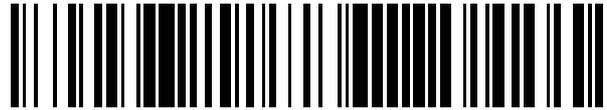


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 436 617**

51 Int. Cl.:

F16L 59/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.08.2007 E 07789189 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2013 EP 2059711**

54 Título: **Mejoras relacionadas con un tubo flexible**

30 Prioridad:

11.08.2006 GB 0616053

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

03.01.2014

73 Titular/es:

**BHP BILLITON PETROLEUM PTY LTD (100.0%)
(A.C.N. 006918832), 180 Lonsdale Street
Melbourne VIC 3000, AU**

72 Inventor/es:

**WITZ, JOEL AARON y
COX, DAVID CHARLES**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 436 617 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 un tubo flexible.

5 La presente invención se refiere a un tubo flexible, y más particularmente se refiere un tubo flexible adecuado para su utilización en aplicaciones criogénicas.

Existen muchos sistemas para transportar fluidos entre una estructura mar adentro tal como un barco u otra plataforma y una tubería bajo el mar. Los ejemplos de tales sistemas incluyen:

10 (1) El sistema convencional de amarre de varias boyas (CMBM). En este sistema, un conducto ascendente discurre directamente desde la estructura mar adentro hasta la tubería, con boyas de soporte dispuestas a intervalos a lo largo de la longitud del tubo flexible.

15 (2) El sistema de amarre único a una sola torre (STM). En este sistema, una torre de amarre se fija al lecho marino y se extiende hasta la superficie del mar. La torre de amarre soporta un conducto ascendente que se extiende desde la superficie del mar hasta la tubería. Un tubo flexible u otra conducción puede extenderse desde la estructura mar adentro y conectarse al extremo del tubo flexible en la parte superior de la torre de amarre.

20 (3) El sistema de amarre permanente de una sola ancla (SALM). En este sistema, una boya está ubicada cerca de la estructura en alta mar, estando la boya unida a, y soportando, una unidad de conector ubicada en o cerca del lecho marino. Un conducto ascendente se extiende desde la estructura mar adentro hasta la unidad de conexión, luego desde la unidad de conexión hasta la tubería. Una sección de conducción adicional discurre desde la unidad de conector hasta la tubería.

25 (4) El sistema de amarre permanente de anclaje en catenaria (CALM). En este sistema, una boya está ubicada cerca de la estructura en alta mar. Un conducto ascendente discurre desde la boya hasta una unidad de conector subacuática ubicada habitualmente en o cerca del lecho marino. Una sección de conducción adicional discurre desde la unidad de conector hasta la tubería. Un tubo flexible u otra conducción puede extenderse desde la estructura mar adentro y conectarse al extremo del tubo flexible en la boya. Existen varias configuraciones del sistema CALM incluyendo el sistema "S abrupta" ("Steep S"), el sistema "S perezosa" ("Lazy S") y el sistema "farol chino" ("Chinese Lantern").

35 Todos los sistemas descritos anteriormente se conocen bien en la materia, y existen otros posibles sistemas que no se han descrito anteriormente tales como, por ejemplo, la utilización de una estructura mar adentro intermedia. La característica esencial de todos estos sistemas es que está previsto un conducto ascendente para suministrar fluidos desde una estructura en alta mar, tal como un barco, a una estructura subacuática, tal como una tubería. La configuración exacta del conducto ascendente, y de la estructura de soporte para el conducto ascendente, puede variarse dependiendo de las condiciones prevalecientes en la ubicación en alta mar particular. Dependiendo de los detalles particulares del sistema, el conducto ascendente comprende secciones sumergidas, flotantes y aéreas.

40 También existen sistemas que implican la utilización de una boya sumergida, tal como se describe, por ejemplo, en el documento WO 96/36592. También existen sistemas que implican la utilización de una boya sumergida que puede moverse verticalmente, tal como los descritos en el documento WO 93124731, y, más recientemente, en el documento WO 2006/044053 que implica esencialmente la utilización del sistema descrito en el documento WO 93/24731 para transportar fluidos criogénicos.

45 Todos estos tipos de sistema utilizan un tubo flexible de caucho como conducto ascendente. Un tubo flexible de caucho típico presenta la siguiente estructura:

50 (1) Una capa de revestimiento compuesta por caucho.

(2) Múltiples capas de refuerzo de acero de alta resistencia aplicadas en espiral o cordones de refuerzo poliméricos; éstos proporcionan resistencia a carga exterior y presión.

55 (3) Un alambre de acero helicoidal en la parte exterior de la capa de refuerzo, estando el alambre helicoidal incrustado dentro de una matriz de caucho.

60 (4) Capas de refuerzo adicionales de acero de alta resistencia aplicadas en espiral o cordones de refuerzo poliméricos.

(5) Una cubierta de caucho.

65 Se apreciará que existen numerosas variaciones de esta estructura tales como la inclusión de una carcasa metálica resistente al colapso para aumentar la profundidad de inmersión, una corona anular para proporcionar una barrera

doble entre los fluidos internos y el mar, material para proporcionar flotabilidad y aislamiento, y la construcción de la cubierta exterior para proporcionar rigidez variable a lo largo de la longitud del tubo flexible de modo que ayude a impedir una curvatura excesiva.

5 Se clasifican habitualmente los tubos flexibles de caucho como de construcción enlazada. Una posible variación es utilizar una conducción flexible convencional de construcción no enlazada, particularmente en las secciones sumergidas del conducto ascendente. Una conducción flexible típica presenta la siguiente estructura:

10 (1) Una carcasa metálica de acero inoxidable interior para la resistencia al colapso.

(2) Una capa de revestimiento compuesta por un termoplástico tal como, por ejemplo, polietileno o poliamida.

15 (3) Múltiples capas de refuerzo de alambres de acero de alta resistencia aplicados en espiral; éstos proporcionan resistencia a carga exterior y presión.

(4) Una capa opcional de aislamiento aplicado en espiral.

20 (5) Una cubierta exterior compuesta por un material termoplástico adecuado tal como, por ejemplo, polietileno o poliamida.

La American Petroleum Institute's Recommended Practice For Flexible Pipe describe en cierto detalle construcciones de tubo flexible enlazados y no enlazados y su utilización en el entorno de alta mar.

25 Los tubos flexibles de caucho son muy adecuados para su utilización en los sistemas descritos anteriormente, ya que son muy tenaces y robustos, y se sabe que pueden soportar las condiciones hostiles en las que se espera que operen. Los tubos flexibles de caucho también son flexibles y pueden curvarse a radios de curvatura pequeños en comparación con su diámetro exterior. Sin embargo, existe un problema con los tubos flexibles de caucho porque existe un límite en la menor temperatura a la que pueden operar eficazmente. Para caucho normal, la menor temperatura operativa es de aproximadamente -60°C. Existen cauchos especiales disponibles que pueden operar a 30 temperaturas de hasta aproximadamente -100°C. Sin embargo, los tubos flexibles de caucho no pueden funcionar eficazmente a temperaturas inferiores a aproximadamente -100°C.

35 Esto quiere decir que los tubos flexibles de caucho no son adecuados para aplicaciones que impliquen el transporte de fluidos a temperaturas inferiores a aproximadamente -100°C. En particular, tales tubos flexibles no son adecuados para el transporte de gas natural licuado (GNL), lo que normalmente requiere la capacidad de operar a 40 temperaturas de tan sólo aproximadamente -162°C.

Tal como se indicó anteriormente, el documento WO 2006/044053 da a conocer un sistema para suministrar fluidos criogénicos desde un barco hasta una ubicación subacuática utilizando un sistema que utiliza una boya que se 45 mueve verticalmente. Esta patente concibe diversos tipos posibles de conducto ascendente para su utilización con el sistema, en particular:

45 (1) La utilización de una conducción submarina convencional revestida con una aleación de níquel conocida como INVAR (marca registrada).

(2) La utilización de un tubo flexible de carga criogénica convencional reforzado estructuralmente para resistir 50 fuerzas hidrostáticas.

(3) Una construcción de conducción en conducción, que implica esencialmente la utilización de dos 55 conducciones metálicas concéntricas.

(4) Una disposición de secciones de conducción rígidas aisladas, siendo normalmente las conducciones 60 aleaciones de alto contenido de níquel, aceros inoxidables austeníticos y/o aluminio.

55 Sin embargo, esta patente no proporciona ningún detalle sobre la construcción específica de un conducto ascendente de trabajo adecuado para su utilización en el transporte de fluidos criogénicos por debajo de la superficie del mar. Además, esta patente se refiere en parte al transporte de fluidos no criogénicos que presentan 60 temperaturas en el intervalo de -28,9°C a -100°C, que pueden transportarse perfectamente eficazmente con un tubo flexible de caucho convencional.

Otras patentes que se refieren al problema de tuberías submarinas criogénicas incluyen los documentos EP1428748A1, GB2186657A, GB2408307A, US4826354A1 y WO2005/119150A2.

65 La construcción de un tubo flexible que puede transportar fluidos criogénicos por debajo del mar es un problema técnico desde hace mucho tiempo. Aunque patentes, tales como las mencionadas anteriormente, dan a conocer

soluciones al problema en términos generales, en la práctica no hay soluciones disponibles comercialmente, debido a la dificultad y los costes asociados con la construcción del conducto ascendente.

