



- (51) Clasificación Internacional de Patentes:
F17C 1/16 (2006.01)
- (21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2014/070171
- (22) Fecha de presentación internacional:
7 de marzo de 2014 (07.03.2014)
- (25) Idioma de presentación: español
- (26) Idioma de publicación: español
- (30) Datos relativos a la prioridad:
P201300333 12 de abril de 2013 (12.04.2013) ES
- (71) Solicitante: **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID** [ES/ES]; c/ Ramiro de Maeztu, 7, E-28040 Madrid (ES).
- (72) Inventor: **MARTÍNEZ-VAL PEÑALOSA, José María**; c/ Ramiro de Maeztu, 7, E-28040 Madrid (ES).
- (74) Mandatarios: **CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel** et al.; Goya, 11, E-28001 Madrid (ES).
- (81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN,

BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

- sin informe de búsqueda internacional, será publicada nuevamente cuando se reciba dicho informe (Regla 48.2(g))

(54) Title: MULTI-LAYER CONDUIT OR CONTAINER FOR HIGH-PRESSURE FLUIDS

(54) Título : RECIPIENTE O CONDUCTO MULTICAPA PARA FLUIDOS A ALTA PRESIÓN

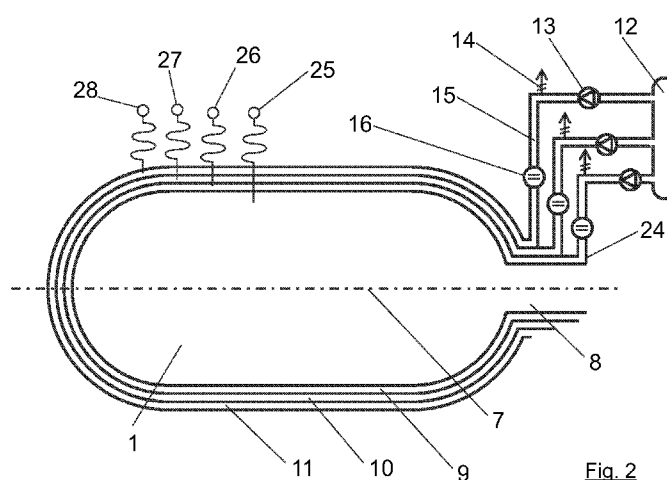


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to a multi-layer conduit or container for high-pressure fluids, formed by a series of layers (29, 30) of a solid material, with a hermetic volume or space (9, 10, 11) being provided between said layers. A certain quantity of fluid that is not aggressive to the layers is introduced into the spaces and the pressure inside said spaces is maintained at an intermediate pressure between that of the interior of the container and that of the external environment. The successive pressures in the inter-layer spaces decreasing in value towards the exterior. In addition, the temperature of the fluids in the spaces can be staggered.

(57) Resumen:

[Continúa en la página siguiente]



Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión, formado por una sucesión de capas (29, 30) de un material sólido, dejando entre capas sucesivas un hueco (9, 10, 11) o volumen hermético entre ellas, e introduciendo en dichos huecos cierta cantidad de fluido no agresivo para dichas capas, manteniendo en cada uno de dichos huecos una presión intermedia entre la presión del interior del recipiente y la del medio circundante exterior, y siendo las sucesivas presiones de los huecos entre capas, de valor descendente hacia el exterior; pudiéndose asimismo escalar la temperatura de los fluidos de los huecos.

RECIPIENTE O CONDUCTO MULTICAPA PARA FLUIDOS A ALTA PRESIÓN**SECTOR DE LA TÉCNICA**

La invención se encuadra en el campo de los conductos y recipientes de fluidos a presión, bien esféricos, bien de cuerpo cilíndrico, típicamente rematados por casquetes esféricos, o de otra geometría, teniendo al menos una tubería de trasiego de fluido, que atraviesa la pared del recipiente y puede tener una estructura de pared como la del propio recipiente. También es aplicable la invención a paredes con otras formas geométricas, tanto curvadas como planas, aunque las aplicaciones industriales fundamentales son en paredes cilíndricas o esféricas. En la geometría más extendida, que es la cilíndrica, se usará la tensión circunferencial, o tensión de aro, como variable caracterizadora del estado de sobrecarga en el que se encuentra el material.

15 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La invención no parece tener antecedentes inmediatos, pues no se conocen ni se ven en la industria ni en el transporte paredes múltiples entre cuyas capas se ajuste la presión, y eventualmente la temperatura, bien por medios activos, bien por medios pasivos.

20 En cuanto a documentos de invenciones, se pueden citar los siguientes, sin considerar a ninguno de ellos como propiamente antecedente:

ES0228785 A1 trata de una vasija para reactor nuclear, teniendo internamente otra vasija, comúnmente denominada barrilete, mediante la cual se encauza el movimiento del fluido refrigerante adecuadamente dentro de la primera vasija, que es propiamente la vasija de presión, a la cual no es mecánicamente solidaria la vasija interior o barrilete.

También los submarinos son artilugios que se prestan a tener varias vasijas de presión dentro de la propia vasija exterior del submarino, como se detalla en el documento ES2255002, que trata de un depósito de gases licuados a presión dentro del propio submarino, destinándose una segunda vasija intermedia a recoger las fugas de la más interna.

WO2012143740 describe un depósito con dos capas, pero sin fluido presurizado intermedio, por lo cual la pared interior es la que soporta toda la diferencia de presiones entre la interior y la circundante; estando la pared

exterior destinada a mitigar los efectos de una fuga de gas inflamable desde el recipiente interior.

WO2012161006, que presenta un recipiente con una segunda pared formada por filamentos arrollados alrededor de la primera.

- 5 WO2012161793, que describe un recipiente de alta presión, rodeado de una capa exterior extraíble, como envuelta aislante y protectora, sin efectos para contribuir a soportar la presión interior.

- US2012285654, en la cual se presenta un recipiente con varias capas, pero no están destinadas a repartir el soporte de la presión, sino a canalizar
10 debidamente el flujo de gas en un almacenamiento térmico, teniendo la disposición estructural acorde a ese fin.

- Existen además numerosos documentos describiendo paredes multicapa hechas de resinas y materiales poliméricos y de estructura molecular escogida, pero entre capa y capa no se produce ningún ajuste de presión, ni de
15 temperatura, y no tienen relación alguna con la invención descrita aquí. Se trata de paredes o paneles o vidrios laminados, con varias capas sólidas superpuestas, como se describe por ejemplo en el documento "Stability of multilayered composites plates", cuya identificación digital es [http://dx.doi.org/10.1016/0015-0568\(75\)90005-6](http://dx.doi.org/10.1016/0015-0568(75)90005-6).

- 20 Por otra parte, son sobradamente conocidos los dispositivos de refrigeración internos, de paredes diversas, sobre todo las llamadas camisas de los motores de combustión interna, pero en ningún caso tienen nada que ver con el uso de la presión para fijar condiciones de contorno para las ecuaciones de comportamiento del material, lo que haría más fácil y eficiente la fabricación de
25 paredes para almacenamientos y tubos de trasiego de fluidos a alta presión.

