



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 304 591**

51 Int. Cl.:  
**F16L 59/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04293045 .3**

86 Fecha de presentación : **20.12.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1557602**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **27.07.2005**

54 Título: **Tubería térmicamente aislada.**

30 Prioridad: **20.01.2004 FR 04 00509**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.10.2008**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.10.2008**

73 Titular/es: **Gaz Transport et Technigaz  
1, route de Versailles  
78470 Saint-Rémy-Lès-Chevreuse, FR**

72 Inventor/es: **Dhellemmes, Jacques y  
Michalski, Pierre**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 304 591 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).

# ES 2 304 591 T3

## DESCRIPCIÓN

Tubería térmicamente aislada.

5 La presente invención se refiere a una tubería térmicamente aislada que se destina en particular al transporte de gas natural licuado, especialmente bajo el nivel del mar, al uso de la misma y a una terminal marítima que comprende esta tubería. Se conoce una tubería de este tipo, por ejemplo, por el documento US 4014369.

10 Es una práctica conocida la utilización de tuberías de aleación de acero inoxidable o níquel para el transporte superficial de gas licuado entre un buque metanero en muelle destino y un depósito de almacenamiento en tierra. Cuando este tipo de tuberías son puestas en servicio, el enfriamiento de las tuberías desde la temperatura ambiente hasta una temperatura muy baja, por ejemplo, de  $-162^{\circ}\text{C}$  en el caso de metano líquido a presión atmosférica, va acompañado por la retracción de los materiales que constituyen la tubería. Para evitar que las tuberías sean dañadas como resultado de una retracción violenta, se proporcionan mecanismos que compensan la retracción térmica, en forma de lira, es decir, con una desviación lateral en forma de U en una porción de tubo, o en forma de compensadores, es decir, con una porción de tubo ondulada a modo de fuelle.

15 Además, la tubería debe comprender necesariamente un aislamiento térmico para evitar el calentamiento del gas licuado y por lo tanto, limitar la vaporización del mismo.

20 La Solicitud de Patente Francesa FR-A 2 748 545 describe una tubería térmicamente aislada para el transporte de gas natural licuado. Esta tubería comprende dos tubos coaxiales, un aislante térmico que llena el espacio tubular contenido entre estos tubos bajo un vacío industrial controlado, y también un revestimiento exterior de hormigón que actúa como lastre. El tubo externo consiste en acero, mientras que el tubo interno está hecho de Invar.

25 En las tuberías lastradas convencionales, si llega a romperse el lastre exterior, la canalización se hace localmente menos densa que el agua y se eleva desde el fondo. Una vez iniciado, este fenómeno es propagado espontáneamente a lo largo de la tubería, que entonces cede o se eleva hacia la superficie.

30 Además, la Solicitud de Patente Francesa FR-A-2 746 891 describe una tubería térmicamente aislada para el transporte de productos petrolíferos. Esta tubería comprende dos tubos coaxiales y un aislante térmico que llena parcialmente el espacio tubular contenido entre estos dos tubos bajo un vacío industrial controlado.

35 El objetivo de la invención es proponer una nueva tubería térmicamente aislada que presenta numerosas cualidades. En particular, el objetivo de la invención es proporcionar una tubería que ofrece un alto nivel de aislamiento térmico y de seguridad operativa.

Para este fin, un objeto de la invención es una tubería térmicamente aislada que comprende desde el interior hacia el exterior:

- 40 - un primer tubo estanco,
- una primera capa de aislamiento térmico,
- un segundo tubo estanco,
- 45 - una segunda capa de aislamiento térmico hecha de material aislante, y
- un lastre hecho de material con una densidad por encima de la densidad del agua de mar,

50 caracterizada porque dicha primera capa de aislamiento térmico está hecha de material aislante, dicha tubería además comprende un revestimiento estanco de protección que es resistente a los impactos en el exterior de dicho lastre.

La capa doble de aislamiento permite minimizar la amplitud de los ciclos térmicos a los cuales es sometido el segundo tubo, mientras que al mismo tiempo mantiene un segundo aislamiento con la capacidad de aislar térmicamente el lastre de hormigón y el revestimiento de acero de cualquier invasión del primer aislamiento por el líquido.

55 En virtud de la superposición de los dos tubos y del revestimiento de protección, la presente invención aporta a la instalación una seguridad más elevada, tanto para esta aplicación como para otras aplicaciones industriales similares.

Incluso en el caso de la fractura del lastre, el lastre es mantenido en su lugar por el revestimiento y como resultado el peso aparente de la tubería permanece sin cambio, lo que evita que la tubería se eleve o se rompa.

60 Preferentemente, al menos un elemento del grupo que consiste en el primer tubo, el segundo tubo y el revestimiento de protección tiene unas características mecánicas tales que:

- 65  $Re > E \cdot \alpha \cdot \Delta T$
- en donde E es el módulo de elasticidad del material constituyente,
  - $\alpha$  es el coeficiente de dilatación térmica del material constituyente,

## ES 2 304 591 T3

-  $\Delta T$  es la diferencia entre la temperatura de servicio de dicho elemento y la temperatura ambiente,

- y  $R_e$  es el límite elástico del material a la temperatura de servicio del elemento.

5 Estas características permiten, para el elemento correspondiente, prescindir en su caso del sistema de compensación de la contracción térmica. Por lo tanto, en el caso del transporte de gas líquido, como en el caso de otras aplicaciones industriales similares, la presente invención propone un método particularmente simple de reajuste de la dilatación térmica.

10 Ventajosamente, los dos tubos presentan estas características.

Ventajosamente, al menos uno de los tubos estancos consiste en una aleación con un alto contenido de níquel. Estas aleaciones, como por ejemplo, el Invar, permiten obtener las características mecánicas anteriores.

15 De acuerdo con una realización, el segundo tubo estanco está hecho de un material compuesto basado en resina de polímero. El uso de este material para producir el segundo tubo estanco ocasiona una reducción significativa en los costos de fabricación de la tubería. Además, los materiales compuestos también pueden ser seleccionados de modo que presenten las características mecánicas anteriores.

20 Ventajosamente, los dos tubos y el revestimiento externo cumplen con este criterio, lo que permite la producción de una tubería en su caso desprovista de sistema de compensación de la contracción térmica.

De acuerdo con otra realización, al menos uno de los tubos está provisto de al menos un sistema de compensación de la contracción térmica. Este sistema permite mejorar la recuperación de los efectos térmicos.

25 Preferentemente, dicho sistema de compensación de la contracción térmica se presenta en forma de un manguito que comprende al menos una corrugación radial.

30 De manera preferida, al menos un elemento del grupo que consiste en el primer tubo, el segundo tubo y el revestimiento de protección está anclado por sus extremos en apoyos fijos que aseguran la recuperación de las tensiones térmicas a las que está sometido el elemento.

35 Ventajosamente, el lastre consiste en un material que tiene la capacidad de ser vaciado en forma de líquido, polvo o granulado dentro del volumen cilíndrico contenido entre la segunda capa de aislamiento y el revestimiento de protección. Preferentemente, el lastre comprende hormigón en el interior del revestimiento de protección. Esto es debido a que el hormigón es fácil de vaciar, actuando el revestimiento como molde. Además, el hormigón está entonces protegido del medio ambiente externo por el revestimiento de acero, dotando al conjunto de una buena resistencia al impacto y de una estanqueidad perfecta.

40 La composición del tubo y la elección de la naturaleza de los materiales contribuyen a la ejecución y explotación sencilla de la invención. En efecto, el uso del hormigón permite superar las restricciones de montaje encontradas en las técnicas convencionales de producción. El vaciado del hormigón dentro de un revestimiento de acero también permite conseguir beneficios en forma óptima a partir de la buena elasticidad mecánica del acero, con lo que se reduce la sensibilidad al impacto de la tubería, mientras que al mismo tiempo permite realizar la inspección visual del revestimiento con la finalidad de detectar cualquiera de los puntos de corrosión.

45 Incluso de una manera más preferible, una película de protección está colocada entre el lastre de hormigón y la capa secundaria de aislamiento térmico. La película de protección tiene la tarea de evitar que la lechada de hormigón invada la capa secundaria de aislamiento durante el proceso de vaciado.

50 Ventajosamente, el lastre comprende al menos un conducto hueco proporcionado en el último, que puede ser utilizado para la ventilación o el drenaje. Preferentemente, el conducto hueco está colocado en la dirección longitudinal y sobre la longitud total de dicha tubería. El conducto hueco además permite evacuar el agua exudada del hormigón durante el secado o detectar cualquier intrusión de agua de mar. Si es necesario, también permite la circulación del gas inerte.

55 Preferentemente, al menos una de las capas de aislamiento térmico está hecha de un material que tiene una conductividad térmica por debajo de  $20 \cdot 10^{-3} \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a temperatura ambiente, preferentemente, por debajo de  $16 \cdot 10^{-3} \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a  $-160^\circ\text{C}$ . De manera general, los aerogeles satisfacen este criterio.

60 Con este aislamiento, el vacío industrial controlado deja de ser obligatorio para garantizar un aislamiento térmico satisfactorio, lo que evita la provisión de aparatos de despresurización y un dimensionamiento específico de las tuberías necesarias para la implantación del vacío industrial controlado. Por lo tanto, la invención permite prescindir del vacío industrial controlado mencionado con anterioridad mediante la utilización de materiales de aislamiento de alta eficacia, y de esta manera, simplifica la ejecución y explotación de la tubería.

65 Ventajosamente, al menos una de las capas de aislamiento térmico está hecha de un material nanoporoso de tipo de aerogel. Un aerogel es un material sólido de baja densidad que tiene una estructura que es extremadamente fina y altamente porosa (hasta 90%). Por ejemplo, éste aerogel puede ser fabricado a partir de diversos materiales que comprenden la sílice, alúmina, carburo de hafnio y también variedades de polímeros. Su estructura nanométrica le

## ES 2 304 591 T3

proporciona propiedades únicas de aislamiento térmico, dado que la distancia promedio recorrida por las moléculas de gas y por lo tanto, el transporte de energía y masa dentro de este son reducidas. Este tipo de aerogel ofrece una conductividad térmica de dos a cuatro veces por debajo de la conductividad de otros aislantes, por ejemplo, del tipo de sólido o espuma aislante.