5 Es un objetivo de la invención proporcionar un tubo flexible mejorado para su utilización en la conducción de fluidos criogénicos.

Es un objetivo particular de la presente invención proporcionar un tubo flexible que puede transportar fluidos criogénicos por debajo de la superficie del mar.

10 En líneas generales, la invención se refiere a un tubo flexible que comprende un tubo exterior dispuesto alrededor de una estructura tubular interior. El tubo exterior es un tubo flexible de caucho, mientras que la estructura tubular interior se refiere a toda la estructura prevista dentro del tubo exterior. En particular, la estructura tubular interior incluye un denominado tubo flexible de material compuesto o un tubo flexible de fuelle, en combinación con cualquier aislamiento extra necesario para proteger el tubo exterior frente a la baja temperatura del fluido criogénico que fluye dentro de la estructura tubular interior. La estructura tubular interior puede incluir aislamiento además del efecto de aislamiento proporcionado por el tubo flexible de material compuesto, y también incluye cualquier espacio anular definido entre el tubo exterior y la estructura tubular interior.

20 Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un tubo flexible tal como se expone en la reivindicación 1 adjunta.

25 En este aspecto de la invención, la estructura tubular interior comprende esencialmente un tubo flexible de material compuesto, mientras que el tubo exterior comprende un tubo flexible de caucho. Tanto el tubo flexible de material compuesto como el tubo flexible de caucho se conocen bien en la materia. Antes de la invención, no se contempló colocar dos tipos del tubo flexible juntos con el fin de resolver los problemas implicados en el transporte de fluidos criogénicos subacuáticos. Se describen ejemplos del tubo flexible de material compuesto en, por ejemplo, los documentos WO01/96772, WO 2004/044472, WO 2004/079248 y GB-A-2070725. El tubo flexible de material compuesto se conoce para su utilización en el transporte de fluidos criogénicos, pero no presenta la robustez asociada con el tubo flexible de caucho, y por tanto no es adecuado para su utilización en el transporte de fluidos entre la superficie del mar y el lecho marino.

35 Es una característica importante de la invención que la(s) capa(s) de caucho en el tubo exterior estén protegidas adecuadamente frente a la temperatura de los fluidos criogénicos que estén transportándose a través de la estructura tubular interior. En el caso de cauchos normales que presentan una temperatura operativa de hasta -60°C, la temperatura de superficie en la capa de caucho más interior del tubo exterior no debe ser menor que -60°C. En el caso de cauchos especiales que presentan una temperatura operativa de hasta -100°C, la temperatura de superficie en la capa de caucho más interior del tubo exterior no debe ser menor que -100°C.

40 El aislamiento requerido puede lograrse de diversas formas. Una forma es basarse únicamente en el aislamiento proporcionado por el cuerpo tubular de la estructura tubular interior. Los materiales del cuerpo tubular pueden ser tales que proporcionen el aislamiento requerido. Además, en la forma de realización preferida, los materiales del cuerpo tubular se forman envolviendo múltiples capas alrededor de un mandril, en un procedimiento que deja una determinada cantidad de aire dentro de las capas, lo que proporciona aislamiento adicional.

45 En otra forma de realización, la estructura tubular interior está dotada de una capa de aislamiento formada por un material aislante. La capa de aislamiento puede ser una capa especial del cuerpo tubular, o puede ser una capa formada alrededor del elemento de agarre exterior.

50 En otra forma de realización, está prevista una capa de aislamiento formada por un material aislante entre la estructura tubular interior y el tubo exterior.

55 En otra forma de realización el aislamiento puede proporcionarse mediante un material aislante particulado (por ejemplo, perlas) dispuesto en el espacio entre la estructura tubular interior y el tubo exterior. Las partículas aislantes pueden comprender normalmente partículas de poliestireno, perlita o microesferas de vidrio. Las partículas pueden colocarse en el espacio simplemente vertiéndolas entre la estructura tubular interior y el tubo exterior.

El aislamiento requerido puede proporcionarse mediante cualquier combinación de las técnicas específicas descritas anteriormente.

60 El cuerpo tubular comprende preferiblemente al menos al menos dos de las capas de refuerzo con la capa sellante intercalada entre las mismas.

Preferiblemente, está prevista una capa de refuerzo adicional entre el elemento de agarre exterior y los medios de aumento de resistencia axial.

65

ES 2 436 617 T3

La resistencia a la rotura de la(s) capa(s) de refuerzo es preferiblemente de entre 100 y 700 kN para una estructura tubular interior de 8" (200 mm) de diámetro. Se prefiere que la deformación por flexión de rotura de la(s) capa(s) de refuerzo esté en el intervalo del 2% al 15%.

5 Se prefiere que la estructura tubular interior incluya además unos medios de aumento de resistencia axial. Preferiblemente, los medios de aumento de resistencia axial comprenden una funda generalmente tubular formada por una lámina de material prevista en forma tubular, de manera que la funda pueda mantener la integridad de su forma tubular cuando se someta a tensión axial. La estructura tubular interior puede estar dotada de dos o más fundas tubulares con el fin de mejorar adicionalmente el rendimiento de la estructura tubular interior bajo tensión axial. Se prefiere particularmente que los medios de aumento de resistencia axial estén previstos en forma de un trenzado generalmente tubular. En la presente memoria, el término "trenzado" se refiere a un material que está formado por dos o más fibras o hilos que se han entrelazado para formar una estructura alargada. Es una característica del trenzado que puede alargarse cuando se somete a una tensión axial. Es una característica adicional del trenzado que, cuando se proporciona en forma tubular, su diámetro se reducirá cuando el trenzado se someta 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 sobre al menos parte del cuerpo tubular cuando se someta a tensión axial. Se prefiere que toda la funda tubular se proporcione en forma de trenzado. Sin embargo, es posible que se proporcione sólo una o más partes de la longitud de la funda tubular en forma de trenzado. También se prefiere que el trenzado se extienda por toda la zona alrededor de la circunferencia de la funda tubular. Sin embargo, es posible que solo una parte de la circunferencia de la funda tubular se proporcione en forma de trenzado. El trenzado puede proporcionarse en forma biaxial (es decir, en la que el trenzado está formado únicamente por dos fibras o hilos que se entrelazan) o en forma triaxial (es decir, en la que también hay fibras o hilos que se extienden longitudinalmente, para una resistencia axial aumentada).

25 Aunque se prefiere proporcionar los medios de aumento de resistencia axial en forma de un trenzado, pueden proporcionarse en otras formas que cumplan los requisitos funcionales especificados anteriormente. Por tanto, los medios de aumento de resistencia axial pueden proporcionarse como una disposición adecuada de cordones o cuerdas envueltos helicoidalmente alrededor del cuerpo tubular.

30 Por tanto, alternativamente, o además, los medios de aumento de resistencia axial comprenden una pluralidad de tiras de aumento de resistencia axial que se extienden a lo largo de la longitud de la estructura tubular interior. Las tiras de aumento de resistencia axial están preferiblemente espaciadas equitativamente alrededor de la circunferencia de la estructura tubular interior. Pueden estar previstas dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho o más tiras. Más preferiblemente están previstas tres, cuatro, cinco o seis tiras, siendo lo más preferido cuatro o seis tiras. Preferiblemente, cada tira de aumento de resistencia axial está compuesta por un tejido que presenta una urdimbre y una trama. Más preferiblemente, la urdimbre de cada tira de aumento de resistencia axial está dispuesta formando un ángulo de 0° a 10° con el eje longitudinal de la estructura tubular interior. Todavía más preferiblemente, la urdimbre de cada tira de aumento de resistencia axial está dispuesta formando un ángulo de 0° a 5° con el eje longitudinal de la estructura tubular interior. Todavía más preferiblemente, la urdimbre de cada tira de aumento de resistencia axial está dispuesta formando un ángulo de 0° a 2° con el eje longitudinal de la estructura tubular interior.

Los medios de aumento de resistencia axial pueden disponerse entre el elemento de agarre exterior y el cuerpo tubular. Alternativamente, los medios de aumento de resistencia axial pueden incorporarse dentro del cuerpo tubular, es decir, entre la capa de refuerzo y la capa sellante.

45 Los materiales de construcción de la estructura tubular interior deben seleccionarse para permitir que funcione en el entorno para el que está destinada. Por tanto, existe la necesidad de que la estructura tubular interior pueda transportar fluidos a presión a través de la misma sin fuga del fluido a través de las paredes de la misma. Existe también la necesidad de que la estructura tubular interior resista la flexión repetida, y resista los esfuerzos axiales provocados por la combinación del peso de la estructura tubular interior y del fluido. El propósito principal de la o cada capa de refuerzo es resistir los esfuerzos circulares a los que está sometida la estructura tubular interior durante el transporte de fluidos a través de la misma. Por tanto, será adecuada cualquier capa de refuerzo que presente el grado de flexibilidad requerido, y que pueda resistir los esfuerzos necesarios. Además, si la estructura tubular interior está destinada para transportar fluidos criogénicos, entonces la o cada capa de refuerzo debe poder resistir temperaturas criogénicas.

