo tubular y los medios de fortalecimiento axial comprendan el mismo material, siendo lo más preferible polietileno de peso molecular ultraalto (UHMWPE), tal como se describe más en detalle a continuación.

El cuerpo tubular comprende preferentemente al menos una capa de refuerzo y al menos una capa de sellado. Más preferentemente, existen al menos dos capas de refuerzo con la capa de sellado intercalada entre las mismas. En la realización preferida, las capas de refuerzo y las capas de sellado están enrolladas alrededor del elemento de agarre interno.

ES 2 424 368 T3

Preferentemente se proporciona una capa de refuerzo adicional entre el elemento de agarre externo y los medios de fortalecimiento axial.

5 La fuerza límite de la(s) capa(s) de refuerzo se sitúa preferentemente entre 100 y 700 kN para un tubo flexible de 8" (200 mm) de diámetro. Es preferible que la deformación de doblado a la rotura de la(s) capa(s) de refuerzo esté en el intervalo del 2% al 15%. De manera deseable, la(s) capa(s) de refuerzo adicional(es) es/son del mismo material que los medios de fortalecimiento axial, siendo lo más preferible UHMWPE.

10 Preferentemente, los medios de fortalecimiento axial comprenden una funda generalmente tubular formada por una lámina de material proporcionada de forma tubular, de tal manera que la funda puede mantener la integridad de su forma tubular cuando esté sometida a tensión axial. El tubo flexible puede estar dotado de dos o más fundas tubulares para mejorar adicionalmente el rendimiento del tubo flexible a tensión axial.

15 Se prefiere que los medios de fortalecimiento axial se proporcionen en forma de trenzado generalmente tubular. En esta memoria descriptiva el término "trenzado" se refiere a un material que está formado por dos o más fibras o filamentos que se han entrelazado para formar una estructura alargada. Una característica del trenzado es que puede alargarse cuando está sometido a una tensión axial. Una característica adicional del trenzado es que, cuando se proporciona en forma tubular, su diámetro se reducirá cuando el trenzado esté sometido a tensión axial. Por tanto proporcionando un trenzado tubular alrededor del cuerpo tubular, o dentro de la estructura del cuerpo tubular, el trenzado ejercerá una fuerza radialmente hacia dentro en al menos parte del cuerpo tubular cuando esté sometido a tensión axial.

20 Se prefiere que toda la funda tubular se proporcione en forma de trenzado. Sin embargo, es posible que sólo se proporcionen una o más partes de la longitud de la funda tubular en forma de trenzado.

25 Se prefiere también que el trenzado se extienda alrededor de toda la circunferencia de la funda tubular. Sin embargo, es posible que sólo se proporcione parte de la circunferencia de la funda tubular en forma de trenzado.

30 El trenzado puede proporcionarse en forma biaxial (es decir en la que el trenzado está formado por sólo dos fibras o filamentos entrelazados) o en forma triaxial (es decir en la que existen también fibras o filamentos que se extienden longitudinalmente, para una resistencia axial aumentada).

35 Aunque se prefiere proporcionar los medios de fortalecimiento axial en forma de un trenzado, puede proporcionarse en otra forma que cumpla los requisitos funcionales especificados anteriormente. Por tanto, los medios de fortalecimiento axial pueden proporcionarse como una disposición adecuada de cuerdas o sogas enrolladas helicoidalmente alrededor del cuerpo tubular.

40 Los materiales de construcción del tubo flexible deben seleccionarse para permitir que el tubo flexible tenga un buen rendimiento en el ámbito para el que está previsto. Por tanto, existe la necesidad de que el tubo flexible pueda transportar fluidos a presión a través del mismo sin fuga del fluido a través de las paredes del tubo flexible. También existe la necesidad de que el tubo flexible soporte una flexión repetida, y soporte los esfuerzos axiales provocados por la combinación del peso del tubo flexible y del fluido. Además, si está previsto que el tubo flexible se utilice para transportar fluidos criogénicos, los materiales deben poder funcionar a temperaturas extremadamente bajas sin ninguna reducción significativa en el rendimiento.