De acuerdo con una realización de la invención, al menos una de las capas de aislamiento térmico se encuentra en constitución textil. De acuerdo con otra realización particular de la invención, al menos una de las capas de aislamiento térmico está presente en una forma de polvo o granulado permitiendo que ésta sea vaciada dentro del volumen que se pretende que la reciba. Por ejemplo, una capa de aislamiento térmico tal como ésta, podría estar en la forma de perlas. El uso de materiales en forma de polvo o granulado permite que se facilite el montaje de la tubería, en particular, mediante la imposición de tolerancias menos precisas que en las técnicas anteriores de realización. En efecto, estos materiales permiten los errores de posicionamiento entre los tubos sin provocar la discontinuidad del aislamiento.

De manera más preferible, esta o estas capas de aislamiento en forma de polvo o granulado, comprende o comprenden al menos un tramo cerrado en su o sus dos extremos longitudinales mediante dispositivos de bloqueo hechos de material aislante. Estos dispositivos de bloqueo podrían ser permeables a los gases. Estos dispositivos de bloqueo también podrían ser atravesados en dirección longitudinal por medio de agujeros que son tapados, en su caso, por filtros permeables a los gases, por ejemplo, del tipo de tela de fibra de vidrio. La permeabilidad a los gases permite, por ejemplo, que se realice la nivelación del nitrógeno.

Ventajosamente, la capa de aislamiento térmico en una forma de polvo o granulado comprende al menos una barra de separación hecha de material aislante, que está colocada en paralelo a la tubería y tiene un espesor que es sustancialmente igual al espesor de la capa de aislamiento térmico. Las barras de separación pueden ser permeables a los gases.

De acuerdo con una realización específica de la invención, se coloca un dispositivo que detecta fugas, que podría ser por ejemplo, una fibra óptica, en la dirección longitudinal sobre la longitud total de la tubería, entre el primer tubo y el revestimiento de protección.

Ventajosamente, la tubería está formada por tramos prefabricados que pueden ser conectados extremo con extremo. En la región de estas conexiones, las capas de aislamiento térmico son ventajosamente de constitución textil. El revestimiento y los tubos estancos podrían ser conectados con la ayuda de piezas añadidas o directamente mediante un cordón de soldadura.

Incluso de una manera más ventajosa, los tramos tienen al menos un extremo escalonado, teniendo los elementos constituyentes de dichos tramos una extensión longitudinal decreciente unos respecto de otros en sentido radial hacia el exterior. Esta configuración de los tramos forma compensaciones que facilitan su montaje.

La invención también proporciona un uso de la tubería antes mencionada en este documento para el transporte de un fluido a baja temperatura. El fluido de baja temperatura podría ser por ejemplo, gas licuado.

De acuerdo con una realización particular, un gas inerte se hace circular al menos a través de una de las capas de aislamiento térmico. No obstante, la circulación del gas inerte es propuesta en una realización preferida con el fin de evitar la formación de una mezcla explosiva provocada por el gas que se origina al entrar en contacto un posible escape o fuga con el aire contenido en el aislamiento térmico. El gas inerte puede hacerse circular a una presión por encima de la presión atmosférica.

Otro objeto de la invención es una terminal marítima para el transporte de gas licuado, que se caracteriza porque comprende una estación de carga y descarga conectada a una instalación en tierra al menos mediante una tubería de acuerdo con la invención, siendo posible que los extremos de la tubería sean anclados en apoyos fijos. La instalación de tierra es por ejemplo, parque de almacenamiento de gas licuado.

La invención será mejor entendida, y otros objetivos, detalles, características y ventajas de la misma serán aparentes con mayor claridad en el curso de la descripción explicativa detallada que sigue a continuación de diversas realizaciones de la invención proporcionadas por medio de ejemplos simplemente ilustrativos y no limitantes, con referencia a las figuras esquemáticas adjuntas.

En estas figuras:

La Figura 1 es una vista lateral del extremo de un tramo de tubería de acuerdo con una primera realización de la presente invención;

La Figura 2 es una vista parcial en corte longitudinal del tramo de tubería de acuerdo con la Figura 1 a lo largo del eje II-II;

La Figura 3 es una vista ampliada de una región de la Figura 2 denotada por III;

La Figura 4 es un corte transversal del tramo de tubería de la Figura 2 a lo largo de la línea IV-IV;

La Figura 5 es una vista ampliada de una región de la Figura 4 denotada por V;

## ES 2 304 591 T3

La Figura 6 es una vista en perspectiva de un tubo interior del tramo de tubería de la Figura 1, que presenta los dispositivos de bloqueo y las barras de separación;

La Figura 7 es un corte transversal de la tubería de acuerdo con la primera realización en la región de una conexión entre dos tramos de tubería;

La Figura 8 es una vista parcial ampliada de la conexión de la Figura 7 en corte longitudinal a lo largo de la línea VIII-VIII;

La Figura 9 es una vista en perspectiva en despiece de los distintos elementos añadidos que constituyen una conexión en el extremo de un tramo de tubería;

La Figura 10 es un diagrama que representa la configuración de una terminal marítima para el transporte de gas licuado, que comprende la tubería de acuerdo con la primera realización;

La Figura 11 es una vista longitudinal en corte parcial de un extremo de la tubería de la Figura 10 anclada en un apoyo fijo;

La Figura 12 es un diagrama que representa un perfil de temperatura en distintos puntos sobre la tubería de la Figura 10;

La Figura 13 es una vista parcial en corte de un sistema de compensación de la contracción térmica en una tubería de acuerdo con una segunda realización de la invención, y

La Figura 14 es una vista parcial ampliada de otra realización de la conexión de la Figura 7 en corte longitudinal a lo largo de la línea XIV-XIV.

A continuación, con referencia a las Figuras 1-6, se describe un tramo T de la tubería C de acuerdo con la primera realización. El tramo T, visto desde el interior hacia el exterior, tiene una estructura de capas múltiples con un primer tubo estanco 1, una primera capa de aislamiento denominada capa primaria de aislamiento 2, un segundo tubo estanco 3, una segunda capa de aislamiento denominada capa secundaria de aislamiento 4, una película protectora 13, un revestimiento de hormigón 5 y un revestimiento de protección 6.

Las Figuras 1, 2 y 3 ilustran la configuración de los extremos E del tramo T.

De acuerdo con la Figura 2, un tramo T comprende un primer tubo 1 de forma cilíndrica y de sección transversal circular. Este primer tubo 1 es estanco y consiste en un material que tiene un bajo coeficiente de dilatación. Este podría consistir, por ejemplo, de Invar, disponible especialmente a partir de Imphy Alloys (es decir, aleaciones de níquel y cobalto).

El primer tubo 1 permite que el fluido transportado, que se prefiere sea gas licuado, pase a través de su luz 7. Este constituye una primera barrera de estanqueidad con respecto al fluido transportado.

Una capa primaria de aislamiento 2 rodea el primer tubo 1 a nivel de su superficie externa. Esta capa primaria de aislamiento 2 está menos extendida en dirección longitudinal que el tubo primario 1. Esta consiste en un material que tiene una baja conductividad térmica, es decir, que se encuentra por debajo de  $20 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a temperatura ambiente. Este material podría ser, por ejemplo, un aerogel cuya conductividad térmica se encuentra por debajo de  $16 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a  $-160^\circ\text{C}$ . Preferentemente, el aerogel utilizado en esta capa de aislamiento 2 está en forma de perlas. Las perlas adecuadas de aerogel se encuentran especialmente disponibles a partir de Cabot Corporation.

Unos dispositivos de bloqueo 8 de forma tórica ocupan el extremo de la capa primaria de aislamiento 2, en cada extremo E de los tramos T.

Como puede observarse en las Figuras 4, 5 y 6, la capa primaria de aislamiento 2 comprende, en dirección longitudinal, pares de barras de separación 14 espaciadas en la dirección azimutal. Estas barras 14, de acuerdo con las Figuras 4 y 5, se encuentran separadas mediante un ángulo que es sustancialmente igual a  $90^\circ$  y están situadas en cualquier lado de la línea de generación inferior de la capa primaria de aislamiento 2. De acuerdo con la Figura 6, cada tramo T tiene cinco pares de barras de separación 14. Preferentemente, los dispositivos de bloqueo 8 y las barras de separación 14 consisten en un material permeable a los gases cuya conductividad térmica se encuentra cerca a la conductividad térmica del aerogel de la capa 2. Este material podría ser, por ejemplo, una espuma fenólica o una espuma de poliuretano.

En consecuencia, no se forman puentes térmicos entre el primer tubo 1 y los otros elementos del tramo T.

Como una variante, las barras de separación 14 podrían estar apartadas mediante un ángulo distinto y podrían variar en número, en tamaño, en forma y en disposición en el plano azimutal. También es posible considerar que estas barras de separación 14 se presentan en forma de una alineación longitudinal única de tiras a lo largo de la línea de generación inferior de la capa primaria de aislamiento 2.

## ES 2 304 591 T3

La capa primaria de aislamiento 2 sirve para limitar el suministro del calor que proviene del medio ambiente externo hacia el primer tubo 1.

Los dispositivos de bloqueo 8 permiten confinar las perlas de aerogel dentro de la capa primaria de aislamiento 2. Un primer dispositivo de bloqueo 8 es colocado en uno de los extremos de la capa primaria de aislamiento 2 para formar un receptáculo estanco. Un segundo dispositivos de bloqueo 8 es colocado en el otro extremo de la capa primaria de aislamiento 2 después que esta última ha sido llenada con perlas de aerogel.

Finalmente, el primer tubo 1 es soportado por el segundo tubo 3 al menos por medio de una barra de separación presente en la capa primaria de aislamiento 2, es decir, los parece barras de separación 14 en el ejemplo representado. En forma específica, las barras de separación 14 permiten la transmisión del peso propio del primer tubo 1 hacia el segundo tubo 3 sin dañar la capa primaria de aislamiento 2.

Preferentemente, los dispositivos de bloqueo 8 son permeables a los gases, lo que permite la circulación de un gas inerte, que podría ser gas nitrógeno, dentro de la capa primaria de aislamiento 2 evitando con esto la formación de una mezcla explosiva debido al fluido transportado que está siendo traído en contacto con el aire en el caso de una pérdida de estanqueidad del primer tubo 1. La capa primaria de aislamiento 2 puede ser nivelada con gas inerte mediante la inyección de nitrógeno ( $N_2$ ) en uno de los extremos de la capa primaria de aislamiento 2. El gas inerte puede ser circulado mediante la aplicación de presión en uno de los extremos de la capa primaria de aislamiento 2 y puede ser extraído en el otro extremo. La inertización de la capa primaria de aislamiento 2 puede permitir que se vigile el gas presente en esta capa 2 y consecuencia, que se detecte cualquier escape o fuga.