50 Se prefiere que la o cada capa de refuerzo esté formada por una lámina de material que se ha devanado en forma tubular devanando el material de lámina de manera helicoidal. Esto significa 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 los devanados. 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 habitualmente (y dependiendo de la longitud de la estructura tubular interior) la o cada capa del material de lámina estaría formada por una pluralidad de tramos independientes de material de lámina dispuestos a lo largo de la longitud de la estructura tubular interior.

65

En la forma de realización preferida, la o cada capa de refuerzo comprende un tejido, lo más preferiblemente un tejido tejido. La o cada capa de refuerzo puede ser de un material natural o sintético. La o cada capa de refuerzo está formada convenientemente por un polímero sintético, tal como un poliéster, una poliamida o una poliolefina. El polímero sintético puede proporcionarse en forma de fibras, o un hilo, a partir de lo que se crea el tejido.

5 Cuando la o cada capa de refuerzo comprende un poliéster, entonces es preferiblemente poli(tereftalato de etileno). 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 registrada).

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 de los mismos, y está preferiblemente orientado mono o biaxialmente. Más preferiblemente, la poliolefina es un polietileno, y lo más preferiblemente el polietileno es un polietileno de alto peso molecular, especialmente UHMWPE. En la forma de realización preferida, los medios de aumento de resistencia axial son también de UHMWPE.

15 El UHMWPE utilizado en la presente invención presentaría generalmente un peso molecular promedio en peso superior a 400.000, normalmente superior a 800.000, y habitualmente superior a 1.000.000. El peso molecular promedio en peso habitualmente no superaría aproximadamente 15.000.000. El UHMWPE se caracteriza preferiblemente por un peso molecular de desde aproximadamente 1.000.000 hasta 6.000.000. El UHMWPE más útil en la presente invención está altamente orientado y habitualmente se habría estirado al menos 2-5 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 mayor que el 80%, más habitualmente mayor que el 90%, y preferiblemente mayor que el 95%. La cristalinidad será generalmente mayor que el 50%, más habitualmente mayor que el 70%. Es posible una cristalinidad de hasta el 85-90%.

25 Se describe UHMWPE en, por ejemplo, los documentos US-A-4344908, US-A-4411845, US-A-4422993, US-A-4430383, US-A-4436689, EP-A-183285, EP-A-0438831 y EP-A-0215507.

30 Es particularmente ventajoso que la o cada capa de refuerzo comprenda un UHMWPE altamente orientado, tal como el disponible de DSM High Performance Fibers BV (una empresa de los Países Bajos) con el nombre comercial DYNEEMA, o el disponible de la corporación estadounidense AlliedSignal Inc. con el nombre comercial SPECTRA. Se dan a conocer detalles adicionales sobre DYNEEMA en un folleto comercial titulado "DYNEEMA; the top performance in fibers; properties and application" emitido por DSM High Performance Fibers BV, edición 02/98. Se dan a conocer detalles adicionales sobre SPECTRA en un folleto comercial titulado "Spectra Performance Materials" emitido por Allied-Signal Inc., edición 5/96. Estos materiales han estado disponibles desde los años 80.

35 En la forma de realización preferida, la o cada capa de refuerzo comprende un tejido formado por fibras dispuestas en una dirección de urdimbre y trama. Se ha encontrado que es particularmente ventajoso si la o cada capa de refuerzo se dispone de manera que la dirección de urdimbre del tejido esté formando un ángulo de menos de 20° con la dirección axial de la estructura tubular interior; también se prefiere que este ángulo sea mayor que 5°. En la forma de realización preferida, la o cada capa de refuerzo se dispone de manera que la dirección de urdimbre del tejido esté formando un ángulo de desde 10° hasta 20°, todavía más preferentemente de aproximadamente 15°, con la dirección axial de la estructura tubular interior.

40 El propósito de la capa sellante es principalmente impedir la fuga de fluidos transportados a través del cuerpo tubular. Por tanto, será adecuada cualquier capa sellante que presente el grado de flexibilidad requerido, y que pueda proporcionar la función sellante deseada. Además, si la estructura tubular interior está destinada para transportar fluidos criogénicos, entonces la capa sellante debe poder resistir temperaturas criogénicas.

45 La capa sellante puede estar compuesta por los mismos materiales básicos de la o cada capa de refuerzo, en particular UHMWPE. Como alternativa, la capa sellante puede ser de 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 con el nombre comercial Teflon FEP; o un hidrocarburo fluorado-perfluoroalcoxilo disponible de DuPont Fluoroproducts con el nombre comercial Teflon PFA. Estas películas pueden producirse mediante extrusión o mediante soplado.

50 Se prefiere que la capa sellante esté formada por una lámina de material que se ha devanado en forma tubular devanando el material de lámina de manera helicoidal. Como con las capas de refuerzo, esto quiere decir que la o cada capa sellante no presenta mucha resistencia a la tensión axial, ya que la aplicación de una fuerza axial tenderá a separar los devanados. La capa sellante 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 habitualmente (y dependiendo de la longitud de la estructura tubular interior) la o cada capa del material de lámina estaría formada por una pluralidad de tramos independientes de material de lámina dispuestos a lo largo de la longitud de la

estructura tubular interior. Si se desea, la capa sellante puede comprender uno o más manguitos sellantes termorretráctiles (es decir, de forma tubular) que se disponen sobre la capa de refuerzo interior.

Se prefiere que la capa sellante comprenda una pluralidad de capas solapantes de película. Preferiblemente, habría al menos 2 capas, más preferiblemente al menos 5 capas, y todavía más preferiblemente al menos 10 capas. En la práctica, la capa sellante puede comprender 20, 30, 40, 50 o más capas de película. El límite superior del número de capas depende del tamaño global de la estructura tubular interior, pero es improbable que se requieran más de 100 capas. Habitualmente, 50 capas, como mucho, serán suficientes. 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 sellante.

Tal como se expuso anteriormente, si está prevista una capa de aislamiento independiente, entonces puede fijarse a la parte interior del tubo exterior, es decir, disponerse dentro de la capa de caucho. Alternativamente, la capa de aislamiento puede disponerse entre la estructura tubular interior y el tubo exterior como una capa que es independiente de la estructura tubular interior y el tubo exterior.

Sin embargo, se prefiere que la capa de aislamiento se incorpore en la estructura tubular interior. La capa de aislamiento puede fijarse a la parte exterior de la estructura tubular interior, es decir, disponerse en la parte exterior del elemento de agarre exterior, o según la invención, puede disponerse dentro del elemento de agarre exterior entre el elemento de agarre exterior y la capa sellante del cuerpo tubular. La capa de aislamiento puede comprender cualquier material utilizado convencionalmente para proporcionar aislamiento en equipo criogénico, tal como un material de espuma sintético.

En una forma de realización preferida, la capa de aislamiento comprende un elemento alargado, compuesto por un material aislante, que presenta bordes longitudinales opuestos, devanándose helicoidalmente el elemento alargado alrededor del cuerpo tubular de manera que los bordes longitudinales opuestos de la capa estén en una disposición adyacente o solapante, en la que cada borde longitudinal incluye una formación que puede interacoplarse con una formación que actúa conjuntamente en el borde longitudinal opuesto. En un ejemplo que no forma parte de la invención, el elemento alargado se dispone en la parte exterior del elemento de agarre exterior, y forma de ese modo una cubierta para la capa exterior. Se describe un elemento alargado adecuado con mayor detalle en el documento WO2004/044472.

En otra forma de realización preferida, la capa de aislamiento incluye un tejido formado por fibras de basalto. Están disponibles materiales textiles de fibra de basalto adecuados de la Sudaglass Fiber Company con las denominaciones comerciales BT-5, BT-8, BT-10, BT-11 y BT-13. El grosor preferido del tejido es de desde aproximadamente 0,1 mm hasta aproximadamente 0,3 mm. Si se desea, puede emplearse una pluralidad de capas del tejido de basalto.

Se apreciará que puede proporcionarse más de una capa de aislamiento, y que la estructura tubular interior puede incluir dos o más tipos diferentes de capa de aislamiento.

Se proporciona preferiblemente un conector extremo en cada extremo de la estructura tubular interior. El conector extremo es preferiblemente del tipo descrito en los documentos WO01/96772 o WO 2004/079248.

Los elementos de sujeción interiores y exteriores de la estructura tubular interior son preferiblemente elementos de sujeción helicoidales, más preferiblemente alambres helicoidales. Por tanto, los elementos de sujeción forman preferiblemente cada uno una bobina que agarra y retiene el cuerpo tubular, y cualquier otra capa intermedia. Preferiblemente, las bobinas interiores y exteriores se aplican en una configuración helicoidal que presenta el mismo paso, y la posición de las bobinas de la bobina exterior están situadas desviadas la mitad de la longitud de paso con respecto a la posición de las bobinas de la bobina interior.

Ventajosamente, los componentes de la estructura tubular interior pueden moverse todos unos con relación a otros, es decir, no están unidos o adheridos de forma fija de otro modo entre sí. Esto permite que las capas de la estructura tubular interior se muevan unas con relación a otras durante la flexión de la misma.