45 El objetivo principal de la o de cada capa de refuerzo es soportar los esfuerzos circunferenciales a los que el tubo flexible está sometido durante el transporte de fluidos a través del mismo. Por tanto, cualquier capa de refuerzo que tenga el grado requerido de flexibilidad, y que pueda soportar los esfuerzos necesarios, será adecuada. Además, si está previsto que el tubo flexible transporte fluidos criogénicos, entonces la o cada capa de refuerzo debe poder soportar temperaturas criogénicas.

50 Se prefiere que la o cada capa de refuerzo esté formada por una lámina de material que se ha enrollado de forma tubular enrollando el material de lámina de manera helicoidal. Esto quiere decir que la o cada capa de refuerzo no presenta mucha resistencia a la tensión axial, ya que la aplicación de una fuerza axial tenderá a separar las espiras. La o cada capa de refuerzo puede comprender una única capa continua del material de lámina, o puede comprender dos o más capas continuas individuales del material de lámina. Sin embargo, más normalmente (y dependiendo de la longitud del tubo flexible) la o cada capa del material de lámina estaría formada por una pluralidad de longitudes separadas de material de lámina dispuestas a lo largo de la longitud del tubo flexible.

55 En la realización preferida, cada capa de refuerzo comprende un material textil, más preferentemente un material textil tejido. La o cada capa de refuerzo puede ser un material natural o sintético. La capa o cada capa de refuerzo está formada de manera conveniente por un polímero sintético, tal como un poliéster, una poliamida o una poliolefina. El polímero sintético puede proporcionarse en forma de fibras, o un filamento, a partir del cual se crea el material textil.

60 Cuando la o cada capa de refuerzo comprende un poliéster, entonces es preferentemente poli(tereftalato de etileno).

5 Cuando la o cada capa de refuerzo comprende una poliamida, entonces puede ser una poliamida alifática, tal como un nailon, o puede ser una poliamida aromática, tal como un compuesto de aramida. Por ejemplo, la o cada capa de refuerzo puede ser una poli(p-fenilentereftalamida) tal como KEVLAR (marca).

10 Cuando la o cada capa de refuerzo comprende una poliolefina, entonces puede ser un homopolímero de polietileno, polipropileno o polibutileno, o un copolímero o terpolímero del mismo, y está orientada preferentemente monoaxial o biaxialmente. Más preferentemente, la poliolefina es un polietileno, y más preferentemente el polietileno es un polietileno de peso molecular alto, especialmente UHMWPE.

15 El UHMWPE utilizado en la presente invención presentaría generalmente un peso molecular promedio en peso por encima de 400.000, normalmente por encima de 800.000, y normalmente por encima de 1.000.000. El peso molecular promedio en peso no superaría normalmente aproximadamente 15.000.000. El UHMWPE está caracterizado preferentemente por un peso molecular de desde aproximadamente 1.000.000 hasta 6.000.000. El UHMWPE más útil en la presente invención está orientado de manera favorable y normalmente se ha estirado al menos de 2 a 5 veces en una dirección y al menos de 10 a 15 veces en la otra dirección.

20 El UHMWPE más útil en la presente invención presentará generalmente una orientación paralela superior al 80%, más normalmente superior al 90%, y preferentemente superior al 95%. La cristalinidad será generalmente superior al 50%, más normalmente superior al 70%. Es posible una cristalinidad de hasta del 85 al 90%.

El UHMWPE se describe en, por ejemplo, los documentos US-A-4.344.908, US-A-4.411.845, US-A-4.422.993, US-A-4.430.383, US-A-4.436.689, EP-A-183 285, EP-A- 0 438 831 y EP-A-0 215 507.

25 Es particularmente ventajoso que la o cada capa de refuerzo comprenda un UHMWPE orientado de manera favorable, tal como el disponible de DSM High Performance Fibres BV (una empresa holandesa) bajo el nombre comercial DYNEEMA, o el disponible de la sociedad estadounidense AlliedSignal Inc. bajo el nombre comercial SPECTRA.

30 Se dan a conocer detalles adicionales sobre DYNEEMA en un folleto comercial titulado "DYNEEMA; the top performance in fibers; properties and application" distribuido por DSM High Performance Fibres BV, edición 02/98. Se dan a conocer detalles adicionales sobre SPECTRA en un folleto comercial titulado "Spectra Performance Materials" distribuido por AlliedSignal Inc., edición 5/96. Estos materiales han estado disponibles desde los años 80.