De acuerdo con la Figura 1, cada dispositivo de bloqueo 8 es atravesado en dirección longitudinal por ocho agujeros 9. Estos agujeros 9 son cerrados por un material permeable de gas. Sin embargo, si los dispositivos de bloqueo 8 fueran permeables a los gases, entonces, los agujeros 9 serían opcionales. Los agujeros 9, cuyo número y disposición pueden variar en los dispositivos de bloqueo 8 y que son cerrados por un material permeable a los gases, tal como una tela de fibra de vidrio unida, son utilizados para facilitar la circulación del gas inerte mientras que no permiten que escapen en la capa primaria de aislamiento 2 es decir, las perlas de aerogel.

Un segundo tubo 3, también estanco y de sección transversal circular, es colocado alrededor de la capa primaria de aislamiento 2, en posición coaxial con el primer tubo 1. En esta realización, el segundo tubo 3 consiste en el mismo material y tiene el mismo espesor que el primer tubo 1. Este tubo difiere del primer tubo 1 en que está menos extendido en dirección longitudinal que el primer tubo 1 en cada extremo E. También puede observarse que el segundo tubo 3 tiene la misma longitud que la capa primaria de aislamiento 2 subyacente. Esto implica que está previsto un espacio libre correspondiente entre el primer tubo 1 y el segundo tubo 3.

Este segundo tubo 3 también constituye una barrera de estanqueidad con respecto al fluido transportado en el caso de invasión de la capa primaria de aislamiento 2 por el gas seguido de un escape del primer tubo 1. El segundo tubo 3 también juega un papel en la reducción de la contracción de la tubería C en comparación con tuberías convencionales. En efecto, al estar hecho de un material con un bajo coeficiente de dilatación, tal como el Invar, como el primer tubo 1, éste se dilata menos que cualquier otro metal y, del mismo modo que el primer tubo 1, evita la necesidad de instalar medios de compensación de las tensiones de dilatación, por ejemplo, compensadores de forma de lira o del tipo de fuelle.

Una capa secundaria de aislamiento 4 rodea el segundo tubo 3. Esta capa secundaria de aislamiento 4 consiste en dos capas superpuestas, la capa interna 41 y la capa externa 42. Estas capas consisten en un material que tiene una baja conductividad térmica, que puede ser, por ejemplo, un material nanoporoso hecho de aerogel, preferentemente de constitución textil, con una conductividad térmica de  $12 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a una temperatura de  $-160^\circ\text{C}$ . Este material también será ventajosamente permeable a los gases. Un tejido adecuado de aerogel se encuentra disponible sobre todo a partir de la empresa Aspen Aerogels. Cada capa interna 41 o externa 42 consiste en dos estructuras laminares o medios forros en un modo similar al de las capas 141 y 142 representadas en la Figura 9. De acuerdo con un ejemplo específico, el espesor de la capa interna de aislamiento 41 es de 19,2 mm y el espesor de la capa externa 42 es de 22,4 mm. Los medios forros que forman la capa externa 42 son dimensionados, en particular en términos de espesor, para acomodar un recubrimiento hueco 15 de una sección transversal circular que atraviesa longitudinalmente el tramo T sobre su longitud total, en la unión inferior de los dos medio forros que constituyen la capa externa 42. Este recubrimiento 15 se pretende que aloje un sistema de fibra óptica o cualquier otro sistema para la detección y localización de una fuga. El recubrimiento 15 tiene un extremo ensanchado 16a en la forma de un receptáculo de campana, que se conecta con el otro extremo 16b del recubrimiento 15 de un tramo adyacente T. La capa secundaria de aislamiento 4 es menos extendida en dirección longitudinal que el segundo tubo 3. Esto implica que una compensación adicional es proporcionada entre la capa secundaria de aislamiento 4 y el segundo tubo 3. La capa secundaria de aislamiento 4 podría consistir en un número distinto de capas, podría consistir en otro material o podría no alojar, dentro de su espesor, un recubrimiento 15 para una fibra óptica.

La capa secundaria de aislamiento 4 es utilizada para limitar el suministro de calor que proviene del medio ambiente externo hacia el segundo tubo 3. Esta capa también es utilizada para aislar térmicamente el exterior del segundo tubo 3 y evita el enfriamiento excesivo del revestimiento exterior de protección 6 en el caso de invasión de la capa primaria de aislamiento 2 por el gas licuado subsiguiente a un escape del primer tubo 1. Preferentemente, la capa secundaria de aislamiento 4 es permeable a los gases. Esto implica que también es posible hacer circular un gas inerte, que podría ser

## ES 2 304 591 T3

nitrógeno, dentro de esta capa de aislamiento 4 con un objetivo similar al objetivo previamente descrito para la capa de aislamiento 2.

La fibra óptica (no se representa), que está preferiblemente colocada en el recubrimiento 15, forma parte del dispositivo de detección de fugas. Este dispositivo que detecta y localiza una fuga es un sensor lineal de temperatura de tipo de fibra óptica (DTS: un sensor de temperatura distribuida) que es utilizado para detectar y localizar cualquier punto anormal frío dentro de la capa externa 42 debido a cualquier escape de gas licuado. La fibra óptica es colocada en el recubrimiento 15 una vez que la tubería C sea ensamblada. Esta fibra podría ser traída a lo largo de la tubería utilizando por ejemplo, una fibra aramídica o podría ser empujada utilizando aire comprimido. También podría ser reemplazada en el mismo modo que fue instalada, sin intervención sobre la tubería C, trayéndola a lo largo de la tubería si se utiliza, por ejemplo, la misma fibra aramídica. También es posible considerar la instalación de este dispositivo de localización de fugas cuando se unan los tramos. Se prefiere situar la fibra óptica en la capa externa 42 de la capa secundaria de aislamiento 4 debido a diversas razones. En primer lugar, en esta posición en el caso de cualquier fuga, la fibra óptica detecta las variaciones de amplitudes significantes y no está sometida a ciclos térmicos demasiado grandes que podrían dañar su operación. Finalmente, en esta posición, la amplitud de la señal de la fibra óptica se mantiene en forma aceptable a pesar de la baja temperatura.

Un revestimiento de protección 6, también de sección transversal circular, es colocado en posición coaxial alrededor de la capa secundaria de aislamiento 4 a una distancia de la misma. El revestimiento de protección 6 es proporcionado, sobre su línea de generación superior, con los dispositivos de elevación 61. De acuerdo con la Figura 9, los dispositivos de elevación 61 tienen forma de una barra cuya longitud es menor que la longitud del tramo T, estando colocada ésta barra en la dirección longitudinal del tramo T a la mitad entre los extremos E. Los dispositivos de elevación 61 son atravesados en dirección transversal por los orificios 62. El revestimiento de protección 6 está hecho de acero que es proporcionado con un espesor en exceso y con un revestimiento anti-corrosión para limitar la corrosión mediante el agua del mar. El espesor de exceso también permite la protección de la tubería C de cualquier impacto externo.

Por su parte, los dispositivos de elevación 61 permiten que la tubería C sea elevada y manipulada por medio de sus orificios 62. El revestimiento de protección 6 es menos extendido en dirección longitudinal que la capa secundaria de aislamiento 4, lo que crea un espacio libre adicional entre el exterior de la tubería C y la capa secundaria de aislamiento 4.

Una película protectora 13 puede ser colocada alrededor de la capa secundaria de aislamiento 4 para evitar que ésta sea invadida por el hormigón.

Un revestimiento de hormigón 5 es vaciado y llena el espacio tubular contenido entre la parte central de la tubería (el tubo 1, la capa de aislamiento 2, el tubo 3, la capa de aislamiento 4 y cualquier película protectora 13) y el revestimiento de protección 6. Un conducto hueco 12 es colocado en la dirección longitudinal y a través de la longitud total del tramo T. Este conducto hueco 12 podría tener una sección transversal circular.

El revestimiento de hormigón 5 permite que se proporcione al tubo vacío una densidad total que se encuentra por encima de la densidad del agua de mar, de modo que la tubería C se apoya naturalmente sobre el fondo del mar en el estado vacío (la densidad del hormigón cargado alrededor del tubo 3). La masa aparente del tubo sumergido debe ser más grande de 10 kilogramos por metro. Esto limita los movimientos experimentados por la tubería C y por lo tanto, también limita el daño a la misma. El conducto hueco 12 permite no sólo purgar la infiltración de agua de mar en el revestimiento de hormigón 5 seguido de cualquier fuga del revestimiento de protección 6 que lo rodea, sino que también descarga el agua que se origina del secado del hormigón vaciado y, en su caso, también hace circular un gas inerte. La función del conducto hueco 12 es drenar o ventilar la tubería.

La película protectora 13, que es opcionalmente colocada alrededor de la capa secundaria de instalación 4, tiene la función de proteger la última de la invasión de la lechada del hormigón 5 cuando éste es vaciado dentro del revestimiento de protección 6. Esta película también debe proteger la capa secundaria de aislamiento 4 del efecto abrasivo del revestimiento de hormigón 5 y de cualquier fricción entre la capa secundaria de aislamiento 4 y el revestimiento de hormigón 5 debido a las diferencias en la contracción térmica durante el paso de gas líquido.

La tubería C está formada por los tramos T conectados extremo con extremo a nivel de los extremos E. Los tramos T miden, por ejemplo, cuatro metros de longitud. Estos tramos son conectados extremo con extremo para formar una tubería C de la longitud deseada, por ejemplo, aproximadamente de 5000 metros. La longitud de los tramos T y el número de los mismos podría obviamente variar en función de la aplicación. Como se ha descrito con anterioridad, los distintos elementos que constituyen un tramo T tienen, unos respecto de otros, una reducción de extensión longitudinal en la dirección radial hacia afuera. Esta estructura escalonada de los extremos E del tramo T permite facilitar las operaciones de soldadura junto con los distintos tramos T. En efecto, esta estructura crea espacios libres que facilitan el acceso a las estructuras más profundas, tal como por ejemplo, al primer tubo 1. Por lo tanto, el espacio libre creado también hará posible suministrar piezas añadidas para las operaciones de soldadura y para situar las capas de materiales de aislamiento en la región de las conexiones.

La estructura de una conexión entre dos tramos T está representada por las Figuras 7, 8 y 9.

Los primeros tubos 1 de las dos tramos adyacentes T1 y T2 son soldados extremo con extremo mediante un cordón de soldadura.

## ES 2 304 591 T3

Entonces, dos capas primarias de aislamiento 102 son colocadas alrededor de la soldadura de los primeros tubos 1: la capa interna primaria de aislamiento 121 y la capa externa primaria de aislamiento 122. Cada una de las capas primarias de aislamiento, tanto interna, 121 como externa 122, son formadas por un par de medios forros, que se representan en la Figura 9, que consisten por ejemplo, en material aislante de constitución textil que puede ser aerogel.  
5 Los planos de unión de los dos pares de medios forros son perpendiculares entre sí.