Según un ejemplo, se proporciona un tubo flexible que comprende una estructura tubular interior, un tubo exterior y una capa de aislamiento, en la que la estructura tubular interior comprende un fuelle tubular, en la que el tubo exterior comprende una capa de caucho y una capa de refuerzo dispuesta alrededor de la capa de caucho, en la que la capa de aislamiento o bien se incorpora en la estructura tubular interior y/o bien se dispone entre la estructura tubular interior y el tubo exterior, en la que la estructura tubular interior puede moverse con relación al tubo exterior durante flexión del tubo flexible, y en la que la estructura tubular interior presenta propiedades de aislamiento suficientes para proteger la capa exterior frente a la baja temperatura del fluido criogénico que fluye dentro de la estructura tubular interior.

- 5 En este ejemplo, la estructura tubular interior comprende esencialmente un tubo flexible de fuelle, mientras que el tubo exterior comprende un tubo flexible de caucho. Tanto el tubo flexible de fuelle como el tubo flexible de caucho se conocen bien en la materia. Debe indicarse que existen ejemplos del tubo flexible de fuelle que comprenden una capa de caucho exterior, pero en estos ejemplos la capa de caucho es solidaria con el fuelle, de manera que no sea posible movimiento relativo entre las dos. Se describen ejemplos del tubo flexible de fuelle en los documentos US2004112454 y US2004146676.
- 10 Es una característica importante del ejemplo que la(s) capa(s) de caucho en el tubo exterior estén protegidas adecuadamente frente a la temperatura de los fluidos criogénicos que estén transportándose a través de la estructura tubular interior. En el caso de cauchos normales que presentan una temperatura operativa de hasta -60°C, la temperatura de superficie en la capa de caucho más interior del tubo exterior no debe ser menor que -60°C. En el caso de cauchos especiales que presentan una temperatura operativa de hasta -100°C, la temperatura de superficie en la capa de caucho más interior del tubo exterior no debe ser menor que -100°C.
- 15 El aislamiento requerido puede lograrse de diversas formas. En un ejemplo, la estructura tubular interior está dotada de una capa de aislamiento formada por un material aislante. La capa de aislamiento puede ser una capa especial del cuerpo tubular, o puede ser una capa formada alrededor del elemento de agarre exterior.
- 20 En otro ejemplo, se proporciona una capa de aislamiento formada por un material aislante entre la estructura tubular interior y el tubo exterior.
- 25 En otro ejemplo, el aislamiento puede proporcionarse mediante un material aislante particulado (por ejemplo, perlas) dispuesto en el espacio entre la estructura tubular interior y el tubo exterior. Las partículas aislantes pueden comprender normalmente partículas de poliestireno, perlita o microesferas de vidrio. Las partículas pueden colocarse en el espacio simplemente vertiéndolas entre la estructura tubular interior y el tubo exterior desde un extremo del tubo flexible.
- 30 El aislamiento requerido puede proporcionarse mediante cualquier combinación de las técnicas específicas descritas anteriormente.
- 35 La estructura tubular interior incluye preferiblemente un conector extremo en cada extremo del fuelle tubular. El fuelle tubular presenta un perfil ondulado o con circunvoluciones. Las ondulaciones o circunvoluciones pueden ser sinusoidales, en forma de U o en forma de la letra griega omega, Ω . Las circunvoluciones pueden ser circunferenciales, o pueden disponerse en espiral. En general, solo las circunvoluciones sinusoidales se dispondrían en espiral.
- 40 Se apreciará que el fuelle tubular está diseñado para actuar como capa sellante.
- 45 En un ejemplo, la estructura tubular interior incluye un segundo fuelle tubular dispuesto alrededor del primer fuelle.
- 50 El fuelle de la estructura tubular interior está reforzado preferiblemente para proporcionar un aumento de resistencia adicional. Esto puede lograrse mediante el refuerzo del propio fuelle, o dotando la estructura tubular interior de una capa de refuerzo independiente. Un medio de proporcionar aumento de resistencia adicional es proporcionar un trenzado tubular de alambres de acero inoxidable o fibras de alta resistencia poliméricas aplicadas sobre el fuelle tubular. Otro medio de proporcionar aumento de resistencia adicional es aplicar helicoidalmente cordones o cuerdas devanados sobre el fuelle tubular. Normalmente, está prevista una capa blindada como capa exterior del tubo flexible.
- 55 Cuando están previstos dos fuelles tubulares, la capa de aislamiento puede proporcionarse entre los dos fuelles. Además, o en su lugar, puede preverse un vacío en el espacio entre las dos capas, con el fin de ayudar en el aislamiento.
- 60 Los primer y/o segundo fuelles tubulares pueden estar realizados en metal, preferiblemente acero inoxidable.
- 65 Según una característica ventajosa del primer aspecto de la invención, la estructura tubular interior no es solidaria con el tubo exterior, de manera que la estructura tubular interior puede moverse con relación al tubo exterior cuando se flexiona el tubo flexible.
- En una forma de realización preferida, se prevé un espacio anular entre la estructura tubular interior y el tubo exterior. Se prevén preferiblemente uno o más separadores entre la estructura tubular interior y el tubo exterior con el fin de mantener el tubo exterior en una relación de separación con respecto a la estructura tubular interior. El o cada separador comprende preferiblemente un anillo que se extiende alrededor de la parte exterior de la estructura tubular interior. Una pluralidad de dichos anillos pueden proporcionarse a lo largo de la longitud de la estructura tubular interior. El o cada anillo separador puede ser, por ejemplo, de poliuretano, PTFE, o una madera tal como balsa o corcho. El o cada anillo separador puede ser de caucho, si hay suficiente aislamiento subyacente para

proteger el separador de caucho frente a la temperatura de los fluidos criogénicos que van a transportarse a través de la estructura tubular interior.

5 En otra forma de realización, el separador puede estar en forma de cuerda o varilla envuelta de manera helicoidal entre la estructura tubular interior y el tubo exterior. La envoltura puede presentar un paso largo y/o uno cerrado. La cuerda o varilla puede ser, por ejemplo, una cuerda de poliéster, una tira de poliuretano de sección transversal rectangular o un caucho de sección transversal circular.

10 En el primer aspecto de la invención, las propiedades de aislamiento del material dentro de la estructura tubular interior deben seleccionarse de manera que la temperatura a la que se someta el caucho del tubo flexible exterior esté por encima de la temperatura de trabajo mínima del caucho. Para la mayoría de los cauchos, esta temperatura será de aproximadamente -60°C , aunque existen cauchos especiales que operarán eficazmente a temperaturas superiores a -100°C . Se apreciará también que cuando existe un espacio anular entre la estructura tubular interior y el tubo exterior, este espacio pueda proporcionar parte del aislamiento requerido.

15 El tubo exterior puede ser el mismo tanto en el primer aspecto de la invención, como en el ejemplo.

20 La capa de caucho interior es una capa de revestimiento que puede ser un caucho natural o sintético. Por ejemplo, la capa de caucho puede estar compuesta por monómeros de etileno-propileno-dieno, La caucho puede ser un caucho de neopreno, o un caucho de nitrilo, tal como un caucho de acrilonitrilo-butadieno. Pueden utilizarse cauchos especiales, tales como caucho de silicona, cuando se desea que el tubo exterior pueda operar a temperaturas de tan sólo -100°C . La composición de la capa de caucho puede ser completamente convencional. La capa de caucho puede construirse mediante los procedimientos conocidos de revestimiento sin costuras, un revestimiento con una costura longitudinal y un revestimiento de la construcción envuelta. Las construcciones de revestimiento que
25 presentan una junta como resultado del procedimiento de fabricación se hacen a prueba de fugas mediante el procedimiento de curado o vulcanización.

30 La capa de refuerzo del tubo flexible de caucho puede ser de un tejido o metálico, o puede ser de un tejido que incorpora piezas metálicas. El tejido y/o metal puede devanarse alrededor de la capa de caucho interior.

La capa de refuerzo puede comprender en su lugar un material polimérico que incorpora opcionalmente un refuerzo metálico adicional.

35 Pueden proporcionarse más de una capa de refuerzo. Además, pueden proporcionarse diferentes tipos de capas de refuerzo.

40 Se prefiere utilizar materiales poliméricos y aceros inoxidable austeníticos adecuados para el servicio a baja temperatura en la capa de refuerzo. Por tanto, la capa de refuerzo está compuesta de forma deseable por materiales tales como un poliéster, o una aramida tal como Kevlar (RTM), o UHMWPE. El propósito de proporcionar un material de este tipo es para la protección adicional en el caso que falle la parte de caucho del tubo flexible, debido al contacto con un fluido de temperatura muy baja.

45 El tubo exterior puede incluir también un alambre helicoidal, preferiblemente un alambre de acero. El alambre helicoidal puede estar incrustado en una matriz de caucho, o una matriz de otro material polimérico.

El tubo exterior puede incluir además una capa de cubierta exterior, que normalmente también está compuesta por caucho.

50 Las capas del tubo exterior pueden ensamblarse juntas con adaptadores de extremo o boquillas convencionales, después curarse o vulcanizarse, para proporcionar un tubo exterior integrado en el que todas las capas están íntimamente unidas entre sí y también unidas a las boquillas en los extremos del tubo exterior; esto impide que las capas del tubo exterior se deslicen unas con relación a otras. Esto contrasta con las capas de la estructura tubular interior, que no están unidas preferiblemente entre sí, y que pueden moverse unas con relación a otras. Asimismo, la estructura tubular interior no está unida preferiblemente al tubo exterior, de modo que la estructura tubular interior
55 puede moverse con relación al tubo exterior.