35 En la realización preferida, la o cada capa de refuerzo comprende un material textil tejido formado por fibras dispuestas en una dirección de trama y urdimbre. Se ha encontrado que es particularmente ventajoso si la o cada capa de refuerzo está dispuesta de tal manera que la dirección de urdimbre del material textil forma un ángulo de menos de o igual a 20° con la dirección axial del tubo flexible; también se prefiere que este ángulo sea superior o igual a 5°. En la realización preferida, la o cada capa de refuerzo está dispuesta de tal manera que la dirección de urdimbre del material textil forma un ángulo de desde 5° hasta 15°, siendo lo más preferible de aproximadamente 10°, con la dirección axial del tubo flexible. La tolerancia en estas figuras es aproximadamente de 1 a 2°.

45 Los medios de fortalecimiento axial también pueden estar formados por el mismo material que la o cada capa de refuerzo. Por tanto, estará claro que los medios de fortalecimiento axial, la o cada capa de refuerzo y la capa de sellado pueden estar formados todos a partir del mismo compuesto básico. Sin embargo, la forma del compuesto debe ser diferente para proporcionar la función requerida, es decir, los medios de fortalecimiento axial proporcionan una función de refuerzo axial, la o cada capa de refuerzo proporciona refuerzo frente a esfuerzos circunferenciales, y la capa de sellado proporciona una función de sellado. Se ha encontrado que los materiales de UHMWPE son los más adecuados, particularmente los productos DYNEEMA y SPECTRA. Se encontró que estos materiales también funcionan bien en condiciones criogénicas. Los parámetros preferidos del UHMWPE (intervalo de peso molecular, etc.) comentados anteriormente en relación con las capas de refuerzo, son también apropiados para los medios de fortalecimiento axial. A este respecto debe observarse, sin embargo, que los parámetros del UHMWPE utilizado en los medios de fortalecimiento axial no tienen que ser los mismos que los parámetros del UHMWPE utilizado en las capas de refuerzo.

55 Sería posible que los medios de fortalecimiento axial se proporcionaran dentro de las capas del cuerpo tubular. Sin embargo se prefiere que los medios de fortalecimiento axial se coloquen entre el cuerpo tubular y el elemento de agarre externo. En otra realización preferida, los medios de fortalecimiento axial se proporcionan dentro de las capas del cuerpo tubular, y se proporciona un medio de fortalecimiento axial adicional también entre el cuerpo tubular y el elemento de agarre externo.

60 La finalidad de la capa de sellado es principalmente impedir la fuga de fluidos transportados a través del cuerpo tubular. Por tanto, cualquier capa de sellado que presente el grado requerido de flexibilidad, y que pueda proporcionar la función de sellado deseada, será adecuada. Además, si está previsto que el tubo flexible transporte fluidos criogénicos, entonces la capa de sellado debe poder soportar temperaturas criogénicas.

La capa de sellado puede realizarse de los mismos materiales básicos que la o cada capa de refuerzo. Como alternativa, la capa de sellado puede ser un fluoropolímero, tal como: politetrafluoroetileno (PTFE); un copolímero de etileno propileno fluorado, tal como un copolímero de hexafluoropropileno y tetrafluoroetileno (tetrafluoroetileno-perfluoropropileno) disponible de DuPont Fluoroproducts bajo el nombre comercial Teflon FEP; o un hidrocarburo fluorado - perfluoroalcoxilo- disponible de DuPont Fluoroproducts bajo el nombre comercial Teflon PFA. Otro material adecuado es una película de etileno-clorotrifluoroetileno (ECTFE), particularmente Halar ECTFE. Estas películas pueden realizarse por extrusión o por soplado.

Se prefiere que la capa de sellado esté formada por una lámina de material que se ha enrollado de forma tubular enrollando el material de lámina de manera helicoidal. Como con las capas de refuerzo, esto quiere decir que la o cada capa de sellado no presenta mucha resistencia a la tensión axial, ya que la aplicación de una fuerza axial tenderá a separar las espiras. La capa de sellado puede comprender una única capa continua del material de lámina, o puede comprender dos o más capas continuas individuales del material de lámina. Sin embargo, más normalmente (y dependiendo de la longitud del tubo flexible) la o cada capa del material de lámina estaría formada por una pluralidad de longitudes separadas de material laminado dispuestas a lo largo de la longitud del tubo flexible. Si se desea, la capa de sellado puede comprender uno o más manguitos de sellado termocontraíbles (es decir de forma tubular) que están dispuestos sobre la capa de refuerzo interna.