A continuación, los segundos tubos 3 de las dos tramos T1 y T2 son soldados entre sí con la ayuda de las partes añadidas que de acuerdo con la realización representada, tienen forma de medios forros 103, aunque también podrían tener forma de un anillo dividido. Los dos medios forros 103 hechos de Invar son soldados de un modo estanco con los segundos tubos 3 mediante cordones periféricos de soldadura y entre sí mediante cordones longitudinales de soldadura.  
10

A continuación, las dos capas secundarias de aislamiento 104 son colocadas alrededor de los medios forros 103 que conectan los segundos tubos 3: la capa interna secundaria de aislamiento 141 y la capa externa secundaria de aislamiento 142. Las capas secundarias de aislamiento, tanto interna 141 como externa 142, tienen la misma composición que las capas primarias de aislamiento, tanto interna 121 como externa 122 mencionadas con anterioridad. La capa externa secundaria de aislamiento 142 permite que el recubrimiento 15 pase a través en la región de la unión inferior de sus dos medios forros. Además, el recubrimiento 15 de la fibra óptica es deslizado hacia esta unión después de la soldadura de los medios forros 103 para no interferir con esta soldadura. El uso de pares de medios forros preformados para las capas de aislamiento, tanto primaria 102 como secundaria 104, permite la simplificación de las operaciones de manejo e instalación del aislamiento. El uso de pares de medios forros de distintos colores simplifica adicionalmente la superposición de los mismos.  
15  
20

Entonces, es colocado un par de medios forros de hormigón 105 alrededor de las capas secundarias de aislamiento 104. Cada medio forro 105 es atravesado en dirección longitudinal por medio de un conducto hueco 112 a través de su línea de generación superior. Este conducto hueco 112 en el medio forro inferior permite la conexión de los conductos suecos 12 de los tramos sucesivos T1 y T2.  
25

Una película protectora 13, que no está representada en la Figura 9, podría ser opcionalmente añadida entre las capas secundarias de aislamiento 104 y los medios forros de hormigón 105.  
30

Finalmente, los revestimientos de protección 6 de los dos tramos T1 y T2 son conectados con la ayuda de una pieza añadida externa que ventajosamente tiene forma de un anillo dividido 106 que es acoplado con el tubo adyacente 6 de diámetro más grande. El anillo dividido 106 es traído en dirección longitudinal a lo largo de uno de los tramos hasta que se encuentra en el nivel de la conexión para que sea soldado con los extremos de los revestimientos de protección 6 de los tramos adyacentes T1 y T2 mediante dos cordones periféricos estancos de soldadura.  
35

### *Ejemplo específico de dimensionamiento*

El diámetro interno del primer tubo 1 es de 800 mm y su espesor es de 3 mm. El diámetro interior está justificado por las primeras estimaciones de pérdida de carga. El espesor del primer tubo 1 fue estimado en 3 mm como una función de la presión de estancamiento de las bombas de un buque metanero, permitiendo un esfuerzo igual a 66% del límite elástico.  
40

El espesor de la capa primaria de aislamiento 2 es de 40 mm. El segundo tubo 3 tiene un diámetro externo de 892 mm y éste está menos extendido en dirección longitudinal que el primer tubo 1, siendo 150 mm más corto en cada extremo E.  
45

La capa secundaria 4, que también tiene un espesor de 40 mm, está menos extendida en dirección longitudinal que el segundo tubo 3, siendo 100 mm más corto en cada extremo E.  
50

El revestimiento de protección 6 tiene un espesor aproximadamente de 16 mm.

El revestimiento de hormigón 5 tiene un espesor aproximadamente de 55 mm y el conducto hueco 12 tiene un diámetro aproximadamente de 40 mm.  
55

Para un tramo T de 4000 mm, la longitud del primer tubo 1 es de 4000 mm, la longitud de la capa primaria de aislamiento 2 y del segundo tubo 3 es de 3700 mm, la longitud de la capa secundaria de aislamiento 4, de la película de protección 13 y del revestimiento de protección 6 es de 3500 mm, y la longitud del revestimiento de hormigón es de 3480 mm.  
60

Como se ilustró en la Figura 10, ahora será proporcionada una descripción de una terminal marítima en la cual la tubería C descrita con anterioridad es utilizada para transportar el gas licuado entre una estación de carga y descarga P y una instalación de tierra I. La referencia 75 denota el nivel del mar.

La estación de carga y descarga P se refiere a una instalación fija situada en la plataforma continental. La estación de carga y descarga P comprende un brazo en movimiento 71, y una plataforma 24 que es soportada por los pilares o puntales 70 y que sostiene el brazo en movimiento 71. Una torre fija de hormigón 25 es construida por debajo de la plataforma 24. El brazo en movimiento 71 lleva un manguito (no se muestra en la Figura 10) que puede ser conectado con las líneas de carga/descarga de un buque metanero de acuerdo con la técnica anterior. El brazo en movimiento 71  
65

## ES 2 304 591 T3

es acoplado con un tubo de conexión 23 que se extiende entre la plataforma 24 y el fondo del mar F en el interior de la torre fija 25. En la parte inferior de la torre fija 25, el tubo de conexión 23 es acoplado con la tubería C mediante una parte fija de apoyo B que se encuentra embebida en el hormigón 26.

5 La estación de carga y descarga P, por medio de su brazo móvil orientable 71, que está adaptado a todas las estimaciones de buques metaneros, permite la carga del buque metanero (no se muestra) con líquido o la descarga del líquido a partir del mismo.

10 Del mismo modo, la instalación de tierra I comprende un tubo de conexión 23a, que está conectado con los depósitos de almacenamiento de gas licuado (no se muestran) y que se extiende tanto como hasta el fondo del mar F en el interior de una torre fija 25a. En la parte inferior de la torre fija 25a, el tubo de conexión 23a está conectado del mismo modo con la tubería C mediante una parte fija de apoyo B que se encuentra embebida en el hormigón 26. Los tubos de conexión no sumergidos 23 y 23a pueden ser diseñados de acuerdo con la técnica anterior, por ejemplo, en la forma de tubos de acero inoxidable alineados con un aislamiento adecuado y son proporcionados con sistemas de compensación.

15 Los extremos de la tubería C son anclados en las partes fijas de apoyo B en una estación de carga o descarga P y en una instalación de tierra I.

20 La tubería C, que conecta la estación de carga y de descarga P y la instalación de tierra I, se apoya sobre el fondo del mar F. Esta tubería permite que el gas licuado sea transferido entre la estación de carga o descarga P y la instalación de tierra I a través de una larga distancia, por ejemplo, de 5 kilómetros, lo que permite que la estación P sea colocada a una larga distancia de la costa. Dos tuberías C, dimensionadas de acuerdo con el ejemplo anterior, pueden transportar el gas licuado a un caudal de 6000 m<sup>3</sup>/h, lo que permite que una carga de un buque metanero de 144000 m<sup>3</sup> sea transferida en doce horas.

25 Una tubería C de acuerdo con la invención también puede ser proporcionada entre la estación de carga y descarga P y la instalación de tierra I para transportar gas en forma de vapor. Esta tubería es funcionalmente diferente aunque es físicamente idéntica a las dos tuberías mencionadas con anterioridad, las cuales transportan gas licuado. Ésta tubería es utilizada, durante la descarga del buque metanero, para transportar hacia el buque metanero el volumen de gas en forma de vapor que es necesario para reemplazar el volumen del gas líquido que está siendo descargado.

30 La disposición de la tubería C comprende las etapas de ensamblado previo de los tramos T sobre tierra y posteriormente del ensamblado en el mar de los tramos previamente ensamblados T y de la conexión la tubería C con las partes fijas de apoyo B. Con el fin de minimizar el número de operaciones de ensamblado en el mar, podría ser llevado a cabo el ensamblado previo de los tramos T de 4-metros en unidades, por ejemplo, de 40 a 60 metros. Entonces, podría considerarse ensamblar los tramos previamente ensamblados T de 40 a 60 metros desde una barcaza o lanchón de configuración en S. La barcaza debe ser equipada con un cañón para soportar la porción de la tubería C suspendida entre el fondo del mar F y la barcaza. Una instalación desde tierra también podría ser considerada.

35 La conexión de la tubería C con las partes fijas de apoyo C está representada en la Figura 11. Cada parte fija de apoyo B está compuesta de varios elementos, a saber: una abrazadera interna 17, una abrazadera externa 18 y una cubierta 19.

40 La abrazadera interna 17 comprende un tubo 17b cuya superficie interna tiene un soporte 17c y cuya superficie externa tiene un anillo periférico que sobresale en dirección radial 17a. El diámetro exterior disminuye a partir del anillo 17a hacia el extremo que orienta la cubierta 19.

45 La abrazadera externa 18 comprende tres partes: un tubo 18b, un anillo periférico radialmente externo 18a en su extremo que orienta la cubierta 19, y un anillo anular radialmente interno 18c entre los dos extremos del tubo 18b. El diámetro interior del anillo anular 18c corresponde en forma sustancial con el diámetro exterior de ésta porción del tubo 17b situado entre el anillo 17a y el extremo que orienta la tubería C. La abrazadera externa 18 comprende una serie de pernos roscados 18d que son colocados sobre esta cara del anillo 18a que orienta la cubierta 19. El diámetro externo de la abrazadera externa 18 disminuye ligeramente en esta parte contenida entre el anillo 18a y el extremo S3 conectado con el revestimiento de protección 6 de la tubería C.

50 La cubierta 19 tiene aproximadamente la forma de un disco atravesado en dirección longitudinal por los orificios 19b colocados sobre un círculo que es concéntrico con el eje de revolución de la cubierta. La cubierta 19 también tiene un orificio central 19c, el diámetro del cual corresponde en forma sustancial con el diámetro externo del tubo 17b. La cubierta 19 también tiene los resaltes 19a que sobresalen a partir de su cara distante de la abrazadera externa 18, estos resaltes no sólo incitan el intercambio de calor sino también la rigidez de la cubierta 19.

55 Finalmente, el hormigón 26 rodea la superficie externa del tubo 18b y del extremo E de la tubería C que es conectada con este.

60 A continuación, se proporciona una descripción del modo en que la tubería C es ensamblada en la parte fija de apoyo B.