La capa de caucho interior puede ser un tubo de caucho sin costuras formado mediante extrusión, o puede presentar una costura que se sella mediante vulcanización.

60 Los adaptadores de extremo o boquillas están compuestos por metales para el servicio a baja temperatura. Se prefiere utilizar metales tales como aceros inoxidable austeníticos que son adecuados para temperaturas inferiores a -100°C .

65 Se prefiere que las superficies de conector extremo expuestas al entorno marino sean resistentes a la corrosión o presenten una capa protectora anticorrosión.

Las dimensiones de la estructura tubular interior y el tubo exterior pueden seleccionarse o bien de modo que la estructura tubular interior y el tubo exterior estén en contacto, o bien, preferiblemente, de modo que haya un hueco entre la estructura tubular interior y el tubo exterior. Si existe un hueco entre la estructura tubular interior y el tubo exterior, entonces pueden proporcionarse separadores en el hueco con el fin de mantener una separación deseada entre la estructura tubular interior y el tubo exterior.

Es preferible monitorizar el hueco para determinar posibles signos de fuga desde la estructura tubular interior o el tubo exterior o ambos. Para ello, el tubo flexible según la invención puede también estar provisto de medios de detección de fugas para detectar una fuga en el hueco. Pueden proporcionarse varios medios de detección de fugas. Por ejemplo puede proporcionarse un detector de presión para detectar un aumento de presión provocado por la entrada en el hueco de líquido a presión desde dentro de la estructura tubular interior. Además, o en su lugar, puede proporcionarse un detector químico para detectar la presencia de líquidos o gases específicos (por ejemplo, metano o agua de mar) dentro del hueco. El tubo flexible según la invención es útil en una amplia variedad de aplicaciones, pero es especialmente útil en el transporte de fluidos criogénicos, especialmente fluidos a una temperatura inferior a -100°C , más preferiblemente fluidos a una temperatura en o inferior a aproximadamente -104°C (es decir, el punto de ebullición del etileno), y lo más preferiblemente fluidos a una temperatura en o inferior a aproximadamente -150°C . El tubo flexible puede transportar eficazmente GNL a temperaturas de aproximadamente -162°C , y puede transportar eficazmente oxígeno o nitrógeno líquidos a temperaturas de aproximadamente -183°C o -196°C respectivamente. Tales fluidos no pueden conducirse eficazmente mediante tubos flexibles de caucho convencionales. La menor temperatura práctica a la que se utilizaría el tubo flexible sería de desde aproximadamente -200°C hasta -220°C .

El diámetro interior del tubo exterior es preferiblemente de al menos 150 mm. Más preferiblemente, el diámetro interior de la estructura tubular interior (que es, en efecto, el diámetro interior del propio tubo flexible) es preferiblemente de al menos 150 mm. El diámetro interior del tubo flexible puede ser de hasta 400 mm o incluso de hasta 600 mm u 800 mm. Se apreciará que la estructura tubular interior y el tubo exterior se dimensionan de manera que la estructura tubular interior encaja dentro del tubo exterior dejando el hueco deseado. Normalmente, este hueco es desde aproximadamente 10 mm hasta aproximadamente 100 mm, lo más preferiblemente de aproximadamente 50 mm. El grosor de la estructura tubular interior es normalmente de aproximadamente 10 a 20 mm y el grosor del tubo exterior es normalmente de aproximadamente 75 a 100 mm.

El tubo flexible se suministra normalmente en longitudes de desde 5 m hasta 20 m, aunque es posible suministrar longitudes del tubo flexible que sean más largas o más cortas. El tubo flexible se suministraría generalmente en longitudes de aproximadamente 11 m, ya que éste es un tamaño típico para longitudes disponibles comercialmente del tubo flexible de caucho. Si la longitud total del tubo flexible requerida para cualquier aplicación particular es mayor que la longitud de la sección individual, entonces pueden sujetarse entre sí dos o más tramos del tubo flexible hasta que se haya proporcionado la longitud deseada. En algunas aplicaciones el tubo flexible se ensambla haciendo pasar una sucesión de estructura tubular interior a través de una sucesión de tubo exterior hasta que los extremos de las dos sucesiones se alinean para producir la longitud del tubo flexible requerida. Se apreciará que las longitudes individuales de las secciones componentes del tubo exterior y la estructura tubular interior no han de ser idénticas.

El material de la estructura tubular interior se selecciona preferiblemente de manera que cuando fluye un fluido criogénico a través de la estructura, la disminución de temperatura a lo largo de la estructura tubular interior es de al menos 4°C , preferiblemente de al menos 20°C , más preferiblemente de al menos 50°C , y lo más preferiblemente de al menos 60°C .

Los extremos de la estructura tubular interior y el tubo exterior están terminados cada uno con un conector extremo apropiado en cada extremo de los mismos. Es posible que los adaptadores de extremo de la estructura tubular interior y el tubo exterior sean coextensivos, es decir, la estructura tubular interior y tubo exterior que sean sustancialmente de la misma longitud. Sin embargo, los adaptadores de extremo de la estructura tubular interior pueden estar desviados longitudinalmente con relación a los adaptadores de extremo del tubo exterior.

Según otro aspecto de la invención, se proporciona una sucesión del tubo flexible que comprende una pluralidad de secciones del tubo flexible descritas anteriormente conectadas extremo con extremo.

Según otro ejemplo, se proporciona un procedimiento de fabricación de un tubo flexible que comprende formar una estructura tubular interior tal como se describió anteriormente, formar un tubo exterior tal como se describió anteriormente, insertar la estructura tubular interior en el tubo exterior, y mover la estructura tubular interior a través del tubo exterior hasta que alcance una posición preseleccionada dentro del tubo exterior.

Según otro ejemplo, se proporciona un procedimiento de fabricación de un tubo flexible que comprende formar una pluralidad de estructuras tubulares interiores tal como se describió anteriormente, formar una pluralidad de tubos exteriores tal como se describió anteriormente, conectar las estructuras tubulares interiores extremo con extremo para formar una sucesión de estructuras tubulares interiores, conectar los tubos exteriores extremo con extremo para formar una sucesión de tubos exteriores, insertar la sucesión de estructura tubular interior en un extremo de la

sucesión de tubos exteriores, y mover la sucesión de estructuras tubulares interiores a través de la sucesión de tubos exteriores hasta que alcance una posición preseleccionada dentro de la sucesión de tubos exteriores.

5 En general, la presión operativa del tubo flexible estará en el intervalo de desde aproximadamente 500 kPa manométricos hasta aproximadamente 2000 kPa manométricos, o posiblemente hasta aproximadamente 2500 kPa manométricos. Estas presiones se refieren a la presión operativa del tubo flexible, no a la presión de estallido (que debe ser varias veces mayor). La velocidad de flujo volumétrica depende del medio fluido, la presión y el diámetro interior. Son típicas velocidades de flujo de desde 1000 m³/h hasta 12000 m³/h.

10 El tubo flexible según la invención es particularmente útil en aplicaciones que implican el transporte de fluidos, especialmente fluidos criogénicos, desde una estructura mar adentro de superficie hasta otra estructura mar adentro de superficie y/o hasta una estructura mar adentro bajo la superficie, o desde una estructura mar adentro bajo la superficie hasta una superficie. En particular, el tubo flexible puede ser útil en aplicaciones en las que el tubo flexible flota sobre la superficie del agua, aplicaciones en las que el tubo flexible se extiende bajo el agua; y aplicaciones en las que el tubo flexible se extiende a través del aire. El flexible también puede utilizarse en combinaciones de estas aplicaciones.

La estructura mar adentro de superficie puede ser una estructura permanente o una estructura temporal, y se dispone en la superficie del agua; se apreciará que en circunstancias normales parte de la estructura se extenderá por encima de la superficie del agua y parte de la estructura estará sumergida. Una estructura permanente es una que, tras la instalación, permanece fijada de manera permanente en su posición por encima del lecho marino. Los ejemplos de estructuras permanentes incluyen una estructura de soporte de camisa de acero y una estructura de soporte de cimentación por gravedad. Una estructura temporal es una que puede moverse de una ubicación a otra. Ejemplos de una estructura temporal son un buque flotante, habitualmente que presenta un casco de acero o de hormigón, tal como un barco o una barcaza o una plataforma de patas tensoras o semisumergible. Otro ejemplo de una estructura temporal es una unidad flotante de descarga y almacenamiento de producción. La estructura mar adentro de superficie puede presentar medios para producir petróleo o gas desde debajo del lecho marino. Además, o en su lugar, la estructura mar adentro de superficie puede presentar medios para almacenar petróleo o gas, y el gas puede estar en forma licuada.

30 La estructura mar adentro bajo la superficie se ubica bajo la superficie del agua, es decir, se sumerge en el agua. Puede ubicarse sobre el lecho marino. Un ejemplo de una estructura mar adentro bajo la superficie es una tubería subacuática, que estará prevista normalmente sobre el lecho marino.