- Los recipientes y conducciones de alta presión requieren unos espesores de pared que pueden llegar a ser tan gruesos que resulten casi imposibles de fabricar, especialmente si el fluido a contener está además a alta temperatura. Como variable para caracterizar el problema en los casos cilíndricos, que son los
30 más comunes en estas aplicaciones, se usa el concepto de tensión de aro, que efectivamente actúa en sentido circunferencial; y cuando la presión alta está en el interior, como es lo habitual, provoca la hinchazón de la pared del recipiente, pudiendo llegar a su rotura. Para ello dicha tensión de aro, que denotaremos con A , debe estar limitada en función del límite elástico del material para las
35 condiciones de temperatura en las que tenga que funcionar. En un recipiente

cilíndrico, si la sobrepresión en el interior del recipiente la denotamos con P , y R_0 representa el radio interior de la sección recta del cilindro, y R^* el radio exterior, el valor de A depende de la razón entre radios, que denominamos Z

$$Z = R^*/R_0$$

5 cumpliéndose

$$A = P \cdot ((Z^2 + 1)/(Z^2 - 1))$$

Esto permite determinar el valor de Z si conocemos P y el valor de A con el que se quiere trabajar, pues

$$(A - P) \cdot Z^2 = A + P$$

10 La cual conviene resolver introduciendo el parámetro N , mayor que 1,

$$N = A/P$$

Lo que lleva a

$$Z = ((N+1)/(N-1))^{1/2}$$

15 Sobre la que conviene dar algunos ejemplos. Un valor alto de presión, pero razonable, es 200 bar (o atmósferas,) y un valor de tensión de aro A con el que se puede diseñar un depósito (no muy caliente) es 1.000 bar, lo que conduce a $N = 5$, que lleva a $Z = 1,225$. Es decir, si el radio interior fuera 1 metro, el espesor tendría que ser 22,5 cm.

20 Un valor elevado en las aplicaciones de alta presión es $N = 2$, que lleva a $Z = 1,73$. Esto significa que para un radio de 1 metro, el espesor tendría que ser de 72 cm, lo que resulta muy caro.

Para $N = 10$, que sería un valor moderado de la presión, $Z = 1,1$. Por debajo de este valor de Z , o por encima de este valor de N , se considera que la pared es delgada, y en ese caso, llamando S al espesor de la pared, se tiene

25 $A/P = R_0/S$

Pero el caso de pared delgada es muy limitado de aplicación, porque la diferencia de presiones a soportar, P , ha de ser menor que la décima parte de la tensión de aro seleccionada para esa aplicación, A .

30 Por ejemplo, ya se ha mencionado que para recipientes de gas a baja temperatura, A puede cifrarse en 1.000 bar, de modo que si la presión de

almacenamiento es de 200 bar, el valor de la razón N es 5, y Z vale 1,225. Esto significa que el espesor es $S = 0,225R_0$.

El caso empeora si el gas está a alta temperatura, de 400 °C o más, como puede ser el fluido que se caliente en una central solar, pues el acero de la pared, o el material de que se trate, presenta un límite elástico inferior, por
5 problemas de fluencia, cuando aumenta mucho su temperatura. Por tal motivo, el valor de A ha de reducirse, a 600 bar, lo que conduce a un valor $N = 3$; y ello lleva a que $Z = 1,41$; y el espesor es por tanto $S = 0,41R$. Con un radio de 2 m, el espesor sería de 82 cm, verdaderamente impracticable.

10 El problema a resolver es encontrar una estructura de pared distinta de la pared maciza convencional, que sea construible, haciendo frente a los requisitos de recipiente de alta presión, y eventualmente de alta temperatura.

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

15 La invención consiste en estructurar la pared del recipiente o del conducto en una sucesión de capas de material sólido, más delgadas que el espesor requerido si la pared se hiciera de una sola capa, o espesor de referencia, dejando entre capas sucesivas un huelgo o volumen hermético entre ellas, e introduciendo en dichos huelgos cierta cantidad del fluido a almacenar, o
20 de otro fluido no agresivo para las capas dichas, manteniendo en cada uno de dichos huelgos una presión intermedia entre la presión del interior del recipiente y la del medio circundante exterior, y siendo las sucesivas presiones de los huelgos entre capas, de valor descendente hacia el exterior; seleccionándose como prescripción básica del montaje el escalonamiento con espesores
25 uniformes; por lo que habiendo M capas, dichas capas son de igual espesor, que es el espesor de referencia dividido por M; y la presión en el volumen o huelgo contenido entre la capa n, o n-sima, empezando a contar desde el interior, y la capa siguiente hacia el exterior, corresponde al valor del producto de la diferencia de presiones P entre el interior del recipiente o conducto y el exterior,
30 por la fracción cuyo numerador es la diferencia entre el número de capas M y el número de orden de la capa más interna que confina dicho huelgo o volumen, n, y su denominador es el número total de capas, M; lo cual queda justificado porque la diferencia entre la tensión de aro máxima, que se da en la cara interior

de la capa si ésta es cilíndrica, y la mínima en dicha placa, que se da en su cara exterior, es igual a la diferencia de presiones que hay en una cara y otra.

El establecimiento de las correspondientes presiones se hace, bien de forma activa, con bombas o compresores que inyectan en cada huelgo el fluido necesario para mantener la presión debida; o bien de forma pasiva, con válvulas reductoras de la presión, ajustadas al nivel de presión del huelgo correspondiente, tomando el fluido para rellenar dichos huelgos de la propia acometida principal del fluido a alta presión.

En caso de reducirse la sobrepresión en el recipiente o en el conducto, se abren las válvulas de alivio, que liberan el fluido de los huelgos a un depósito auxiliar de baja presión, o a la atmósfera, para lo cual cada huelgo, así como el interior del recipiente, van provistos de manómetros, con los cuales se puede ordenar la apertura de cada válvula de alivio de cada huelgo hasta llegar al nivel de presión proporcional a la presión interior, según la especificación correspondiente a dicho huelgo.

En cada ramal de alimentación de fluido a los diversos volúmenes o huelgos entre capas, se dispone una válvula todo o nada, que se abre cuando se inyecta o se extrae fluido, y queda herméticamente cerrada cuando la presión es la de consigna del volumen correspondiente.

Como variante tecnológicamente avanzada para paredes cilíndricas, se prescribe una aplicación en la cual las máximas tensiones de aro de cada capa son de igual valor entre sí, fijándose que la presión en el primer huelgo o huelgo más interior, P_1 , corresponde a un valor que es función del radio R_1 exterior de la primera capa, la cual tiene pues una razón de radios Z_1 definida por

$$Z_1 = R_1/R_0$$

la cual genera un parámetro característico de la capa y de las presiones, denominado H_1 determinado por

$$H_1 = ((Z_1^2 + 1)/(2 \cdot A \cdot Z_1^2/P)) - ((Z_1^2 - 1)/(2 \cdot Z_1^2))$$

el cual determina a su vez la razón de radios Z_e de la capa exterior a ese huelgo, si sólo hubiera una, y en esa se daría el mismo valor máximo de la tensión de aro A , siendo

$$Z_e^2 = (1 + H_1)/(1 - H_1)$$

y a su vez se obtiene que la presión en ese huelgo es

$$P_1 = A \cdot H_1$$

lo cual define unívocamente la primera capa, a la cual se le añade el huelgo, de espesor despreciable comparado con el radio R_1 exterior de dicha primera capa; que es a su vez el radio interior de la capa exterior, siendo el radio exterior R_e de la capa exterior