Se prefiere que la capa de sellado comprenda una pluralidad de capas de película solapadas. Preferentemente habría al menos 2 capas, más preferentemente al menos 5 capas, y todavía más preferentemente al menos 10 capas. En la práctica, la capa de sellado puede comprender 20, 30, 40, 50, o más capas de película. El límite superior del número de capas depende del tamaño global del tubo flexible, pero no es probable que se requieran más de 100 capas. Normalmente, serán suficientes 50 capas, como máximo. El grosor de cada capa de película estaría normalmente en el intervalo de 50 a 100 micrómetros.

Por supuesto, se apreciará que puede proporcionarse más de una capa de sellado.

En una realización, la capa de sellado comprende al menos dos películas poliméricas, estando realizada una de las películas de un primer polímero y estando realizada otra de las películas de un segundo polímero diferente del primer polímero.

En esta realización, una de las películas poliméricas es más dura que la otra de las películas, por lo que una deformación elástica diferencial está presente en las propiedades del material a la temperatura y presión de funcionamiento. Preferentemente la película externa es más dura que la película interna. El efecto de esto es que en caso de por desgracia suceda una rotura del tubo flexible, hay una fractura controlada de la capa de sellado de tal manera que el polímero externo más duro se rompe mientras que el polímero más dúctil mantiene la presión interna durante un tiempo finito, permitiendo que la presión se disipe gradualmente.

En esta realización preferida, la deformación máxima a la rotura es superior al 100% a temperatura ambiente para la capa más dúctil, y es al menos un 20% menor para la otra capa.

Cada película polimérica de la capa de sellado es preferentemente una poliamida, una poliolefina o un fluoropolímero.

Cuando la película polimérica de la capa de sellado comprende una poliamida, entonces puede ser una poliamida alifática, tal como un nailon, o puede ser una poliamida aromática, tal como un compuesto de aramida.

Se prefiere que una de las películas poliméricas de la capa de sellado sea una poliolefina y que otra de las películas poliméricas de la capa de sellado sea un fluoropolímero.

Las poliolefinas adecuadas incluyen un homopolímero de polietileno, polipropileno o polibutileno, o un copolímero o terpolímero de los mismos. Preferentemente la película de poliolefina está orientada moxoaxial o biaxialmente. Más preferentemente, la poliolefina es un polietileno, y más preferentemente el polietileno es un polietileno de peso molecular alto, especialmente el UHMWPE, que se describió en mayor detalle anteriormente. Los parámetros preferidos del UHMWPE (intervalo de peso molecular, etc.) comentados anteriormente en relación con las capas de refuerzo, son también apropiados para la capa de sellado. A este respecto debe observarse, sin embargo, que los parámetros del UHMWPE utilizados en la capa de sellado no tienen que ser los mismos que los parámetros del UHMWPE utilizados en las capas de refuerzo.

Puesto que se pretende que la capa de sellado proporcione una función de sellado, la capa de sellado debe proporcionarse en forma de una película que es sustancialmente impermeable a los fluidos transportados. Por tanto, el UHMWPE orientado de manera favorable tiene que proporcionarse en una forma que presente propiedades de sellado satisfactorias. Estos productos se proporcionan normalmente en forma de un bloque sólido que puede procesarse adicionalmente para obtener el material con la forma requerida. La película puede producirse cortando una película delgada de la superficie del bloque sólido. Alternativamente las películas pueden ser películas sopladas de UHMWPE.

5 Los fluoropolímeros adecuados incluyen politetrafluoroetileno (PTFE); un copolímero de etileno propileno fluorado, tal como un copolímero de hexafluoropropileno y tetrafluoroetileno (tetrafluoroetileno-perfluoropropileno) disponible de DuPont Fluoroproducts bajo el nombre comercial Teflon FEP; o un hidrocarburo fluorado - perfluoralcoxilo - disponible de DuPont Fluoroproducts bajo el nombre comercial Teflon PFA. Otro material adecuado es el ECTFE, particularmente el Halar ECTFE. Estas películas pueden realizarse por extrusión o soplado.