65 El extremo E de la tubería C es ensamblado en la parte fija de apoyo B, preferentemente, fuera del agua, y posteriormente, después de la colocación de un obturador, el montaje es sumergido de modo que pueda ser fijado en el

## ES 2 304 591 T3

hormigón. En primer lugar, el extremo E de la tubería C es empujado hacia el taladro del tubo 17b de la abrazadera interna 17 sin alcanzar el soporte 17c. El extremo del primer tubo 1 es soldado con la superficie interna del tubo 17b entre el extremo S1 y el soporte 17c. El segundo tubo 3 por su parte es soldado con la superficie externa del tubo 17b entre el extremo S2 y el anillo radialmente interno 18c de la abrazadera externa 18, el espesor del tubo 17b a través de ésta porción corresponde exactamente con el espesor contenido entre el primer tubo 1 y el segundo tubo 3.

Un elemento aislante 22 es colocado en el espacio definido entre el anillo 18c y el extremo de la capa secundaria de aislamiento 4 y el revestimiento de hormigón 5. El elemento de aislamiento 22 permite que el aislamiento de la capa secundaria de aislamiento 4 y del revestimiento de hormigón 5 sea extendido dentro de la abrazadera externa 18.

La abrazadera interna 17 es situada en posición longitudinal con respecto a la abrazadera externa 18 mediante la introducción de una primera cuña de posicionamiento 20a entre el anillo radialmente interno 18c y el anillo radialmente externo 17a de la abrazadera interna 17. Una soldadura es realizada en el extremo S3 asegurando el revestimiento de protección 6 y la abrazadera externa 18. Una segunda cuña de posicionamiento 20b es colocada contra el anillo 17a distante de la primera cuña de posicionamiento 20a.

A continuación, la cubierta 19 es colocada contra la segunda cuña de posicionamiento 20b y el anillo radialmente externo 18a mediante el embrague de los pernos 18d a través de los orificios 19b. Entonces, la cubierta 19 es mantenida en contacto de soporte por medio de las tuercas 21 roscadas sobre los pernos 18d. La cubierta 19, que se apoya contra la cuña 20b, inmoviliza la abrazadera interna 17 en la abrazadera externa 18.

También puede ser considerado el montaje de una parte fija de apoyo B bajo el agua.

Por lo tanto, como resultado de este anclaje de los dos extremos E de la tubería C en las partes fijas de apoyo B, la tubería C es apta para ser colocada bajo tensión entre las estaciones de carga y descarga P y la instalación de tierra I sin proporcionar dispositivos de compensación de la retracción térmica. El resultado es una reducción en las pérdidas de carga y una mejora en el caudal transportado. Las partes fijas de apoyo B son diseñadas y fijadas de tal modo que resistan las contracciones térmicas debido al transporte del gas licuado. De esta manera, las partes fijas de apoyo B constituyen los elementos que compensan las cargas térmicas. Las fuerzas de tensión debidas al enfriamiento de los tubos 1 y 3 y, en su caso, al enfriamiento del revestimiento exterior de protección 6 - cuya temperatura sigue a la del medio ambiente circundante - se compensan parcialmente durante la operación de descarga - por efecto del fondo que corresponde a la pérdidas de carga en el tubo 1 aplicada en la sección transversal de paso. Sin embargo, las tensiones debidas al efecto de la parte inferior son bajas en comparación con aquellas tensiones debidas a la retracción de los materiales.

Las dimensiones descritas en el ejemplo anterior no son obviamente imperativas y tampoco restrictivas y deben ser adaptadas cada vez a las restricciones impuestas por la aplicación que se pretende.

A continuación, se describe un método para el dimensionamiento de los tubos de sección transversal circular que son sometidos a una presión interna o externa, que son, en el caso de la tubería C, los tubos estancos 1 y 3 y el revestimiento de protección 6.

La presión interna ( $P_{int}$ ) y la presión externa ( $P_{ext}$ ) a las cuales se encuentra sometido un tubo, son conocidas. Entonces, es posible calcular un espesor mínimo ( $e_{Min}$ ) utilizando la fórmula siguiente:

$$e_{Min} = ((P_{eff} \times d) / (2A \times R_{pe})) + C$$

en la cual:

$$P_{eff} = |(P_{int} - P_{ext})|$$

$$R_{pe} = (R_e / S)$$

con d: es el diámetro interior del tubo (mm)

$P_{eff}$ : es la presión diferencial (MPa)

$R_{pe}$ : es la resistencia a la tensión práctica del material (MPa)

$R_e$ : es el límite elástico del material (MPa)

S: es el factor de seguridad > 1

A: es el coeficiente de ensablado que está en función del método de formación de tubo

C: es la permisibilidad de corrosión (mm).

Ejemplo: La Tabla 1 adjunta, proporciona un ejemplo del dimensionamiento de la tubería C bajo el nivel del mar a una profundidad de 35 m. La presión interna de dimensionamiento utilizada es una presión de 1,5 veces la presión de estancamiento de las bombas del buque metanero que suministra el líquido, es decir, 15 bar. Esta presión de 15 bar

## ES 2 304 591 T3

se prevé que sea soportada por el primer tubo 1 y, en su caso, por el segundo tubo 3, que debe resistir esta presión si el primer tubo 1 cediera. El revestimiento de protección 6 debe resistir el doble de la presión de inmersión, es decir, aproximadamente 7 bar. La presión interna del revestimiento de protección 6 debajo del agua es la presión atmosférica, debido a que el espacio situado entre el tubo 3 y el revestimiento 6 se comunica con la atmósfera a través de la parte fija de apoyo B. Su presión externa, debido a la inmersión por debajo de los 30 m de agua y 5 m de la carrera de la marea, es aproximadamente de 3,5 bar.

Los espesores mínimos eMin calculados para resistir la presión interna en cada tubo son de 1,49 mm para el primer tubo 1 y de 1,75 mm para el segundo tubo 3. El espesor mínimo anticipado para el revestimiento de protección 6 es de 2,63 mm cuando la tubería C sea sumergida a 30 m por debajo del agua.

Sin embargo, en la práctica y por motivos de seguridad, en el ejemplo numérico anterior, han sido elegidos los espesores de 3 mm para el primer tubo 1 y para el segundo tubo 3 y un espesor de 16 mm para el revestimiento de protección 6.

El perfil de temperatura dentro del espesor de la tubería C de acuerdo con el ejemplo numérico anterior, utilizado para el transporte bajo el nivel del mar del metano líquido, se representa en la Figura 12. Este diagrama representa la temperatura de servicio (en °C) en función de la distancia desde el centro de la tubería C (en mm). La temperatura de servicio es la temperatura dentro de los distintos elementos de la tubería cuando se transporta gas líquido. La curva 72 representa el escenario en que la temperatura en el exterior de la tubería C es de 4°C. La curva 73 representa el escenario en que la temperatura en el exterior de la tubería C es de 30°C.

Las dos curvas tienen el mismo curso general. La temperatura aumenta a partir del centro de la tubería C hacia la parte exterior. Cada curva está compuesta de seis puntos. El primer punto de cada curva, a una temperatura aproximadamente de -160°C, representa la temperatura en el interior del primer tubo 1, el segundo punto representa la temperatura en el exterior del primer tubo 1, el tercer punto representa la temperatura en el interior del segundo tubo 3, el cuarto punto representa la temperatura en el exterior del segundo tubo 3, el quinto punto representa la temperatura exterior del revestimiento de hormigón 5 y el sexto punto representa la temperatura exterior del revestimiento de protección 6, es decir, la temperatura del medio ambiente marítimo circundante.

Entre el segundo y tercer puntos de las curvas 72 y 73, el gradiente de temperatura es inclinado o en pendiente. Esto significa que la capa primaria de aislamiento 2 realiza, de manera efectiva, su función como aislante térmico.

En el tercer y cuarto puntos de las curvas 72 y 73, la temperatura es aproximadamente de -100°C para la primera curva 72 y -85°C para la segunda curva 73. Puede observarse que las temperaturas en la región del segundo tubo 3 todavía son muy frías.

Entre el cuarto y el quinto puntos de las curvas 72 y 73, puede observarse que el gradiente es incluso más inclinado que en la capa primaria de aislamiento 2. Esto significa que la capa secundaria de aislamiento 4 es ligeramente más efectiva que la capa primaria de aislamiento 2.

Finalmente, en el quinto y sexto puntos de las curvas 72 y 73, el gradiente de temperatura es virtualmente de cero. Esto significa que el revestimiento de hormigón 5 y el revestimiento 6 no juegan un papel sustancial en el aislamiento de la tubería C.

A continuación, se describe la segunda realización de la tubería C, en la cual los efectos de la retracción térmica sobre el primer tubo 1 o sobre el segundo tubo 3 durante el transporte de gas licuado, son compensados o tomados por los mecanismos de compensación a lo largo de la tubería C.

La estructura de los tramos T de acuerdo con la segunda realización es idéntica a la estructura de los tramos T de acuerdo con la primera realización. Por lo tanto, la estructura de los tramos T de acuerdo con la segunda realización es ilustrada mediante las Figuras 1-5.

La tubería C de acuerdo con la segunda realización comprende conexiones entre los tramos que difieren de las conexiones de la primera realización, debido a que estas comprenden los sistemas 30 que compensan la contracción térmica que interconecta los primeros tubos 1 y/o los segundos tubos 3.

El sistema 30 que compensa la contracción térmica es parcialmente representado en la Figura 13. Este es un manguito tubular 31 que tiene, en ambos de sus extremos, un diámetro interno que corresponde con el diámetro externo de los primeros tubos 1 o de los segundos tubos 3 los cuales serán conectados. Esta última característica permite que el manguito 31 reciba los extremos de los primeros tubos 1 o de los segundos tubos 3. Por lo tanto, los extremos 34 del manguito 31 son soldados mediante un cordón estanco de soldadura periférica en la superficie de los primeros tubos 1 o de los segundos tubos 3. En la Figura 13, el manguito 31 conecta los dos primeros tubos 1 o los segundos tubos 3 que pertenecen a los dos tramos adyacentes T1 y T2.

El manguito 31 consiste en un material que permite un ensamblaje adaptado a los tubos adyacentes 3, por ejemplo, por medio de una unión adhesiva o de soldadura. Este manguito tiene al menos una corrugación radial periférica 32 en la forma de un acordeón en su posición central, es decir, tres corrugaciones 32 en el ejemplo representado. Durante el transporte del gas licuado, la estructura formada por las corrugaciones 32 se estira hacia fuera y se agrupa en escalón

## ES 2 304 591 T3

con deformaciones del tubo correspondiente debido a las variaciones de temperatura. Por lo tanto, el manguito 31 constituye un elemento que compensa localmente los efectos térmicos.