35 Por tanto según otro aspecto de la invención, está previsto un sistema para transportar fluidos entre una estructura mar adentro de superficie y una estructura mar adentro bajo la superficie que comprende un conducto ascendente conectado operativamente a la estructura mar adentro de superficie y a la estructura mar adentro bajo la superficie de tal manera que el fluido puede fluir desde la estructura mar adentro de superficie hasta la estructura mar adentro bajo la superficie o viceversa, en el que al menos parte del conducto ascendente es un tubo flexible según la invención tal como se describió anteriormente.

Según otro ejemplo, se proporciona un sistema para transportar fluidos entre dos estructuras en alta mar de superficie que comprenden una conducción conectada operativamente a las estructuras en alta mar de superficie de tal manera que el fluido puede fluir desde una de las estructuras en alta mar de superficie hasta la otra o viceversa, en el que al menos parte de la conducción es un tubo flexible según la invención tal como se describió anteriormente.

50 En una forma de realización, el sistema incluye una boya ubicada en la superficie, y el conducto ascendente se extiende desde la boya hasta la estructura mar adentro bajo la superficie, y el tubo flexible está soportado por la boya. El sistema CALM descrito anteriormente es un ejemplo de un sistema de este tipo.

Sin embargo, el sistema según la invención puede ser un sistema CMBM, en el que el tubo flexible según la invención se extiende directamente desde la estructura mar adentro de superficie hasta la estructura mar adentro bajo la superficie.

55 El sistema según la invención puede ser en su lugar un sistema SALM, en el que una boya de superficie se une a un conector bajo la superficie ubicado en el lecho marino y el tubo flexible se extiende directamente desde la estructura mar adentro de superficie hasta el conector bajo la superficie.

60 En los sistemas descritos anteriormente, se proporciona además preferiblemente un conector de fluido soportado por la boya. El conector de fluido está adaptado para conectarse en comunicación de fluido con el extremo superior del conducto ascendente que se extiende desde la estructura mar adentro bajo la superficie, y conectarse en comunicación de fluido con una conducción que se extiende desde la estructura mar adentro bajo la superficie. De esta manera, puede fluir fluido desde la conducción hasta el conducto ascendente a través del conector. El conector es preferiblemente rotatorio, de modo la estructura mar adentro de superficie puede rotar alrededor de la boya. Esta

forma de conector se conoce habitualmente como "conector giratorio". Se da a conocer un ejemplo de un conector giratorio adecuado para transportar fluidos criogénicos en el documento EP0833769.

El sistema también puede utilizarse en el tipo de sistema descrito en el documento WO2006/044053, en el que se proporciona una boya sumergible. Por tanto, según otro ejemplo, se proporciona un sistema para transportar un fluido criogénico entre una estructura mar adentro de superficie y una estructura mar adentro bajo la superficie, que comprende: a) un primer conducto ascendente criogénico que presenta un primer extremo y un segundo extremo, dicho primer conducto ascendente, en el que la posición vertical del primer conducto ascendente es ajustable, ubicándose dicho segundo extremo de dicho primer conducto ascendente en una masa de agua y en comunicación de fluido con dicha estructura mar adentro bajo la superficie; y b) un primer conector de torreta sumergible conectado a dicho primer extremo de dicho primer conducto ascendente, estando adaptado dicho primer conector para conectarse de manera liberable a la estructura mar adentro de superficie agua de modo que pueda comunicarse un fluido criogénico entre dicha estructura mar adentro de superficie y dicho primer extremo de dicho primer conducto ascendente, amarrándose dicho primer conector al fondo de dicha masa de agua de manera que la posición vertical de dicho primer conector puede cambiarse, en el que el primer conector está adaptado para permitir que dicha estructura mar adentro de superficie rote alrededor de dicho primer conector sobre la superficie de dicha masa de agua mientras que se conecta dicho primer buque a dicho primer conector, en el que el primer conducto ascendente es un tubo flexible según la invención, tal como se describió anteriormente.

Se apreciará que las estructuras en alta mar de superficie y bajo la superficie se disponen en alta mar, es decir, en un mar, océano, lago, puerto u otra masa de agua. Sin embargo, no existe ninguna limitación particular en la distancia de la estructura de la costa, que puede ser, por ejemplo, de unos cuantos metros, unos cuantos cientos de metros, unos cuantos kilómetros o varios cientos de kilómetros.

Según otro aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento para transportar un fluido que presenta una temperatura de -100°C o menos, preferiblemente de -104°C o menos, que comprende conducir el fluido desde una estructura mar adentro de superficie (tal como un barco) hasta una estructura mar adentro bajo la superficie (tal como una tubería) utilizando el tubo flexible según la invención descrito anteriormente.

La presente invención hace posible transportar materiales criogénicos, particularmente GNL hasta ubicaciones submarinas de manera económica y eficaz. La invención utiliza un tubo flexible de caucho convencional, que se ha utilizado durante muchos años para el transporte de fluidos no criogénicos. Esto presenta la ventaja de que los operarios del tubo pueden utilizar la invención utilizando un tubo flexible que parece similar al tubo flexible de caucho con la que están muy familiarizados. Además, el tubo flexible de caucho existente puede actualizarse fácilmente con una estructura tubular interior para proporcionar un tubo flexible según la invención.

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

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

la figura 2 es una vista en sección transversal de una estructura tubular interior del tubo flexible representado en la figura 1 en un ejemplo adicional;

la figura 3 es una estructura tubular interior a modo de ejemplo que no forma parte de la invención; y

la figura 4 es un diagrama esquemático que ilustra un sistema según la invención.

Haciendo referencia en primer lugar a las figuras 1 y 2, un tubo flexible se designa generalmente con el número de referencia 100. El tubo flexible comprende una estructura tubular interior 10 y un tubo exterior 30.

La estructura tubular interior 10 comprende un cuerpo 12 tubular que comprende una capa de refuerzo interior 14, una capa de refuerzo exterior 16, y una capa sellante 18 intercalada entre las capas 14 y 16. Una funda 20 generalmente tubular, en forma de un trenzado, que proporciona aumento de resistencia axial, se dispone alrededor de la superficie exterior de la capa de refuerzo exterior 16.

El cuerpo 12 tubular y la funda 20 tubular se disponen entre elementos de sujeción en forma de un alambre bobinado helicoidalmente interior 22 y un alambre bobinado helicoidalmente exterior 24. Los alambres interiores y exteriores 22 y 24 se disponen de modo que estén desviados uno con relación al otro en una distancia correspondiente a la mitad de la longitud de paso de la hélice de las bobinas.

Una capa de aislamiento 26 se dispone alrededor del alambre exterior 24. La capa de aislamiento 26 puede ser, por ejemplo, de un material aislante convencional, tal como una espuma de plástico.

Las capas de refuerzo 14 y 16 comprenden materiales textiles tejidos de un material sintético, tal como fibras de aramida o UHMWPE.

La capa sellante 18 comprende una pluralidad de capas de película de plástico que se envuelven alrededor de la superficie exterior de la capa de refuerzo interior 14 para proporcionar un sello estanco a los fluidos entre las capas de refuerzo interior y exterior 14 y 16.

5 Se proporciona un conector extremo 28 en cada extremo de la estructura tubular interior 10 y sirve para terminar el tubo 10. El conector extremo 28 puede ser, por ejemplo, el tipo de conector extremo descrito en los documentos WO01/967 o WO 2004/079248.

10 La estructura tubular interior 10 puede formarse mediante: envolver el alambre interior 22 alrededor de un mandril; envolver la capa de refuerzo interior 14 alrededor del alambre interior 22; envolver la capa sellante 18 alrededor de la capa de refuerzo interior 14; envolver la capa de refuerzo exterior 16 alrededor de la capa sellante 16, tirar de la funda tubular sobre la capa de refuerzo exterior 16, envolver el alambre exterior 24 alrededor de la funda 20, y aplicar la capa de aislamiento 26 sobre el alambre exterior 24 y la funda 20.

15 El tubo exterior 30 comprende una capa interior de caucho 32, capas de refuerzo primera y segunda 34 y 36 y una cubierta de caucho exterior 38. Las capas 32, 34, 36 y 38 se vulcanizan conjuntamente para formar una estructura en la que todas las capas se unen de manera solidaria a las capas contiguas.

20 Se proporciona una boquilla 40 del tubo flexible en el extremo del tubo exterior 30 y sirve para terminar el tubo exterior 30. El conector extremo 28 y la boquilla 40 del tubo flexible pueden conectarse entre sí. Pueden conectarse tramos contiguos del tubo flexible 100 sujetando los adaptadores de extremo 28 de tramos adyacentes del tubo flexible 100 y sujetando las boquillas 40 del tubo flexible de tramos adyacentes del tubo flexible 100. Sin embargo, se prefiere que se conecten tramos contiguos del tubo flexible 100 o bien: sujetando los adaptadores de extremo 28 de tramos adyacentes del tubo flexible 100; o bien sujetando las boquillas 40 del tubo flexible de tramos adyacentes del tubo flexible 100. Debe indicarse que los extremos de la estructura tubular interior del tubo flexible 10 no son necesariamente coextensivos con los extremos del tubo exterior 40. Existe una corona 42 anular formada entre el tubo exterior 30 y la estructura tubular interior 10. La corona anular puede dejarse como espacio libre o puede llenarse parcial o completamente con un material de aislamiento (no representado). Cuando se deja la corona anular como espacio libre, entonces pueden proporcionarse separadores 44 para mantener la estructura tubular interior 10 en su posición con relación al tubo exterior 30. Los separadores pueden ser en forma de disco, con una abertura circular interior que aloja la estructura tubular interior 10.