10 Preferentemente, la capa de sellado comprende una pluralidad de capas de cada una de las películas poliméricas. En una realización, las capas pueden estar dispuestas de modo que los polímeros primero y segundo se alternan a través del grosor de la capa de sellado. Sin embargo, esta no es la única disposición posible. En otra disposición todas las capas del primer polímero pueden estar rodeadas por todas las capas del segundo polímero, o viceversa.

Por supuesto se apreciará que puede proporcionarse más de una de las capas de sellado.

15 Preferentemente, la capa de sellado comprende además al menos una capa que comprende parcialmente o por completo un metal, un óxido de metal o una mezcla de los mismos. En esta memoria descriptiva las referencias a las películas que contienen metal incluyen películas que contienen óxido de metal, a menos que se indique lo contrario. Por tanto, la capa de metal puede ser una capa de película metálica (es decir una capa separada que consiste sustancialmente por completo en un metal, un óxido de metal o una mezcla de los mismos), o una película metálica revestida de polímero o a película de polímero metalizada. Se prefiere que la capa de metal sea una película metálica revestida de polímero. El metal puede ser, por ejemplo, óxido de aluminio. El polímero puede ser, por ejemplo, un poliéster.

25 Las películas de metal revestidas de polímero adecuadas incluyen las películas disponibles de HiFi Industrial Film, de Stevenage, Inglaterra, bajo los nombres comerciales MEX505, MET800, MET800B y MET852; se prefiere MET800B.

30 Una capa de metal adicional puede estar dispuesta hacia fuera de la capa de sellado. Preferentemente, la capa de metal adicional está dispuesta entre el cuerpo tubular y el elemento de agarre externo. También pueden proporcionarse aquí capas de lana de roca para mejorar el aislamiento térmico, preferentemente entre la capa de sellado y la capa de metal externa - el objetivo de esto es crear un anillo térmico entre las dos capas de metal.

35 La película que contiene metal es reflectante y por tanto reduce la pérdida de calor o ganancia de calor; esto es especialmente útil para las aplicaciones criogénicas. Además la película que contiene metal proporciona buenas propiedades de barrera, reduciendo de este modo la transmisión de vapor; esto es útil para evitar la pérdida de material transportando gases.

40 Otra de las características de la capa de sellado es que comprende un UHMWPE. Si la capa de sellado de UHMWPE está formada por manguitos termocontraíbles, no es esencial que los manguitos estén realizados de materiales diferentes, pero deben realizarse preferentemente de UHMWPE.

Preferentemente, la capa de sellado comprende al menos dos películas poliméricas de materiales diferentes, y al menos una de las películas comprende un polietileno de peso molecular ultraalto.

45 Otra realización preferible de la invención se refiere a una matriz de resina curada dispuesta alrededor del cuerpo tubular, estando incrustado el elemento de agarre externo al menos parcialmente en la matriz de resina para restringir el movimiento relativo entre el elemento de agarre externo y el resto del tubo flexible.

50 La matriz de resina curada debe presentar una flexibilidad suficiente para permitir que el tubo flexible se doble en la medida requerida para las aplicaciones específicas del tubo flexible. Claramente, algunas aplicaciones pueden requerir más flexibilidad que otras.

55 La matriz de resina comprende preferentemente un polímero sintético, tal como poliuretano. Se prefiere especialmente que la matriz de resina esté realizada de un material que, antes de curarse, pueda aplicarse en forma líquida al tubo flexible. Normalmente, la resina no curada puede aplicarse al tubo flexible mediante pulverización, vertido o pintado. Esto permite aplicar la resina no curada sobre la superficie externa del cuerpo tubular y los elementos externos de agarre, y a continuación curarla *in situ* para formar un revestimiento sólido, flexible. El mecanismo de curado puede ser luz, humedad, etc.

60 La matriz de resina puede unirse a una capa bajo el elemento de agarre externo y también a cualquier capa proporcionada en la superficie externa de la matriz de resina. Se prefiere que al menos una de las capas adyacentes a la matriz de resina curada pueda soportar temperaturas criogénicas, de modo que, si la matriz de resina se agrieta debido a las temperaturas criogénicas, la capa adyacente sostenga la matriz de resina en virtud de la adhesión entre la matriz de resina y la capa adyacente. La estructura más estable se consigue cuando ambos lados de la matriz de resina se unen a capas adyacentes.