En las conexiones de la segunda realización, los sistemas 30 que compensan la contracción térmica son colocados para situar en ambos lados los segundos tubos 3 de dos tramos adyacentes T1 y T2, es decir, en lugar de las partes añadidas 103 de la primera realización, y/o entre los primeros tubos 1. Los otros elementos que constituyen la conexión (las capas de aislamiento primaria 102 y secundaria 104, el revestimiento de hormigón 105 y el anillo dividido 106 del revestimiento de protección 6) son idénticos a los elementos de la primera realización.

La segunda realización de la tubería C es ventajosa porque esta permite que el primer tubo 1 y/o el segundo tubo 3 consiste en un material que no tiene un bajo coeficiente de dilatación en contraste con la primera realización, por ejemplo, acero inoxidable, diversas aleaciones o materiales compuestos. Esto origina un beneficio económico. En este caso, los sistemas de compensación son utilizados en tubos hechos de acero inoxidable o de otro material susceptible de ser dilatado. Los tubos que no consisten en un material con un bajo coeficiente de dilatación, presentan una retracción longitudinal intensa durante el enfriamiento, lo que, en la ausencia de una compensación adecuada, podría tener la consecuencia de que el anclaje sea atraído por los extremos de la tubería C o que el tubo sea separado por sí mismo si el anclaje fuera a resistir estos esfuerzos.

Sin embargo, en un tubo hecho de material susceptible de ser dilatado, las conexiones de acuerdo con las Figuras 7-9 también pueden ser utilizadas en alternancia con los sistemas de compensación 30. La estructura de las conexiones sin los sistemas de compensación 30 es entonces idéntica a la estructura de la primera realización, aparte del hecho que el par de medios forros 103 para la soldadura del segundo tubo 3 está hecha de un material que no necesariamente tiene una baja dilatación térmica aunque es compatible con el método de ensamblado.

En la segunda realización, también es posible la utilización de los tubos 1 y 3 de Invar. En esta segunda realización, también es posible concebir una tubería C, uno de cuyos tubos 1 ó 3 está hecho de un material con un bajo coeficiente de dilatación y el otro no lo está. Un cálculo completo que utiliza elementos finitos permite, caso por caso, decidir si o no los efectos térmicos necesitan ser compensados localmente.

Los extremos de las tuberías C de acuerdo con la segunda realización también podrían ser anclados por medio de los apoyos fijos B en una estación de carga y descarga P y en una instalación de tierra I en un modo idéntico a la primera realización, con referencia a las Figuras 10 y 11.

A continuación, será proporcionada una descripción de una tercera realización que se ilustra en la Figura 14.

En el ejemplo descrito con anterioridad que proporciona las dimensiones, se consideró necesario que el segundo tubo 3 fuera capaz de soportar 1,5 veces la presión de estancamiento de las bombas. Este requerimiento podría parecer que es demasiado estricto dado que una fractura limpia del primer tubo 1 es altamente improbable, debiéndose considerarse en la práctica sólo posibles fugas o regiones de porosidad del tubo 1.

Por lo tanto, es posible dimensionar el segundo tubo 3 de una manera más modesta y considerar, por ejemplo, una presión efectiva de dimensionamiento de 0,2 MPa. Los tubos específicos hechos de materiales compuestos pueden cumplir con facilidad este requerimiento.

En esta tercera realización, la tubería podría diferir de las tuberías descritas en las realizaciones precedentes en que ésta comprende un segundo tubo 3 hecho de un material compuesto. Los extremos de los segundos tubos adyacentes 3, de acuerdo con esta última realización, son conectados de esta manera mediante un cubrejuntas 203 hecho de un material compuesto flexible, por ejemplo, Triplex (una marca comercial registrada), cuyos extremos 204a se superponen y se unen en forma adhesiva con la superficie externa de los extremos de los segundos tubos adyacentes 3.

El material compuesto consiste, por ejemplo, en una resina de polímero reforzada con fibra, por ejemplo, una resina de poliéster o una resina de epóxido reforzada con fibras de vidrio o de carbono, las cuales son opcionalmente tejidas. Además, el material compuesto podría estar constituido de manera que presente propiedades mecánicas que cumplen el criterio:  $Re > E \cdot \alpha \cdot \Delta T$ .

El material compuesto Triplex es un material que comprende tres capas, a saber, dos capas externas de tejidos de fibra de vidrio y una capa intermedia que es una hoja delgada de metal. El Triplex es vendido en particular por la empresa Hutchinson.

Las otras características idénticas de la tubería llevan las mismas referencias que en las realizaciones precedentes. La configuración general de los distintos elementos y el uso de la tubería permanecen sin cambio en la presente realización.

El uso que se hace de los segundos tubos 3 permite una reducción significativa en el costo de fabricación de las tuberías.

Aunque la invención ha sido descrita con relación a diversas realizaciones específicas, es obvio que esta no está restringida en modo alguno a la misma y que comprende todos los equivalentes técnicos de los medios descritos junto con las combinaciones de la misma si estas se encontraran dentro del alcance de la invención.

Tabla 1: Ejemplo del dimensionamiento de una tubería C bajo el nivel del mar a una profundidad de 35 m

	$P_{int}$ (MPa)	$P_{ext}$ (MPa)	$P_{eff}$ (MPa)	D (mm)	A	%C	S	$R_e$ (MPa)	$R_{pe}$ (MPa)	$e_{Min}$ (mm)	
Primer tubo 1	1,6	0,1	1,5	800	0,9	0,00	1,5	670	446,67	1,49	C
Segundo tubo 2	1,6	0,1	1,5	886	0,9	0,00	1,11	470	423	1,75	A a 20° C
Revestimiento de protección 6	0,1	0,45	-0,35	1118	0,9	0,33	2	215	107,5	2,63	A a 20° C

# ES 2 304 591 T3

## REIVINDICACIONES

1. Una tubería (T, C) térmicamente aislada que comprende desde el interior hacia el exterior:

- un primer tubo estanco (1),

- una primera capa (2) de aislamiento térmico,

- un segundo tubo estanco (3),

- una segunda capa (4) de aislamiento térmico hecha de material aislante, y

- un lastre (5) hecho de material con una densidad por encima de la densidad del agua de mar,

**caracterizada** porque dicha primera capa (2) de aislamiento térmico está hecha de material aislante, comprendiendo además dicha tubería un revestimiento estanco (6) de protección que es resistente a los impactos en el exterior de dicho lastre (5).

2. La tubería según la reivindicación 1, **caracterizada** porque al menos un elemento del grupo que consiste en el primer tubo (1), el segundo tubo (3) y el revestimiento (6) de protección tiene unas características mecánicas tales que:

$$Re > E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

donde E es el módulo de elasticidad del material constituyente,

$\alpha$  es el coeficiente de dilatación térmica del material constituyente,

$\Delta T$  es la diferencia entre la temperatura de servicio del elemento y la temperatura ambiente en servicio,

y Re es el límite elástico del material a la temperatura de servicio del elemento.

3. La tubería según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizada** porque al menos uno de los tubos (1, 3) está provisto de al menos un sistema de compensación de la contracción térmica (30).

4. La tubería según la reivindicación 3, **caracterizada** porque dicho sistema de compensación de la contracción térmica (30) se presenta en forma de un manguito (31) que comprende al menos una corrugación radial (32).

5. La tubería según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, **caracterizada** porque al menos un elemento del grupo que consiste en el primer tubo (1), el segundo tubo (3) y el revestimiento (6) de protección es anclado por sus extremos en apoyos fijos (B) que aseguran la recuperación de las tensiones térmicas a las que está sometido el elemento.

6. La tubería según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, **caracterizada** porque al menos una de las capas (2, 4) de aislamiento térmico está hecha de un material que tiene una conductividad térmica por debajo de  $20 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a temperatura ambiente, preferentemente, por debajo de  $16 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a  $-160^\circ\text{C}$ .

7. La tubería según la reivindicación 6, **caracterizada** porque al menos una de las capas (2, 4) de aislamiento térmico está hecha de un nanomaterial poroso de tipo de aerogel.

8. La tubería según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, **caracterizada** porque al menos uno de los tubos estancos (1, 3) consiste en una aleación con un alto contenido de níquel.

9. La tubería según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, **caracterizada** porque el segundo tubo estanco (3) está hecho de un material compuesto basado en resina de polímero.

10. La tubería según cualquiera de las reivindicaciones 1-9, **caracterizada** porque el lastre (5) consiste en un material que tiene la capacidad de ser vaciado en una forma de líquido, de polvo o granulado dentro del volumen cilíndrico contenido entre la segunda capa (4) de aislamiento y el revestimiento de protección.

11. La tubería según la reivindicación 10, **caracterizada** porque el lastre (5) comprende hormigón.

12. La tubería según la reivindicación 11, **caracterizada** porque el lastre (5) comprende al menos un conducto hueco (12) proporcionado en el último.

13. La tubería según cualquiera de las reivindicaciones 1-12, **caracterizada** porque al menos una de las capas (2, 4) de aislamiento térmico está presente en una forma de polvo o granulado permitiendo que ésta sea vaciada dentro del volumen que se pretende que la reciba.

## ES 2 304 591 T3

14. La tubería según la reivindicación 13, **caracterizada** porque la capa (2, 4) de aislamiento térmico en una forma de polvo o granulado comprende al menos un tramo cerrado en sus dos extremos longitudinales por dispositivos (8) de bloqueo hechos de material aislante.

5 15. La tubería según la reivindicación 13 ó 14, **caracterizada** porque la capa (2, 4) de aislamiento térmico en una forma de polvo o granulado comprende al menos una barra (14) de separación hecha de material aislante, la cual es colocada en paralelo a la tubería y tiene un espesor que es sustancialmente igual al espesor de la capa (2,4) de aislamiento térmico.

10 16. La tubería según cualquiera de las reivindicaciones 1-15, **caracterizada** porque consiste en tramos (T) prefabricados que pueden ser conectados extremo con extremo.

15 17. La tubería según la reivindicación 16, **caracterizada** porque los tramos (T) tienen al menos un extremo (E) escalonado, teniendo los elementos constituyentes de dichos tramos (T) una extensión longitudinal decreciente, unos respecto de otros, en el sentido radial hacia el exterior.

20 18. La tubería según cualquiera de las reivindicaciones 1-17, **caracterizada** porque un dispositivo que detecta fugas es colocado en la dirección longitudinal a través de la longitud total de la tubería (C), entre el primer tubo y el revestimiento (6) de protección.

19. El uso de una tubería (C) según cualquiera de las reivindicaciones 1-18, para el transporte de un fluido de baja temperatura.