35 El fluido que va a transportarse puede fluir a través del espacio 46 sustancialmente cilíndrico dentro de la estructura tubular interior 10.

40 La figura 3 muestra una estructura tubular interior ejemplificativa que no forma parte de la invención, que se designa con el número de referencia 210. La estructura tubular interior 210 comprende un fuelle tubular interior 212 y un fuelle tubular exterior 214, estando dotado cada uno de ellos de ondulaciones sinusoidales (o en forma de U o en forma de Ω). Una capa de aislamiento 216 está prevista entre el fuelle 212 y 214. Además, el espacio entre el fuelle 212 y 214 está situado en un vacío, para mejorar adicionalmente el aislamiento. Una capa blindada 218 está prevista alrededor del fuelle exterior 214, para mejorar adicionalmente el aislamiento. Se proporciona un orificio 220 de bombeo para evacuar aire de entre las capas 212 y 214 con el fin de crear el vacío. El tubo flexible 210 también incluye adaptadores de extremo 222 en cada extremo del tubo flexible de fuelle (en la figura 3, sólo se muestra un conector extremo 222).

45 La figura 4 es una ilustración de un sistema ejemplificativo que utiliza el tubo flexible 100 según la invención. El sistema mostrado en la figura 4 es un sistema CALM, pero el tubo flexible 100 podría aplicarse igual de bien en otros sistemas, tales como el sistema SALM, el sistema CMBM y el sistema STM.

50 En la figura 4, un barco 300 que contiene una unidad de almacenamiento de GNL (no representada) flota sobre la superficie del mar 302. Una tubería 304 submarina discurre a lo largo del lecho 306 marino. Una boya 308 de amarre de superficie flota sobre la superficie del agua, a cierta distancia del barco 300. La boya 308 incluye un conector 310 giratorio en la parte superior de la misma, que puede girar con relación a la parte subyacente de la boya 308. Una cuerda 312 de amarre se extiende desde el barco 300 hasta la mesa 310 giratoria, y cadenas 314 de anclaje se extienden desde la base de la boya 308 hasta el lecho marino 306.

55 Un tubo flexible 316 se extiende desde el barco 300 hasta el conector 310 giratorio. El tubo flexible 316 presenta una alta flotabilidad, de modo que puede flotar sobre la superficie del agua. El tubo flexible 316 se construye a partir del tubo flexible 100 descrito anteriormente, dotado, si es necesario, de capa(s) adicional(es) para mejorar la flotabilidad del tubo flexible.

60 Un conducto ascendente en forma de un tubo flexible 318 se extiende desde el conector 310 giratorio hasta la tubería 304. El tubo flexible 318 se conecta al tubo flexible 316, mediante lo cual pueden fluir fluidos desde la unidad de almacenamiento en el barco 302 hasta la tubería 304 (o viceversa). El tubo flexible 318 se construye a partir del tubo flexible 100 descrito anteriormente. Si es necesario, pueden unirse varios tramos del tubo flexible 100 con el fin de llegar desde la boya 308 hasta el barco 300, y/o desde la boya 308 hasta la tubería 304.

65

El conector 310 giratorio proporciona un paso de fluido que permite que fluya fluido desde el tubo flexible 316 hasta el tubo flexible 318 y viceversa. El conector giratorio puede presentar la estructura mostrada en el documento EP0833769.

5

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

REIVINDICACIONES

1. Tubo flexible (100) que comprende una estructura tubular interior (10) y un tubo exterior (30), en el que la estructura tubular interior (10) comprende un cuerpo (12) tubular y una capa de aislamiento (26), estando dicho cuerpo (12) tubular y dicha capa de aislamiento (26) dispuestos entre unos elementos de sujeción helicoidales interiores y exteriores (22, 24), incluyendo el cuerpo (12) tubular una capa sellante (18), y estando formado por un material que puede resistir temperaturas criogénicas, en el que el tubo exterior (30) comprende una capa de caucho (32) y una capa de refuerzo (34) dispuesta alrededor de la capa de caucho (32), en el que la estructura tubular interior (10) presenta unas propiedades de aislamiento suficientes para proteger el tubo exterior (30) de la baja temperatura del fluido criogénico que fluye dentro de la estructura tubular interior (10) y en el que la estructura tubular interior (10) puede moverse con respecto al tubo exterior (30) durante la flexión del tubo flexible (100).
2. Tubo flexible (100) según la reivindicación 1, en el que el cuerpo (12) tubular comprende al menos dos capas de refuerzo (14, 16) con la capa sellante (18) intercalada entre las mismas.
3. Tubo flexible (100) según la reivindicación 1 o 2, en el que la estructura tubular interior (10) incluye además unos medios de aumento de resistencia axial.
4. Tubo flexible (100) según la reivindicación 3, en el que los medios de aumento de resistencia axial comprenden un trenzado (20) generalmente tubular formado por una lámina de material prevista en forma tubular.
5. Tubo flexible (100) según la reivindicación 3 o 4, en el que los medios de aumento de resistencia axial comprenden una pluralidad de tiras de aumento de resistencia axial que se extienden a lo largo de la longitud del tubo flexible (100).
6. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la o cada capa de refuerzo (16) está formada por una lámina de material que se ha devanado en una forma tubular en la estructura tubular interior (10).
7. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa sellante (18) está formada por una lámina de material que se ha devanado en una forma tubular en la estructura tubular interior (10).
8. Tubo flexible (100) según la reivindicación 1, en el que la capa de aislamiento (26) comprende un elemento alargado, realizado en un material aislante, que presenta unos bordes longitudinales opuestos, devanándose helicoidalmente el elemento alargado alrededor del cuerpo (12) tubular de manera que los bordes longitudinales opuestos de la capa se encuentren en una disposición adyacente o solapante, en el que cada borde longitudinal incluye una formación que puede interacoplarse con una formación cooperante sobre el borde longitudinal opuesto.
9. Tubo flexible (100) según la reivindicación 1, en el que la capa de aislamiento (26) incluye un tejido formado por fibras de basalto.
10. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un conector extremo (28) dispuesto en cada extremo de la estructura tubular interior (10).
11. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los elementos de sujeción interiores y exteriores de la estructura tubular interior (10) son alambres helicoidales (22, 24).
12. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los componentes de la estructura tubular interior (10) pueden moverse unos con relación a otros durante la flexión del tubo flexible (100).
13. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el caucho interior del tubo exterior (30) es una capa de revestimiento que comprende un caucho natural o sintético.
14. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa de refuerzo (34, 36) del tubo exterior (30) es una capa de material de tejido o una capa metálica, o un tejido que incorpora piezas metálicas.
15. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa de refuerzo (34, 36) del tubo exterior (30) es un material polimérico que incorpora ópticamente un refuerzo metálico adicional.
16. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tubo exterior (30) incluye además un alambre helicoidal.
17. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el alambre helicoidal está incrustado en una matriz de caucho, o una matriz de otro material polimérico.

18. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tubo exterior (30) incluye además una capa de cubierta exterior.
- 5 19. Tubo flexible (100) según la reivindicación 18, en el que la capa de cubierta exterior es caucho.
20. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las capas del tubo exterior (30) se han sometido a curado después del ensamblaje, siendo todas las capas íntimamente unidas entre sí para impedir que las capas del tubo exterior (30) se muevan unas con respecto a otras.
- 10 21. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estructura tubular interior (10) y el tubo exterior (30) están dimensionados de manera que la superficie exterior de la estructura tubular interior (10) esté en contacto con la superficie interior del tubo exterior.
- 15 22. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20, en el que la estructura tubular interior (10) y el tubo exterior (30) están dimensionados de manera que exista un espacio anular entre la superficie exterior de la estructura tubular interior y la superficie interior del tubo exterior.
- 20 23. Tubo flexible (100) según la reivindicación 22, en el que están previstos unos medios de separación dentro de dicho hueco anular con el fin de mantener una separación deseada entre la estructura tubular interior y el tubo exterior.
- 25 24. Tubo flexible (100) según la reivindicación 23, en el que dicha estructura tubular interior (10) comprende además un material de aislamiento dispuesto en dicho hueco anular.
- 30 25. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el diámetro interior del tubo exterior (30) es de al menos 150 mm.
26. Tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el diámetro interior de la estructura tubular interior (10) es de al menos 150 mm.
- 35 27. Sucesión de tubos flexibles que comprende una pluralidad de tubos flexibles (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores conectados extremo con extremo.
28. Utilización de un tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para transportar fluidos a una temperatura inferior a -100°C.
- 40 29. Utilización de un tubo flexible (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para transportar fluidos a una temperatura inferior a -150°C.
- 45 30. Sistema para transportar fluidos desde una estructura mar adentro de superficie hasta una estructura mar adentro bajo la superficie que comprende un conducto (318) ascendente conectado operativamente a la estructura mar adentro de superficie y a la estructura mar adentro bajo la superficie de tal manera que el fluido puede fluir desde la estructura mar adentro de superficie hasta la estructura mar adentro bajo la superficie o viceversa, en el que al menos parte del conducto (318) ascendente está formado por un tubo flexible(100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 26.
- 50 31. Sistema según la reivindicación 30, que comprende además una boya (308) ubicada en la superficie (302), en el que el conducto (318) ascendente se extiende desde la boya (308) hasta la estructura mar adentro bajo la superficie, y está soportado por la boya (308).
- 55 32. Sistema según la reivindicación 30, en el que el conducto (318) ascendente se extiende directamente desde la estructura mar adentro de superficie hasta la estructura mar adentro bajo la superficie.
33. Sistema según la reivindicación 30, en el que una boya (308) de superficie está unida a un conector bajo la superficie ubicado en el lecho marino, y el tubo flexible (316) se extiende directamente desde la estructura mar adentro de superficie hasta el conector bajo la superficie.
- 60 34. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 30 a 33, en el que la estructura mar adentro de superficie es un barco (300) o una plataforma flotante.
- 65 35. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 30 a 34, en el que la estructura mar adentro bajo la superficie es una tubería (304) submarina.
36. Procedimiento para transportar un fluido que presenta una temperatura de -100°C que comprende conducir el fluido desde una estructura mar adentro de superficie hasta una estructura mar adentro bajo la superficie utilizando un tubo flexible(100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 26.