65

También se ha encontrado que materiales determinados pueden proporcionar al tubo flexible un aislamiento especialmente bueno, particularmente a temperaturas criogénicas. En particular, se ha encontrado que los materiales textiles formados por fibras de basalto proporcionan aislamiento particularmente bueno.

5 Materiales textiles de fibra de basalto adecuados están disponibles de Sudaglass Fiber Company bajo las designaciones comerciales BT-5, BT-8, BT-10, BT-11 y BT-13. El grosor preferido del material textil es desde aproximadamente 0,1 mm hasta aproximadamente 0,3 mm. Si se desea, puede emplearse una pluralidad de capas del material textil de basalto.

10 También se ha encontrado que las propiedades de aislamiento de materiales textiles de basalto mejoran a compresión, por tanto se prefiere proporcionar una capa de compresión alrededor del material textil de basalto, que sirve para comprimir la capa de basalto.

15 La capa de aislamiento puede incluir además capas realizadas de otro material aislante, tales como espumas poliméricas, además de la(s) capa(s) de material textil de basalto.

20 Se prefiere que la capa de aislamiento incluya además al menos una capa de refuerzo. La capa de refuerzo puede comprender un polímero sintético, tal como un poliéster, una poliamida o una poliolefina. La capa de refuerzo puede realizarse de los mismos materiales que las capas de refuerzo interna y externa del cuerpo tubular, que se han descrito anteriormente. Se prefiere particularmente que la capa de refuerzo de la capa de aislamiento sea un polietileno de peso molecular ultraalto (UHMWPE), tal como DYNEMA o SPECTRA, tal como se describió anteriormente.

25 Otra realización preferida de la invención implica una capa que comprende un material de plástico que presenta burbujas de gas en el mismo.

30 El material de plástico es preferentemente un poliuretano. Se prefiere que el material de plástico se aplique al cuerpo tubular pulverizando el material de plástico, en forma líquida, sobre la superficie del cuerpo tubular, dejando a continuación que cure. De nuevo, el curado puede tener lugar simplemente dejando que el tubo flexible revestido permanezca al aire libre, o puede efectuarse, o acelerarse, mediante medios activos tales como el calentamiento.

Las burbujas de gas pueden incorporarse inyectando el gas en el material de plástico, antes de la pulverización, mientras todavía está en forma líquida.

35 La capa resultante de material de plástico que contiene gas presenta algunas de las propiedades estructurales beneficiosas del propio material de plástico, tal como buena resistencia al desgaste y al estrujamiento, pero también ha mejorado sustancialmente las propiedades de aislamiento. También presenta una flotabilidad mejorada provocada por la presencia del gas, y puede utilizarse para producir un tubo flexible que puede flotar en el agua y con flotabilidad distribuida uniformemente a lo largo de su longitud.

40 Preferentemente el material de plástico que contiene gas se cubre mediante una capa adicional de material de plástico, que no contenga ninguna cantidad sustancial de burbujas de gas. Preferentemente esta capa adicional de material de plástico se une de manera fija a la capa que contiene gas. La capa adicional de material de plástico puede ser del mismo material de plástico que la capa que contiene gas. Preferentemente la capa adicional de material de plástico comprende un poliuretano.

Ambas capas de material de plástico pueden aplicarse mediante técnicas distintas a la pulverización, tales como el vertido, el pintado o la extrusión.

50 Cualquier gas adecuado puede utilizarse para formar las burbujas, incluyendo aire, nitrógeno o un gas inerte.

La gravedad específica del poliuretano, antes de la aeración, es de manera preferible aproximadamente 1,2.

55 El tubo flexible presenta normalmente una densidad relativa de aproximadamente 1,8 sin la capa que contiene gas. Preferentemente el tubo flexible presenta una densidad relativa total global de menos de 1, preferentemente menos de 0,8, tras la aplicación de la capa que contiene gas. El grosor de revestimiento de PU puede ser, por ejemplo, aproximadamente de 4 a 8 mm, de manera preferible aproximadamente 6 mm. Las burbujas de gas presentan preferentemente menos de aproximadamente 2 mm de diámetro.