$$R_e = R_1 \cdot Z_e$$

10 pudiendo aplicarse de nuevo la partición a dicha capa exterior, dividiéndose ésta en una capa desde R_1 hasta R_2 , más otra exterior desde R_2 a R'_e , con presión en la cara de radio R_1 de valor P_1 , determinándose el parámetro H_2 a partir de la razón de radios Z_2 , más su parámetro caracterizador H_2 ,

$$Z_2 = R_2/R_1$$

$$H_2 = ((Z_2^2 + 1)/(2 \cdot A \cdot Z_2^2/P_1)) - ((Z_2^2 - 1)/(2 \cdot Z_2^2))$$

$$P_2 = A \cdot H_2$$

15 y siendo el nuevo radio exterior R'_e

$$R'_e = R_2 \cdot Z'_e$$

$$Z'_e = (1 + H_2)/(1 - H_2)$$

de donde se obtiene la definición completa de la segunda y la tercera capa; o capa exterior, pudiendo volver a partir esta capa exterior en dos, repitiendo la prescripción.

20 Cuando la temperatura del fluido a contener o transferir es superior a la del medio ambiente, la invención incorpora la variante de refrigerar el fluido que se inyecta en los huelgos entre capas, con temperaturas escalonadas, estableciéndose en cada capa una diferencia de temperaturas D_n entre la cara interior y la cara exterior de la capa n-sima. Para determinar el escalonamiento de temperaturas, se tiene en cuenta que las tensiones de aro de origen térmico, A_t , son siempre de tracción en la cara fría, y de compresión en la cara caliente, y en este caso de paredes cilíndricas adquieren el valor absoluto A_{tn} en una capa con la diferencia de temperaturas D_n entre sus caras interior y exterior,

30
$$A_{tn} = f \cdot E \cdot D_n/2$$

siendo f el coeficiente de dilatación lineal y E el módulo elástico del material de la capa.

Por ello, para recipientes cilíndricos de alta presión interior, en los cuales las tensiones de aro debidas a la presión, o tensiones de aro mecánicas, son siempre de tracción, esta tensión mecánica se suma a la tensión térmica en la cara fría, que es la exterior; y al contrario, la tensión térmica se resta de la tensión mecánica en la cara más caliente, que es la interior; y con objeto de igualar entre sí las tensiones de aro resultantes en una y otra cara, la diferencia de temperatura D_n que se impone entre la cara interior de la capa y la exterior, es

$$D_n = (P_{ni} - P_{ne}) / (f \cdot E)$$

siendo P_{ni} y P_{ne} respectivamente las presiones en la cara interior y exterior de la capa enésima.

Cuando la temperatura del fluido a contener o transferir es inferior a la del medio ambiente se produce el problema contrario, y las tensiones de aro mecánica y térmica se suman en la cara fría, lo que produce una resultante mayor que la tensión de aro mecánica, lo cual no es aceptable, a no ser que se baje la presión interior en el recipiente o conducto. Para mantener ésta y no incrementar las tensiones de aro en las caras frías, se prescribe mantener todos los huelgos a la temperatura del interior del recipiente, lo cual anula las tensiones térmicas en las capas; lo cual se consigue añadiendo un huelgo exterior adicional y una capa exterior adicional, no de material mecánico resistente, sino de aislante térmico, manteniendo el huelgo adicional exterior a la temperatura del interior del recipiente, y con presión igual a la exterior circundante, efectuando la refrigeración del fluido de dicho huelgo exterior mediante dispositivos criogénicos al uso.

Aunque lo habitual es que la pared de un recipiente sea de un solo material, la invención se aplica igualmente a capas de materiales distintos, con sus propiedades físicas y químicas correspondientes.

Una variante peculiar de la invención, que se aplica cuando hay una conexión de penetración tipo racor entre dos conductos, o un conducto y un recipiente, es la de imponer en el huelgo más interno de la pared del conducto exterior una presión más alta que la del fluido que se almacena o se trasiega

dentro de esos conductos, y con ello se obtiene que la capa interna de la pared exterior haga trabajar en compresión a la interfaz entre ambos conductos.

EXPLICACIÓN DE LAS FIGURAS

5 A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta. Las figuras no están a escala, pues sería imposible ver algunos elementos, como los huecos, que están ampliados respecto de las
10 capas.

La Figura 1 muestra una sección transversal de un depósito con dos capas y un hueco o volumen de fluido intermedio para escalonamiento de la presión.

15 La Figura 2 muestra una sección longitudinal de un depósito de varias capas con los circuitos de presión de los volúmenes de fluido intermedios, activados por bomba o compresor.

La Figura 3 muestra una parte de la sección longitudinal de un depósito de varias capas con los circuitos de presión de los volúmenes de fluido intermedios, gobernados por válvulas reductoras de presión, actuando a partir
20 del flujo principal de fluido.

La Figura 4 es similar a la Figura 3, incluyendo dos refrigeradores en los circuitos de presión de los dos volúmenes intermedios más exteriores.

La Figura 5 es similar a la Figura 1, pero incluyendo el hueco más exterior, para acondicionamiento de la temperatura y presión igual a la exterior
25 circundante, y la capa exterior de aislante térmico

Para facilitar la comprensión de las figuras de la invención, y de sus modos de realización, a continuación se relacionan los elementos relevantes de la misma:

- 30
1. Interior del recipiente o conducto multicapa.
 2. Cara interior de la capa más interna.

3. Cara exterior de la capa más interna.
4. Cara interior de la capa más externa.
5. Cara exterior de la capa más externa.
6. Huelgo entre capas.
- 5 7. Eje de revolución del recipiente.
8. Boca de llenado del recipiente.
9. Huelgo más interior.
- 10 10. Huelgo intermedio.
11. Huelgo más exterior.
- 10 12. Depósito de fluido de llenado de los huelgos.
13. Compresor o bomba de llenado.
14. Válvula de alivio del fluido de un huelgo.
15. Conducto de llenado y vaciado de un huelgo.
16. Válvula de cierre o sellado total.
- 15 17. Conducto de derivación del fluido a almacenar, para llenar los huelgos.
18. Válvulas isoentálpicas reductoras de presión.
19. Intercambiador de calor para acondicionamiento de la temperatura del fluido de llenado del huelgo.
20. Entrada del fluido secundario del intercambiador de calor 19.
- 20 21. Salida del fluido secundario del intercambiador de calor 19.
22. Huelgo más exterior, para acondicionamiento de la temperatura a la más interior, y la presión igual a la exterior circundante.
23. Aislante térmico, sin funciones de resistencia mecánica.
24. Taponamientos de estanqueidad, que sueldan entre sí las capas que forman un huelgo, y son atravesados por los conductos 15.
- 25 25. Manómetro del interior del recipiente o conducto.
26. Manómetro del huelgo más interior.
27. Manómetro del huelgo intermedio.