25 20. El uso según la reivindicación 19, **caracterizada** porque un gas inerte se hace circular a través de al menos una de las capas (2, 4) de aislamiento térmico.

21. Terminal marítima para el transporte de gas licuado, que comprende una estación de carga y descarga (P) conectada a una instalación en tierra (I) al menos mediante una tubería según una de las reivindicaciones 1-20.

30

35

40

45

50

55

60

65

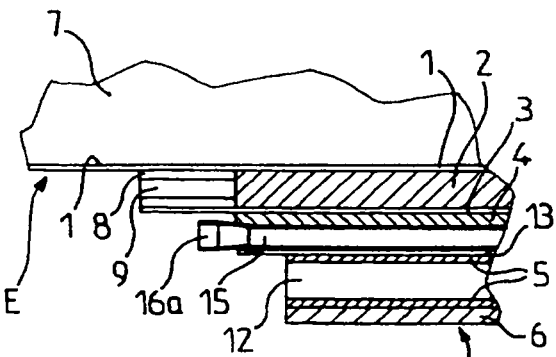
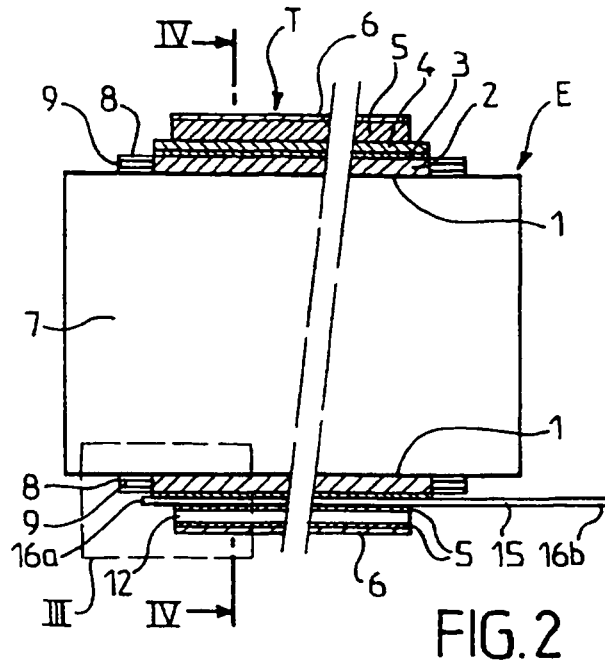
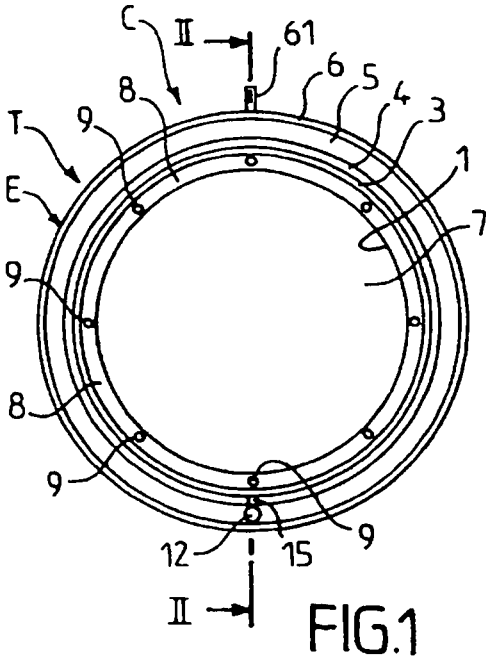