60 En particular la invención puede incluir una capa que comprende una matriz de resina curada, tal como se describió anteriormente, además de una capa que contiene gas. En esta construcción, la capa que contiene gas estaría dispuesta normalmente hacia fuera de la matriz de resina curada. Es posible que la capa que contiene gas sustituya a la matriz de resina curada, tal que la capa que contiene gas tenga los elementos de agarre incrustados en la misma para restringir el movimiento relativo de los elementos externos de agarre.

65 El tubo flexible puede estar dotado de un elemento de encaje de extremo en cada extremo del mismo. El elemento

de encaje de extremo puede ser del tipo dado a conocer en nuestras solicitudes de patente anteriores WO 01/96772 y WO 04/079248, cuyos contenidos se incorporan como referencia.

5 El tubo flexible según la invención puede proporcionarse para su utilización en una amplia variedad de condiciones, tales como temperaturas por encima de 100°C, temperaturas desde 0°C hasta 100°C y temperaturas por debajo de 0°C. Con una elección adecuada de material, el tubo flexible puede utilizarse a temperaturas por debajo de -20°C, por debajo de -50°C o incluso por debajo de -100°C. Por ejemplo, para el transporte de GNL, el tubo flexible puede tener que funcionar a temperaturas bajas de hasta -170°C, o incluso inferiores. Además, también se contempla que el tubo flexible pueda utilizarse para transportar oxígeno líquido (por ejemplo -183°C) o nitrógeno líquido (por ejemplo -196°C), en cuyo caso el tubo flexible puede tener que funcionar a temperaturas de -200°C o inferiores.

15 El tubo flexible según la invención también puede proporcionarse para su utilización en una variedad de trabajos diferentes. Normalmente, el diámetro interno del tubo flexible oscilará entre aproximadamente 2 pulgadas (51 mm) y aproximadamente 24 pulgadas (610 mm), más normalmente entre aproximadamente 8 pulgadas (203 mm) y aproximadamente 16 pulgadas (406 mm). El diámetro de tubo flexible es normalmente al menos 4 pulgadas (102 mm), más normalmente al menos 6 pulgadas (152 mm).

20 En general, la presión de funcionamiento del tubo flexible estaría en el intervalo desde aproximadamente 500 kPa manométricos hasta aproximadamente 4000 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 mayor). El caudal volumétrico depende del medio fluido, la presión y el diámetro interno. Caudales desde 1000 m³/h hasta 12000 m³/h son típicos.

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

Ahora se hace referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

30 la figura 1 es una vista en perspectiva de un tubo flexible según la invención; y
la figura 2 es una vista en sección transversal esquemática del tubo flexible mostrado en la figura 1.

35 Brevemente, el tubo flexible comprende elementos de agarre interno y externo alargados 102 y 104, que están dispuestos preferentemente de forma helicoidal en espiral, y son preferentemente alambres. Un cuerpo 106 tubular y un trenzado 108 de refuerzo axial están dispuestos entre los elementos de agarre 102 y 104; el trenzado 108 rodea el cuerpo 106 tubular. El cuerpo tubular comprende una capa de refuerzo interna 110 y una capa de refuerzo externa 112 y una capa de sellado 114 dispuesta entre las capas de refuerzo interna y externa 110, 112. Una capa protectora/aislante externa 116 rodea el trenzado 108. Los extremos del tubo flexible se sellan con un elemento de encaje 200 de extremo.

40 El elemento de agarre interno 102 está realizado preferentemente de un material compuesto que se expande longitudinalmente al enfriarse, mientras que el elemento de agarre externo 104 está realizado preferentemente de un material compuesto o un material polimérico no compuesto que se contrae al enfriarse.