28. Manómetro del huelgo más exterior.

29. Capa interior.

30. Capa exterior.

5 MODO PREFERENTE DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

La **Figura 1** muestra una sección transversal de un depósito con dos capas y un huelgo o volumen de fluido intermedio para escalonamiento de la presión. Para materializar la invención se parte de disponer de materiales resistentes mecánicamente, y que puedan fabricarse en diversas formas superponibles, en particular, piezas de revolución estancas, contándose para
10 ello con diversos metales, tales como el acero, el aluminio, aleaciones varias, e incluso titanio, además de materiales no metálicos, como son los composites, las resinas coaligadas a estructuras rígidas, y en general todo material que se use habitualmente para hacer tuberías y depósitos. La conformación exigida a las
15 capas, sus tolerancias, etcétera, son similares a las habituales, salvo en el tema de la estanqueidad, que ha de ser sin fisuras, lo cual es también requisito habitual, si bien aquí es imprescindible.

La **Figura 2** muestra una sección longitudinal de un depósito de varias capas con los circuitos de presión de los volúmenes de fluido intermedios, activados por bomba o compresor. La **Figura 3** muestra una parte de la sección longitudinal de un depósito de varias capas con los circuitos de presión de los volúmenes de fluido intermedios, gobernados por válvulas reductoras de presión, actuando a partir del flujo principal de fluido. Las capas concéntricas se montan soldándose con taponamientos de estanqueidad (24) en sus extremos, lo cual
25 además les confiere la disposición geométrica elemental para generar el huelgo (9, 10, 11), cuyo espesor ha de ser mucho menor que el de las capas, salvo el huelgo adicional más exterior (22) mostrado en la Figura 5, adyacente al aislante térmico (23), que al requerir refrigeración debe tener un canal de paso acorde con esa función. En dichos taponamientos (24) sólo queda abierto el paso del
30 conducto (15) de llenado y vaciado del fluido, que puede ser el mismo fluido que se almacena o trasiega, u otro que sea químicamente compatible y no corrosivo con el material usado en las capas, y que éstas no sean permeables al fluido.

Para rellenar los huecos, se puede proceder de forma activa según se muestra en la Figura 2, usando un depósito (12) y un inyector (13) de inyección del fluido en el hueco, que sería un compresor, si el fluido es gas, o una bomba de gran altura manométrica en la impulsión, si es un líquido. La ventaja de usar un líquido es su menor compresibilidad, que hace menos caro el llenado de los huecos, energéticamente hablando, y además no resulta tan grave en el caso de rotura del sistema o despresurización súbita, no generándose misiles por piezas rotas ni corrientes de chorro, como puede ocurrir en el caso de gases. Un líquido muy adecuado es el aceite de tipo lubricante.

10 También se pueden rellenar los huecos de forma pasiva según se muestra en la Figura 3, usando el propio fluido a almacenar, del cual se extrae una corriente de derivación (17) en la boca de entrada (8) en el conducto o recipiente. Dado que las presiones de los huecos han de ser menores que la del fluido en cuestión, tan sólo se requiere una válvula isoentálpica (18) reductora de presión para llevar a cabo el llenado de cada hueco.

Una pieza esencial y crítica en cada conducto de llenado de hueco es la válvula de cierre o sellado total (16), que efectivamente ha de cerrar de manera estanca. Este no es un requisito especial, pues son millones las botellas con gases comprimidos, en particular aire, que existen en el mundo, con válvulas de cierre absoluto, encajadas en los cuellos de entrada de esas botellas y bombonas.

La **Figura 4** es similar a la Figura 3, incluyendo dos refrigeradores en los circuitos de presión de los dos volúmenes intermedios más exteriores.

La **Figura 5** es similar a la Figura 1, pero incluye una capa exterior de aislante térmico y un hueco exterior (22) adicional para acondicionamiento de la temperatura a la temperatura del interior del recipiente o conducto y para acondicionamiento de la presión igual a la presión del medio exterior circundante. Esta realización es útil cuando la temperatura del fluido a presión es inferior a la del medio circundante exterior.

30 Las ventajas de esta invención son notorias en ahorro de material, pero también en las condiciones de trabajo del material empleado, por repartirse mucho más uniformemente las tensiones a través de los diversos espesores de material, en comparación con la solución de medio sólido continuo, siendo muy notorio en las tensiones de aro de las piezas cilíndricas.

Supóngase un caso relativamente extremo, en el que la presión interna es tan alta que es la mitad de la tensión de aro permitida, por ejemplo, $P = 400$ bar, $A = 800$ bar; por lo que el valor de N es 2. De acuerdo con la teoría anteriormente expuesta, el valor de la razón entre radios ha de ser en este caso

5 $3^{1/2}$, es decir, 1,73. Llamando R_0 al radio interior (que es el del recipiente o el conducto), el área de la sección recta G_0 de la pared convencional de medio sólido continuo es $G_0 = \pi 2 R_0^2$.

Si ahora se hace la pared con dos capas, según la invención, conservando P y A de la definición del problema, así como R_0 , se obtiene como

10 resultado un menor espesor total, y por ende menos masa empleada, y menor coste de fabricación. Tomemos como ejemplo que la capa interior llega hasta el radio $R_1 = 1,29 \cdot R_0$; es decir $Z_1 = 1,29$, lo que lleva a un valor de H_1 que es

$$H_1 = ((Z_1^2 + 1)/(2 \cdot N \cdot Z_1^2)) - ((Z_1^2 - 1)/(2 \cdot Z_1^2)) = 0,2$$

el cual determina a su vez la razón de radios Z_e de la capa exterior

15 $Z_e^2 = (1 + H_1)/(1 - H_1) = 1,5$

Por lo que se obtiene una razón de radios de la capa exterior de 1,225; y la presión en el huelgo

$$P_1 = A \cdot H_1 = 0,2 \cdot A = 0,4 \cdot P$$

Las secciones rectas de las capas interior y exterior serían

20 $G_1 = \pi \cdot R_0^2 (Z_1^2 - 1) = 0,666 \pi R_0^2$

$$G_2 = \pi \cdot R_1^2 (Z_2^2 - 1) = \pi \cdot 1,666 \cdot R_0^2 (Z_1^2 - 1) = 0,833 \pi R_0^2$$

Y la suma de ambos da $1,5 \pi R_0^2$, es decir un 25% menos que el caso de una sola capa de pared continua.

Este valor de ahorro cambia al elegir otros radios intermedios, pero no de

25 manera significativa, salvo que uno se acerque mucho a una cara o la otra.

Por ejemplo, para $Z_1 = 1,1$; el valor de $H_1 = 0,37$; y $P_1 = 0,74P$. $Z_e = 1,475$, y la suma de ambas secciones rectas, $G_1 + G_2 = 1,63 \pi R_0^2$.

Al acercarse al centro del espesor original, se mejora el resultado. Por ejemplo, para $Z_1 = 1,225$ ($Z_1^2 = 1,5$), el valor de $H_1 = 0,25$; y $P_1 = 0,5P$. De H_1 se

30 deduce que $Z_e = 1,29$, y la suma de ambas secciones rectas, $G_1 + G_2 = 1,5 \pi R_0^2$; es decir, igual que en el caso de $Z_1 = 1,29$. A partir de ahí, el resultado vuelve a

empeorar, aunque lentamente, y para $Z_1 = 1,4$ el resultado total es $G_1 + G_2 = 1,55\pi R_0^2$.