Fig. 1.

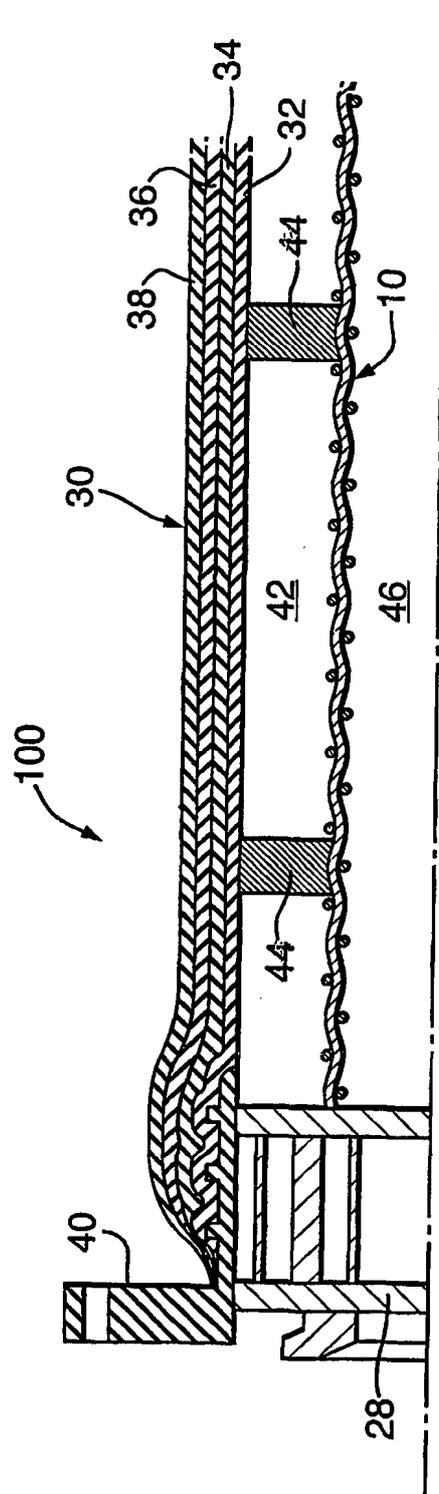


Fig.2.

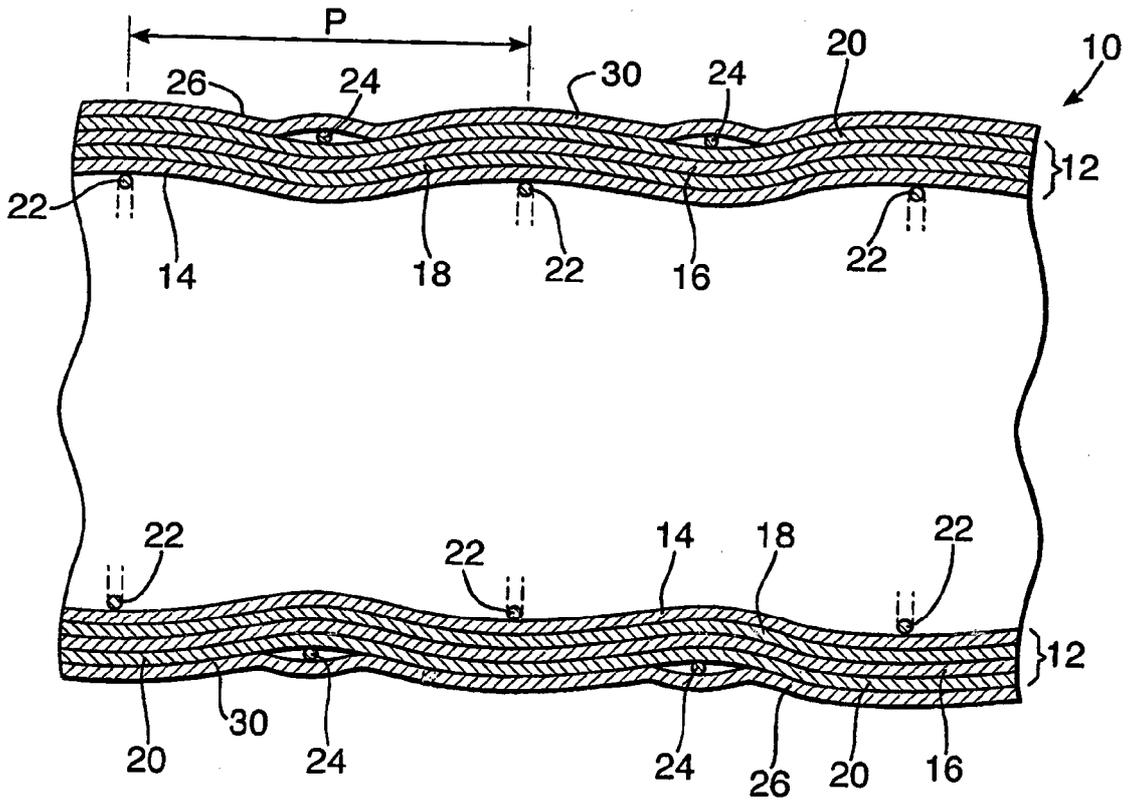


Fig.3.

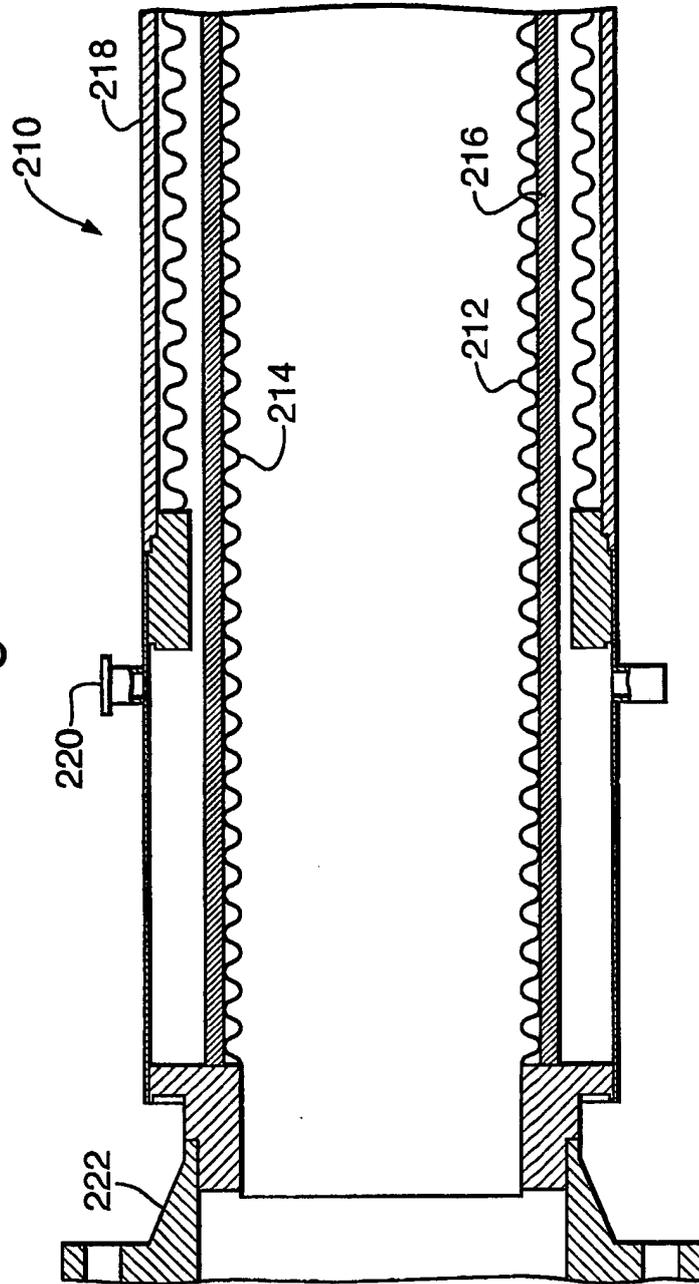


Fig.4.