FIG. 3

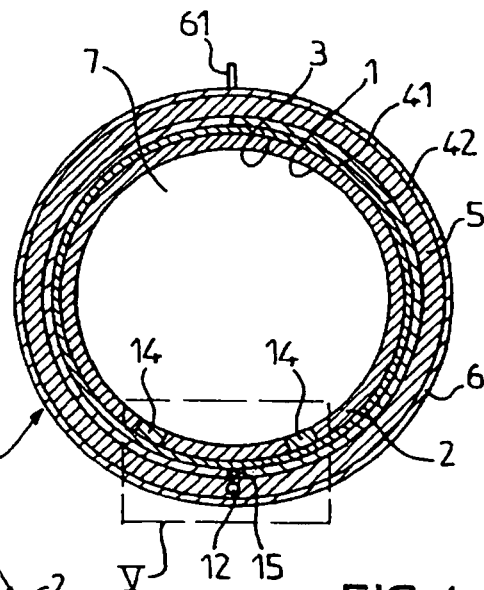


FIG. 4

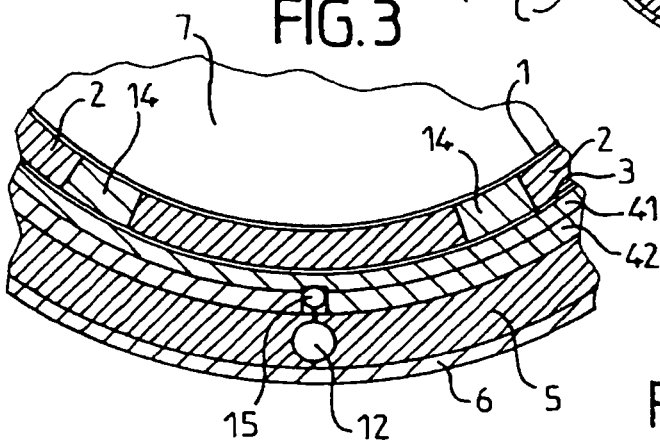


FIG. 5

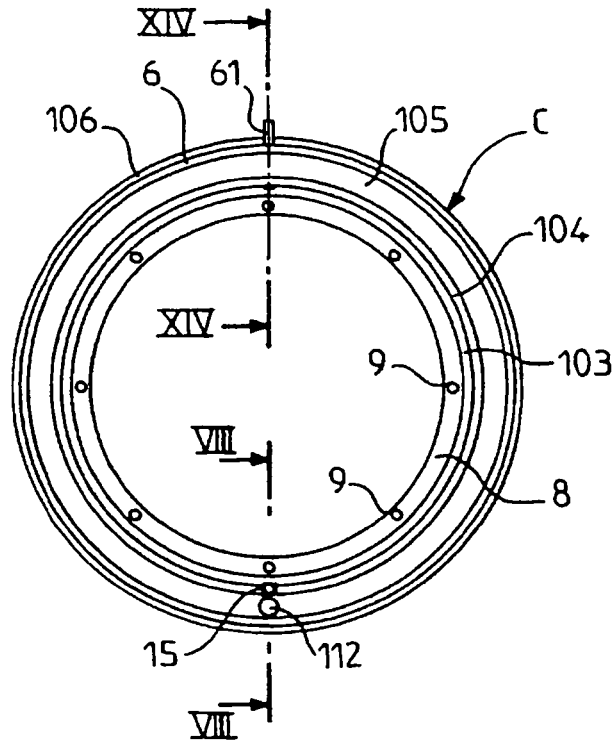


FIG. 7

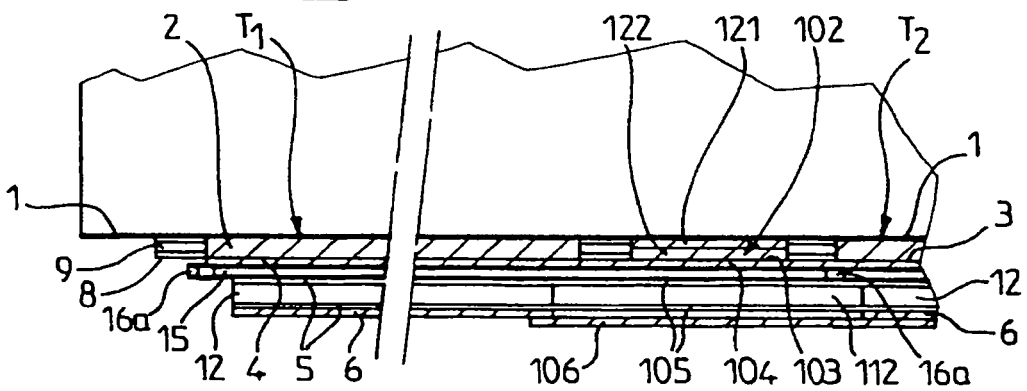


FIG. 8

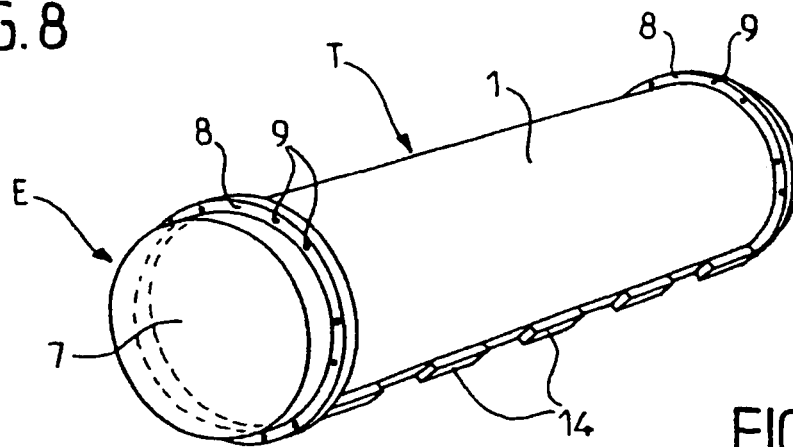


FIG. 6

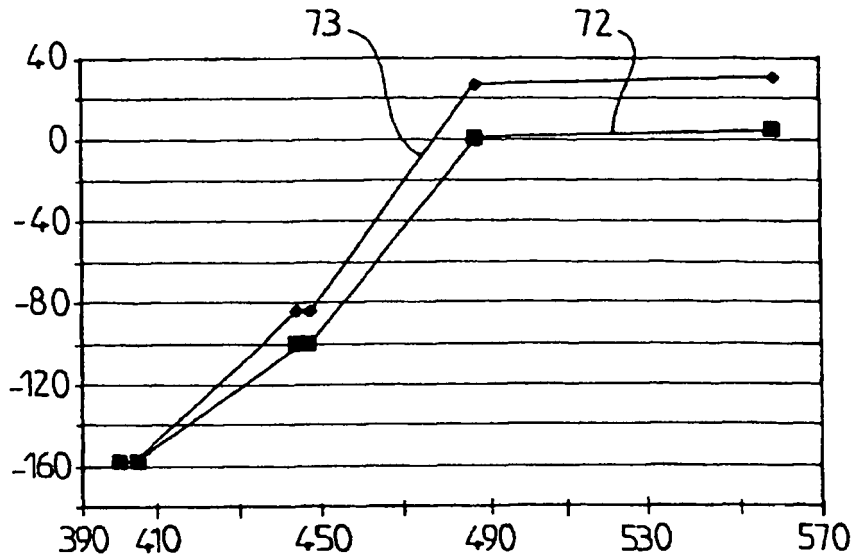
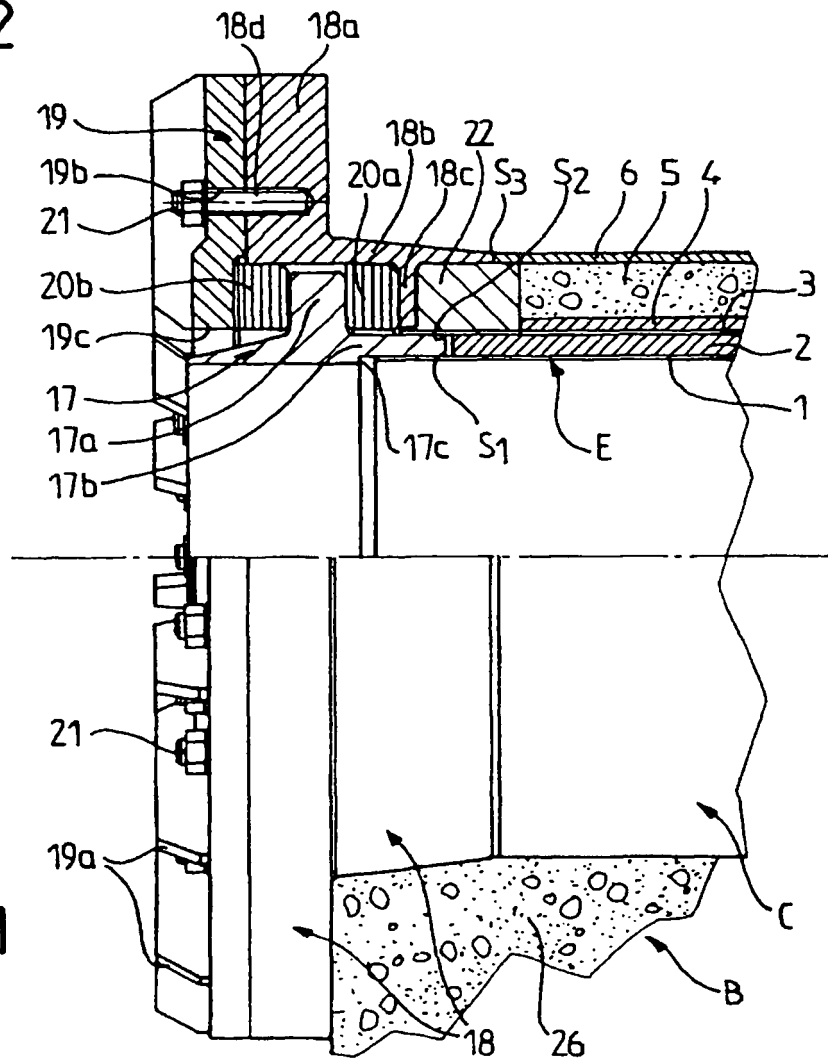
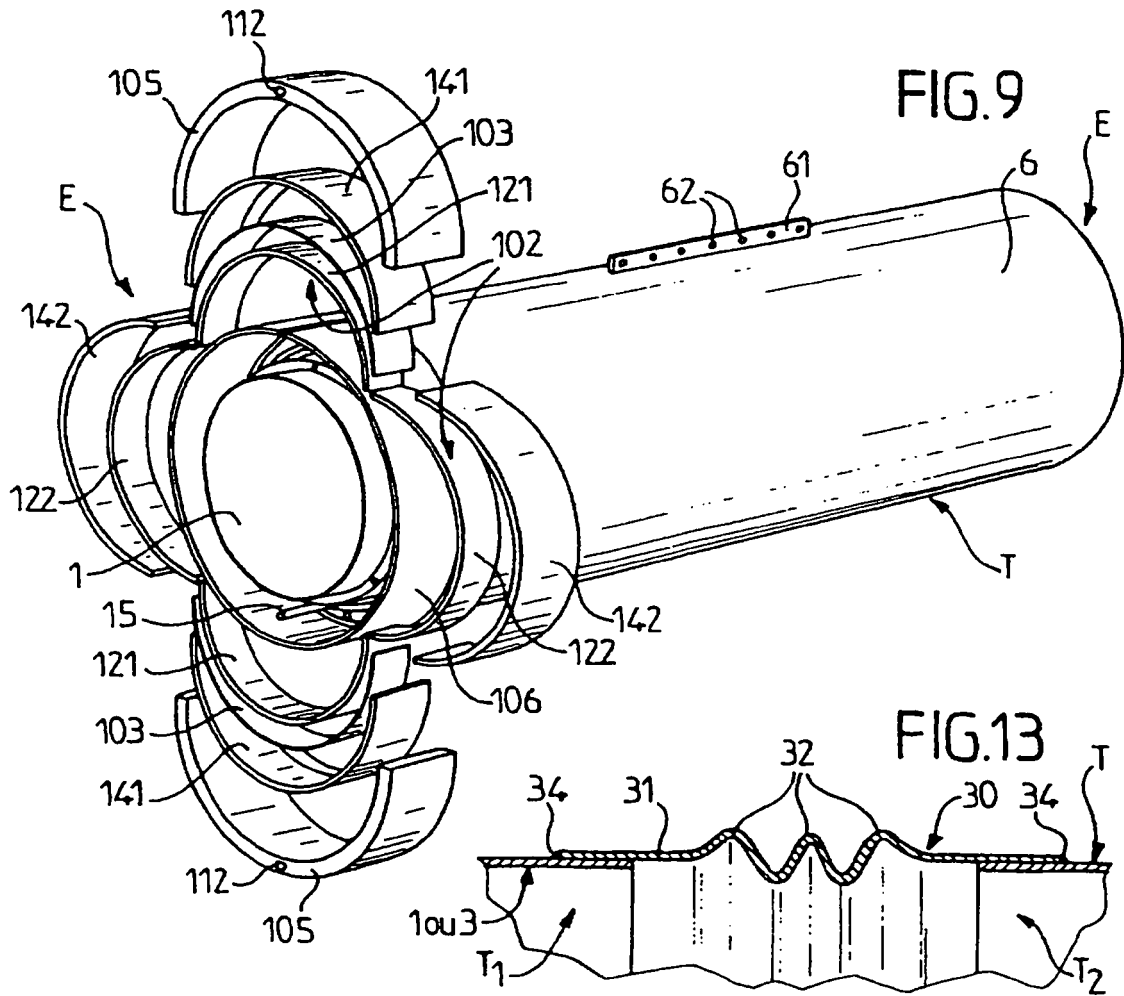
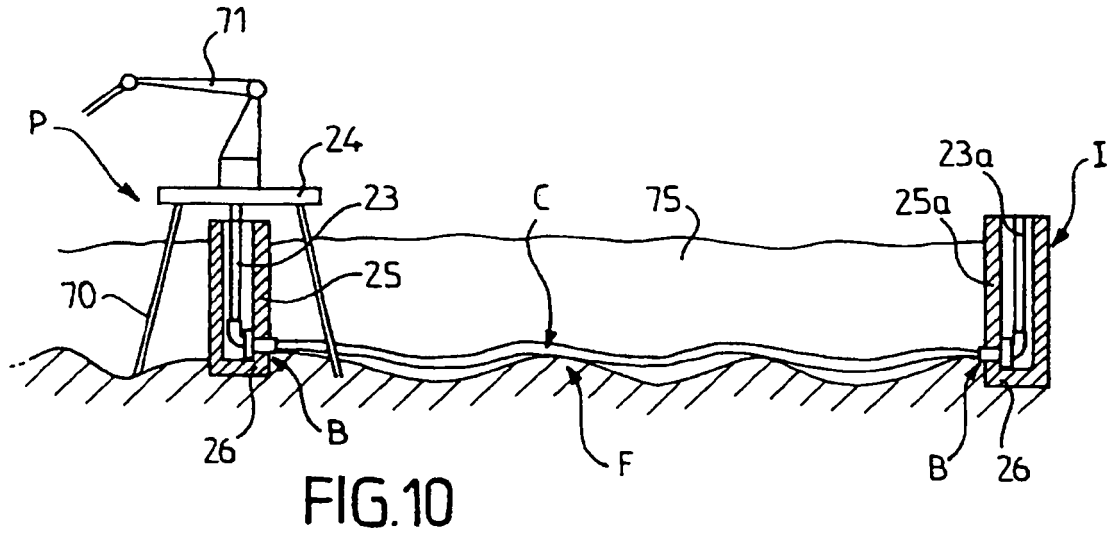


FIG.12





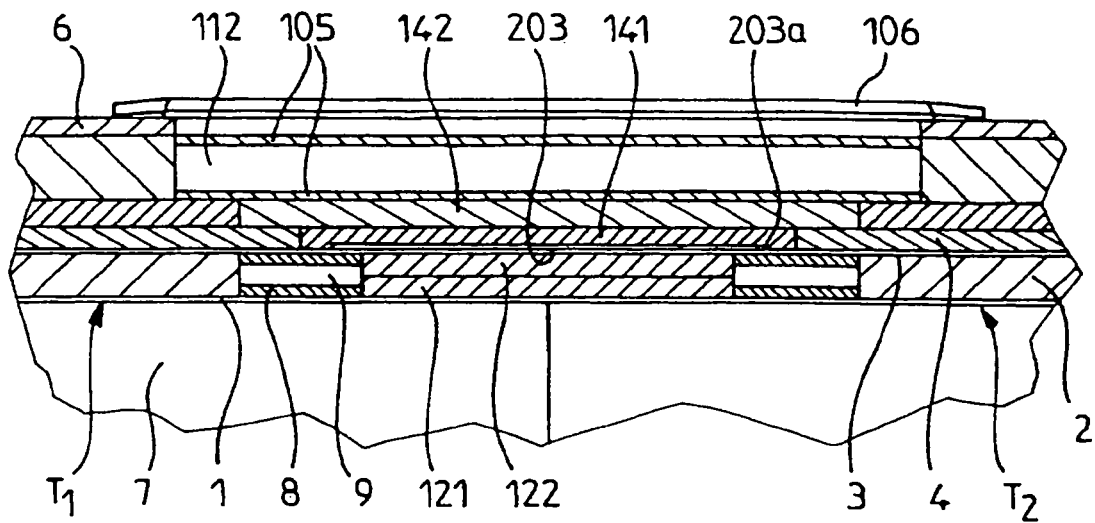


FIG.14