El análisis más a fondo de las propiedades algebraicas de este problema permite abordar su optimización, en el sentido de minimizar la cantidad de material requerido en la pared, para una función dada. Para el caso en estudio, definido por un radio R_0 y una presión P dentro del recipiente y presión nula en el exterior, señalándose además una tensión de aro A como valor máximo, el problema es encontrar la distribución en dos capas que minimiza el área total de sección recta de las capas, que es

$$G = \pi \cdot R_0^2 (Z_1^2 - 1) + \pi \cdot R_1^2 (Z_2^2 - 1) = \pi \cdot R_0^2 (Z_1^2 \cdot Z_2^2 - 1)$$

Y para hallar el mínimo es fundamental la propiedad de que los valores de Z_1^2 y Z_2^2 son conjugados, es decir, que si un valor W de Z_1 implica un valor W' para Z_2 , si se utiliza el valor W' para Z_1 , se obtiene el valor W para Z_2 . Esto conduce a que el mínimo se obtenga cuando ambos valores son iguales, $Z_2^2 = Z_1^2$.

La propiedad de conjugación es evidente si se expresan las relaciones entre Z_2^2 y Z_1^2 , respecto de los parámetros que definen el problema, a los que se añaden

$$H = P/A$$

$$C = (3 - H)/(1 + H)$$

siendo la relación entre los cuadrados de las razones entre radios de cada capa, la siguiente

$$Z_2^2 = (Z_1^2 + 1)/(C \cdot Z_1^2 - 1)$$

$$Z_1^2 = (Z_2^2 + 1)/(C \cdot Z_2^2 - 1)$$

donde se aprecia que ambos valores son intercambiables. Igualando ambos se obtiene el valor que lleva al mínimo buscado, y es

$$Z_2^2 = Z_1^2 = (1 + (1+C)^{1/2})/C$$

Para el caso anteriormente usado como ejemplo ($H = 0,5$), se tiene $Z_2^2 = Z_1^2 = 1,58$; lo cual conduce a un valor mínimo de la sección recta de $1,497\pi R_0^2$, muy cercano al $1,5\pi R_0^2$ obtenido para los casos en los que ambas razones de radios eran similares.

Además de dichas razones de radios de cada capa, Z_2^2 y Z_1^2 , el sistema queda definido por la presión P_i a imponer en el huelgo intermedio, que es

$$P_i = A \cdot (Z_2^2 - 1) / (Z_2^2 + 1)$$

- Con carácter general, se ha de resolver el problema de la minimización de la sección recta requerida para soportar una presión interna o de dentro P_D aplicada en un radio R_D que puede ser el del interior del recipiente o de un huelgo, con una tensión de aro máxima A , y una presión externa P_F en general no nula, y que actúa en el exterior de la capa de fuera, de las dos que constituyen esa pared o tramo de pared, caracterizando a la capa de dentro por el subíndice D y a la de fuera por el F, siendo el radio del huelgo intermedio R_M y su presión P_F , y siendo correspondientemente $H_D = P_D/A$ y $H_F = P_F/A$; con $R_M = R_D \cdot Z_D$ y $R_F = R_M \cdot Z_F$.

De nuevo se encuentran aquí que las parejas de valores son conjugadas, pues

$$Z_F^2 = (Z_D^2 \cdot (1 + H_D) + (1 + H_D)) / (Z_D^2 \cdot (4 \cdot H_F + 3 - H_D) - (1 + H_D))$$

$$15 \quad Z_D^2 = (Z_F^2 \cdot (1 + H_D) + (1 + H_D)) / (Z_F^2 \cdot (4 \cdot H_F + 3 - H_D) - (1 + H_D))$$

Lo cual lleva al mínimo cuando ambos valores son iguales que corresponde a

$$Z_F^2 = Z_D^2 = (2 \cdot (1 + H_D) + 4 \cdot (1 + H_D)^2 + 4 \cdot (4 \cdot H_F + 3 - H_D) \cdot (1 + H_D))^{1/2} / (2 \cdot (4 \cdot H_F + 3 - H_D))$$

Y la presión en el huelgo intermedio se obtiene al igualar ambas razones,

$$H_M = (1 + H_D + H_F + H_D \cdot H_F)^{1/2} - 1$$

- 20 Siendo pues la presión, $P_M = H_M \cdot A$

En caso de que el huelgo tuviera un espesor no despreciable, h_M , habría que corregir la definición del radio R_F según se indica

$$R_F = Z_F \cdot (R_M + h_M)$$

- Por descontado, este problema general coincide en sus soluciones con las del problema resuelto antes con presión exterior nula, es decir $P_F = 0$.

Obviamente, la situación mejora si se utilizan varias capas, pues eso permite aumentar la tensión de aro media del conjunto, y por tanto hace falta menos material.

Partimos de la siguiente propiedad: la diferencia entre la tensión de aro A_i en la cara interior, y la tensión en la exterior A_e , es la diferencia de presiones, esto es

$$A_i - A_e = P_i - P_e$$

- 5 Lo cual orienta a repartir la presión interior P en M tramos iguales, siendo M el número de capas, y poniendo la prescripción de que todas las capas tengan la misma tensión de aro máxima, A , y por dicho reparto, también la mínima. Llamando huelgo j al que se encuentra al exterior de la capa j , se tiene

$$P_j = P \cdot (M-j)/M$$

$$10 \quad N_j = N \cdot M / (M-j) = A / P_j$$

siendo el espacio interior del recipiente el que hace de huelgo 0 en la condición de contorno interior, es decir

$$P_0 = P$$

$$N = A / P$$

- 15 y por conveniencia de escritura se define el parámetro H_j como el inverso de N_j

$$H_j = 1 / N_j$$

siendo $H_M = 0$, por tomarse presión nula en el exterior del todo; con lo cual en cada capa se puede expresar su tensión de aro máxima, siempre la misma, como función de la razón de sus radios, Z_j , y las presiones P_{j-1} y P_j

$$20 \quad A = P_{j-1} ((Z_j^2 + 1) / (Z_j^2 - 1)) - P_j (2 \cdot Z_j^2 / (Z_j^2 - 1))$$

$$1 = H_{j-1} ((Z_j^2 + 1) / (Z_j^2 - 1)) - H_j (2 \cdot Z_j^2 / (Z_j^2 - 1))$$

de la cual se obtiene la definición de las sucesivas razones entre radios exterior e interior de cada capa

$$Z_j^2 = (1 + H_{j-1}) / (2 \cdot H_j + 1 - H_{j-1})$$

- 25 con lo que queda unívocamente definido el conjunto de las M capas, por las presiones en los sucesivos huelgos, y los radios de sus capas, comenzando por

$$R_1 = R_0 \cdot Z_1$$

$$R_2 = R_1 \cdot Z_2$$

y así sucesivamente; y en caso de que los huelgos sean de espesor no

- 30 despreciable, en cada huelgo, número de orden j , se diferencia entre su radio

interno, R_{ji} y radio externo R_{je} , llamando h_j al espesor del huelgo que se sitúa más afuera de la capa j , siendo

$$R_{1i} = R_0 \cdot Z_1$$

$$R_{1e} = R_{1i} + h_1$$

5 $R_{2i} = R_{1e} \cdot Z_2$

$$R_{2e} = R_{2i} + h_2$$

y así sucesivamente.