45 Se apreciará que la invención descrita anteriormente puede modificarse dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Tubo (100) flexible que comprende un cuerpo (106) tubular de material flexible dispuesto entre unos elementos de agarre alargados internos y externos (102, 104), caracterizado porque al menos uno de los elementos de agarre está realizado a partir de un material que, al enfriarse, se expande en la dirección longitudinal del elemento de agarre.
- 10 2. Tubo flexible según la reivindicación 1, en el que tanto el elemento de agarre interno como el externo están realizados a partir de un material que se expande al enfriarse.
3. Tubo flexible según la reivindicación 1, en el que sólo el elemento de agarre interno (102) está realizado a partir de un material que se expande al enfriarse.
- 15 4. Tubo flexible según la reivindicación 1, en el que el elemento de agarre externo (104) está realizado a partir de un material que se contrae al enfriarse, o no cambia sustancialmente de longitud al enfriarse.
5. Tubo flexible según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento de agarre interno está realizado a partir de un material compuesto.
- 20 6. Tubo flexible según la reivindicación 5, en el que el elemento de agarre interno está realizado a partir de un material compuesto que incluye fibras de carbono o aramida.
7. Tubo flexible según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento de agarre externo está realizado a partir de un material compuesto o un material polimérico no compuesto.
- 25 8. Tubo (100) flexible que comprende un cuerpo (106) tubular de material flexible dispuesto entre unos elementos de agarre interno y externo (102, 104), caracterizado porque el elemento de agarre interno (102) está realizado a partir de un material compuesto que se expande al enfriarse y el elemento de agarre externo (104) está realizado a partir de un material compuesto o un material polimérico no compuesto.
- 30 9. Tubo flexible según la reivindicación 8, en el que el elemento de agarre externo (104) está realizado a partir de un material que se contrae al enfriarse, o que no cambia sustancialmente de longitud al enfriarse.
10. Tubo flexible según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los elementos de agarre internos y externos están formados a modo de espirales.
- 35 11. Tubo flexible según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los elementos de agarre interno y externo son helicoidales.
- 40 12. Tubo flexible según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cuerpo (106) tubular comprende una capa de refuerzo y una capa de sellado.
13. Tubo flexible según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cuerpo (106) tubular comprende una capa de sellado (114) dispuesta entre unas capas de refuerzo internas y externas (110, 112).
- 45 14. Tubo flexible según la reivindicación 12 o 13, en el que la capa o cada capa de refuerzo está enrollada alrededor del elemento de agarre interno (102).
- 50 15. Tubo flexible según la reivindicación 12, 13 o 14, en el que una pluralidad de capas de sellado están enrolladas alrededor del elemento de agarre interno.
16. Tubo flexible según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además unos medios de fortalecimiento axial.
- 55 17. Tubo flexible según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios de fortalecimiento axial comprenden un trenzado (108) tubular que se extiende a lo largo de al menos parte de la longitud del tubo flexible.
18. Tubo flexible según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un elemento de encaje de extremo fijado a cada extremo del tubo flexible.
- 60 19. Tubo flexible según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el intervalo de CET longitudinal para cada elemento de agarre que se expande al enfriarse está comprendido entre bajo cero y $-4 \times 10^{-60} \text{K}^{-1}$.

Fig.1.

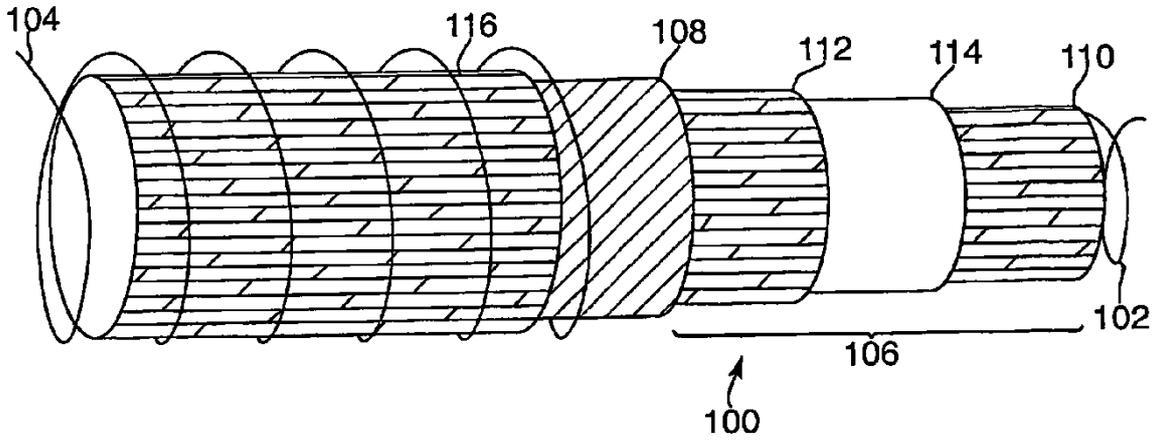


Fig.2.