Por ejemplo, si el caso anterior con $N = 2$ lo resolvemos con 4 capas, los valores que se obtienen en cada una de ellas para las diversas secuencias de parámetros son los recogidos en la tabla siguiente, que incluye el área de la sección recta G_j de cada capa, en unidades πR_0^2 .

Capa	1	2	3	4
P_j	$3P/4$	$P/2$	$P/4$	0
N_j	$8/3$	4	8	-
H_j	$3/8$	$1/4$	0,125	0
Z_j^2	1,2	1,222	1,25	1,286
G_j	0,2	0,275	0,3666	0,5237

La suma de las secciones rectas G_j da el valor $1,365 \pi R_0^2$, menor que en el caso de 2 capas, cuyo valor mínimo era de $1,5 \pi R_0^2$.

A medida que se aumenta el número de capas disminuye la eficacia de la reducción del espesor total, pero también hay que tener en cuenta la mayor facilidad de fabricación de las paredes multicapa, que luego pueden ensamblarse sin ninguna dificultad, y cerrarse los taponamientos correspondientes, dejando tan sólo el paso para el conducto de llenado/vaciado del huelgo, con su válvula de sellado o cierre hermético. Un caso límite puede ser el de 10 capas, aplicadas al caso anterior, es decir con presión interior P ($P=A/N$) siendo $N = 2$ en este caso. La tabla siguiente resume los resultados:

Capa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_j	0,9P	0,8P	0,7P	0,6P	0,5P	0,4P	0,3P	0,2P	0,1P	0
N_j	2,22	2,5	2,86	3,33	4	5	6,67	10	20	-
H_j	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0
Z_j^2	1,071	1,074	1,077	1,08	1,083	1,087	1,091	1,095	1,1	1,105
Π_j	1	1,071	1,151	1,24	1,338	1,45	1,575	1,72	1,88	2,07
G_j	0,071	0,079	0,088	0,1	0,111	0,126	0,143	0,163	0,188	0,217

El parámetro Π_j es el valor, al cuadrado, de la razón entre el radio interior de una capa, y el radio del espacio interno, R_0 , lo cual marca cómo va creciendo la sucesión de capas; y sirve para calcular la sección recta del material que conforma la placa, G_j , las cuales suman $1,286\pi R_0^2$, y por tanto este caso supone un ahorro de material de más del 35% respecto del caso convencional de pared maciza, a lo que hay que añadir la sencillez en construir cada capa.

En cuanto a la cuestión de la temperatura, sus efectos pueden ser notables en tensiones térmicas, si el salto de temperatura de una cara a otra es fuerte. Como ejemplo, tomemos una sola capa que soporta una diferencia de presiones de 300 bar, que es precisamente la diferencia entre la tensión de aro A_i en la cara interior, y la tensión en la exterior A_e , pues

$$A_i = A_e + \Delta P$$

Por su parte, con objeto de igualar entre sí las tensiones de aro resultantes en una y otra cara, ya se determinó que la diferencia de temperatura D que se ha de imponer entre la cara interior de la capa y la exterior, es

$$D = \Delta P / (f \cdot E)$$

Para el acero, el coeficiente de dilatación lineal vale $f = 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ aproximadamente, y el módulo de Young $E = 2,2 \cdot 10^6 \text{ bar}$, lo que viene a significar que 1 $^\circ\text{C}$ de diferencia equilibra 22 bar, lo cual es muy apreciable, aunque exige mantener esa diferencia de temperatura, lo cual supone pérdidas térmicas, que hay eventualmente que reponer.

La relación anterior también es orientativa en el caso de almacenar un fluido frío, pero con efecto adverso, pues no se igualan las tensiones de aro

interior y exterior, sino que se duplica su diferencia, en caso de darse el salto antedicho en temperatura de una cara a otra, pero en sentido opuesto, con la temperatura menor en la cara interna. De ahí que la prescripción de la invención sea mantener todos los huecos a la temperatura del interior del recipiente, lo

5 cual anula las tensiones térmicas en las capas. Para ello se añade un hueco exterior adicional y una capa exterior adicional, no de material mecánico resistente, sino de aislante térmico, manteniendo el hueco adicional exterior a la temperatura del interior del recipiente, y a la presión exterior circundante, efectuando la refrigeración del fluido de dicho hueco exterior mediante

10 dispositivos tales como circuitos con ciclos de compresión criogénica simple, o doble con separador de fase en el fluido de trabajo, o de varias etapas en la compresión.

Una vez descrita de forma clara la invención, se hace constar que las realizaciones particulares anteriormente descritas son susceptibles de

15 modificaciones de detalle que no alteren la esencia de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión, que comprende una pluralidad de capas (29, 30) de material sólido y un huelgo (6) o volumen hermético entre capas sucesivas, **caracterizado por que** cada huelgo
 5 aloja un fluido de llenado de huelgos presurizado a una presión intermedia entre la presión del interior del recipiente o conducto y la del medio circundante exterior.

2. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según la
 10 reivindicación 1, que comprende una pluralidad de huelgos (9, 10, 11) y donde las sucesivas presiones del fluido contenido en los huelgos (9, 10, 11) es de valor descendente hacia el exterior.

3. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según la
 15 reivindicación 2, donde la presión $P_{(n,n+1)}$ en el huelgo contenido entre la capa n , empezando a contar desde el interior, y la capa siguiente hacia el exterior, capa $n+1$, corresponde a

$$P_{(n,n+1)} = (P_{int} - P_{ext}) \frac{M - n}{M}$$

donde M es el número total de capas, P_{int} es la presión en el interior del
 recipiente o conducto multicapa y P_{ext} es la presión en el medio circundante
 20 exterior.

4. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según la
 cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las capas (29, 30) son de
 igual espesor.

25

5. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según la
 cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las capas (29, 30) son de
 sección recta circular y concéntricas.

6. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según la reivindicación 2, con un hueco interior cilíndrico de radio R_0 , con una presión P respecto del exterior, cuyas capas son de un material cuya tensión de aro máxima se fija en un valor A , teniendo el recipiente M capas con huecos intercalados, llamando hueco j al que se encuentra al exterior de la capa número j contando desde el interior, y se mantienen los valores de la presión P_j en el hueco j que corresponden a

$$P_j = P \cdot (M-j)/M$$

y se define el parámetro H_j en el hueco j

10 $H_j = P_j / A$

siendo el espacio interior del recipiente el que hace de hueco 0 en la condición de contorno interior, que es

$$P_0 = P$$

$$H_0 = P/A$$

- 15 siendo $H_M = 0$, que corresponde a presión nula en el exterior del todo, y se especifica el tamaño de cada capa en función de la razón de sus radios, Z_j , que corresponde a

$$Z_j = R_j / R_{j-1}$$

- y los cuadrados de las sucesivas razones entre radios mayor y menor de cada capa corresponden a
- 20

$$Z_j^2 = (1 + H_{j-1}) / (2 \cdot H_j + 1 - H_{j-1})$$

- teniendo cada hueco, identificado por su número de orden j contado desde el interior, su radio interno, R_{ji} y su radio externo R_{je} , siendo h_j el espesor del hueco que se sitúa más afuera de la capa j , y teniendo los sucesivos radios los valores de la sucesión
- 25

$$R_{1i} = R_0 \cdot Z_1$$

$$R_{1e} = R_{1i} + h_1$$

$$R_{2i} = R_{1e} \cdot Z_2$$

$$R_{2e} = R_{2i} + h_2$$

- 30 y así sucesivamente hasta completar las M capas.

7. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según la cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un circuito de presión para cada huelgo (6) configurado para introducir en su correspondiente huelgo el fluido de llenado de huelgos.

5

8. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según la reivindicación 7, que comprende un depósito (12) del fluido de llenado de huelgos y donde cada circuito de presión comprende una bomba o compresor (13) y un manómetro (26, 27, 28).

10

9. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según la reivindicación 7, donde cada circuito de presión comprende una válvula reductora de presión (18) configurada para ajustar la presión del fluido de llenado de huelgos en cada huelgo (9, 10, 11) correspondiente tomando el fluido para rellenar dichos huelgos a partir de la acometida principal del fluido a alta presión del conducto o recipiente multicapa.

10. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, donde cada circuito de presión comprende una válvula de alivio (14) configurada para liberar fluido de llenado de huelgos cada vez que se necesite reducir la presión en el huelgo correspondiente.

11. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, donde cada circuito de presión comprende una válvula (16) configurada para abrirse cuando se inyecta o extrae fluido de llenado de huelgos, y quedar herméticamente cerrada cuando la presión del huelgo correspondiente es la presión de consigna.

12. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una capa exterior (23) adicional de material aislante térmico y un huelgo exterior (22) adicional que

aloja un fluido de llenado de huelgos presurizado a una presión igual a la del medio circundante exterior.

13. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según la reivindicación 12, que dispone de medios de refrigeración encargados de mantener la temperatura de todos los huelgos, incluido el huelgo exterior (22) a la temperatura del interior del recipiente o conducto.

14. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los fluidos de llenado de los sucesivos huelgos están a temperaturas escalonadas.

15. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según la reivindicación 14, donde el escalonamiento de temperaturas en los huelgos corresponde a la diferencia de temperatura D_n entre la cara interior y la cara exterior de la capa n-sima, con

$$D_n = (P_{ni} - P_{ne}) / (f \cdot E)$$

siendo P_{ni} y P_{ne} respectivamente las presiones en la cara interior y exterior de dicha capa n-sima, f el coeficiente de dilatación lineal y E el módulo elástico del material de la capa.

16. Recipiente o conducto multicapa para fluidos a alta presión según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 15, que comprende medios de refrigeración encargados de refrigerar el fluido que se inyecta en los huelgos a temperaturas escalonadas.

1 / 4

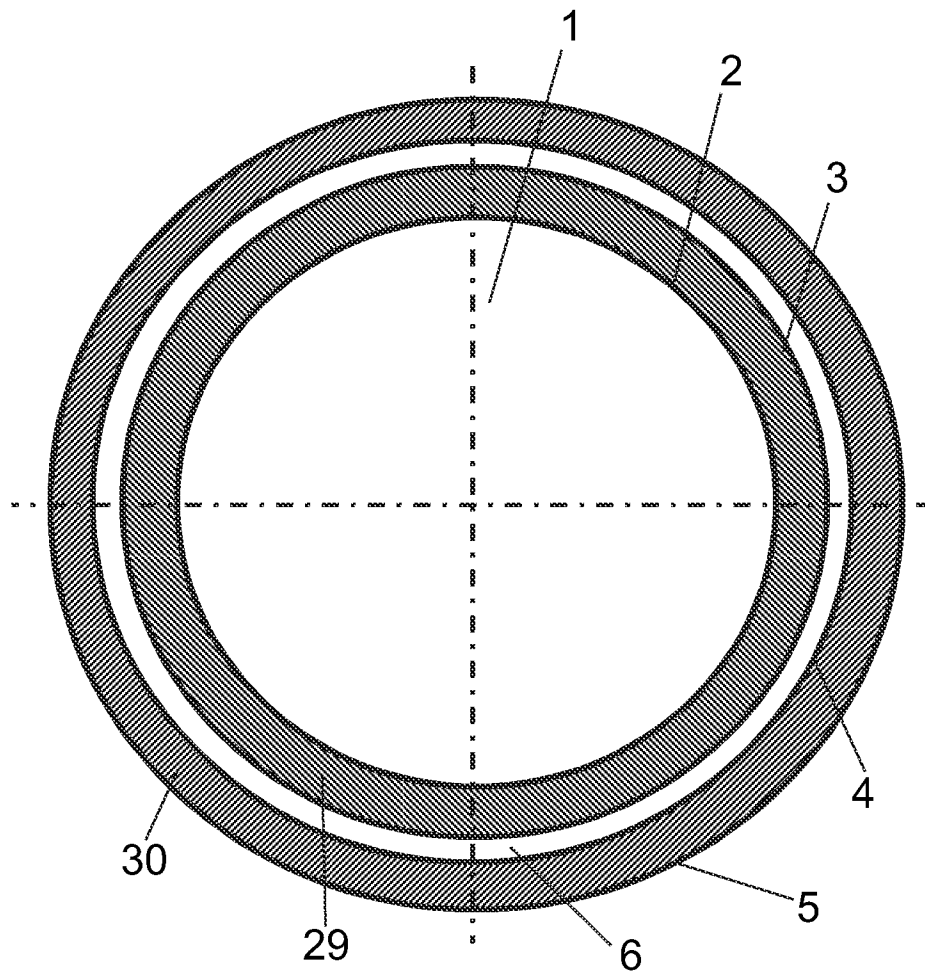


Fig. 1

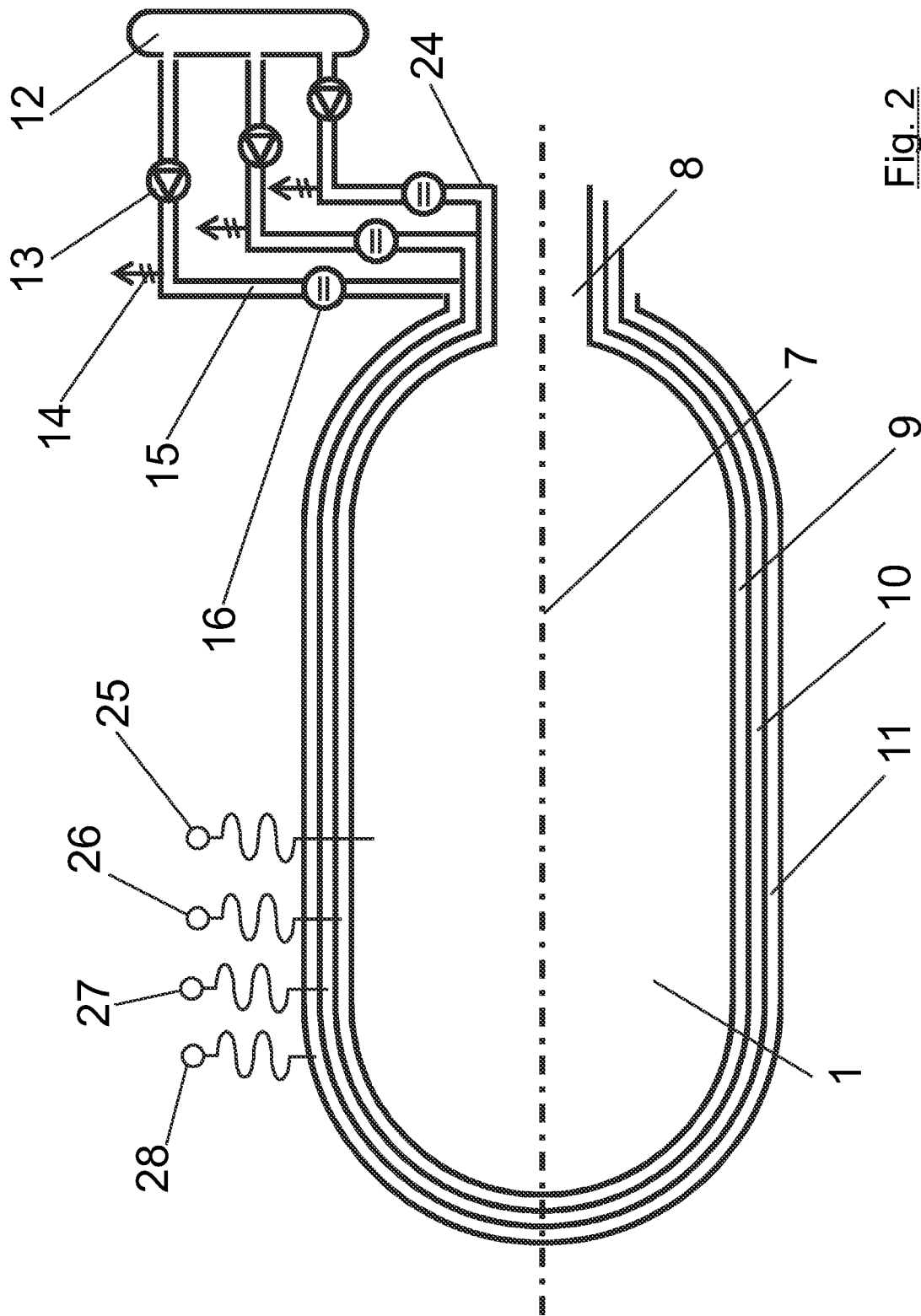


Fig. 2

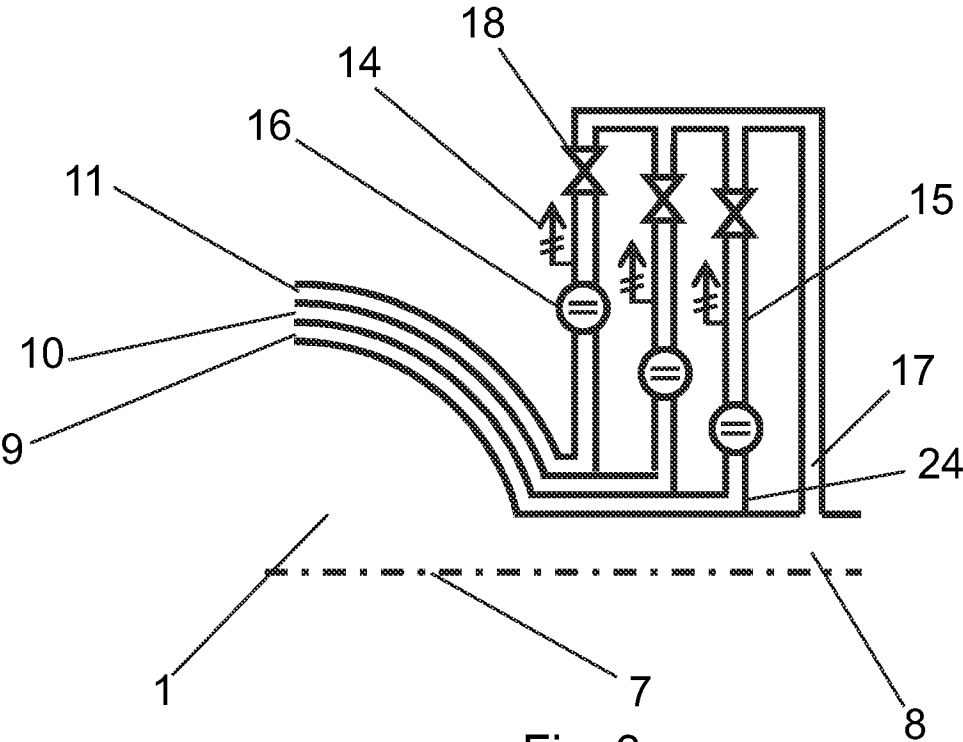


Fig. 3

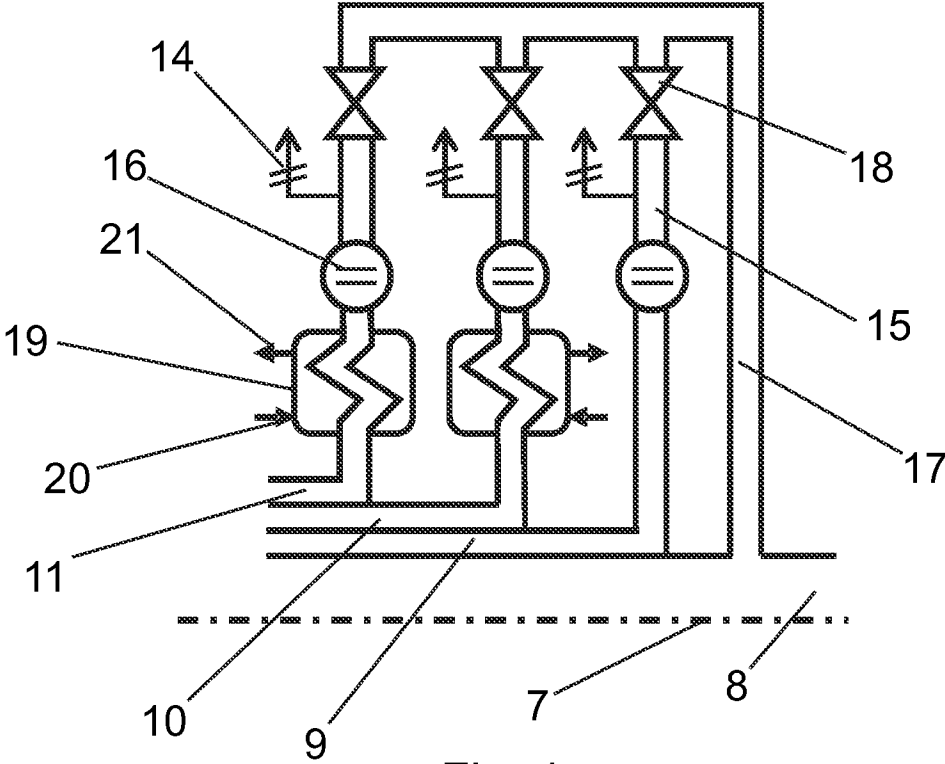


Fig. 4

4 / 4

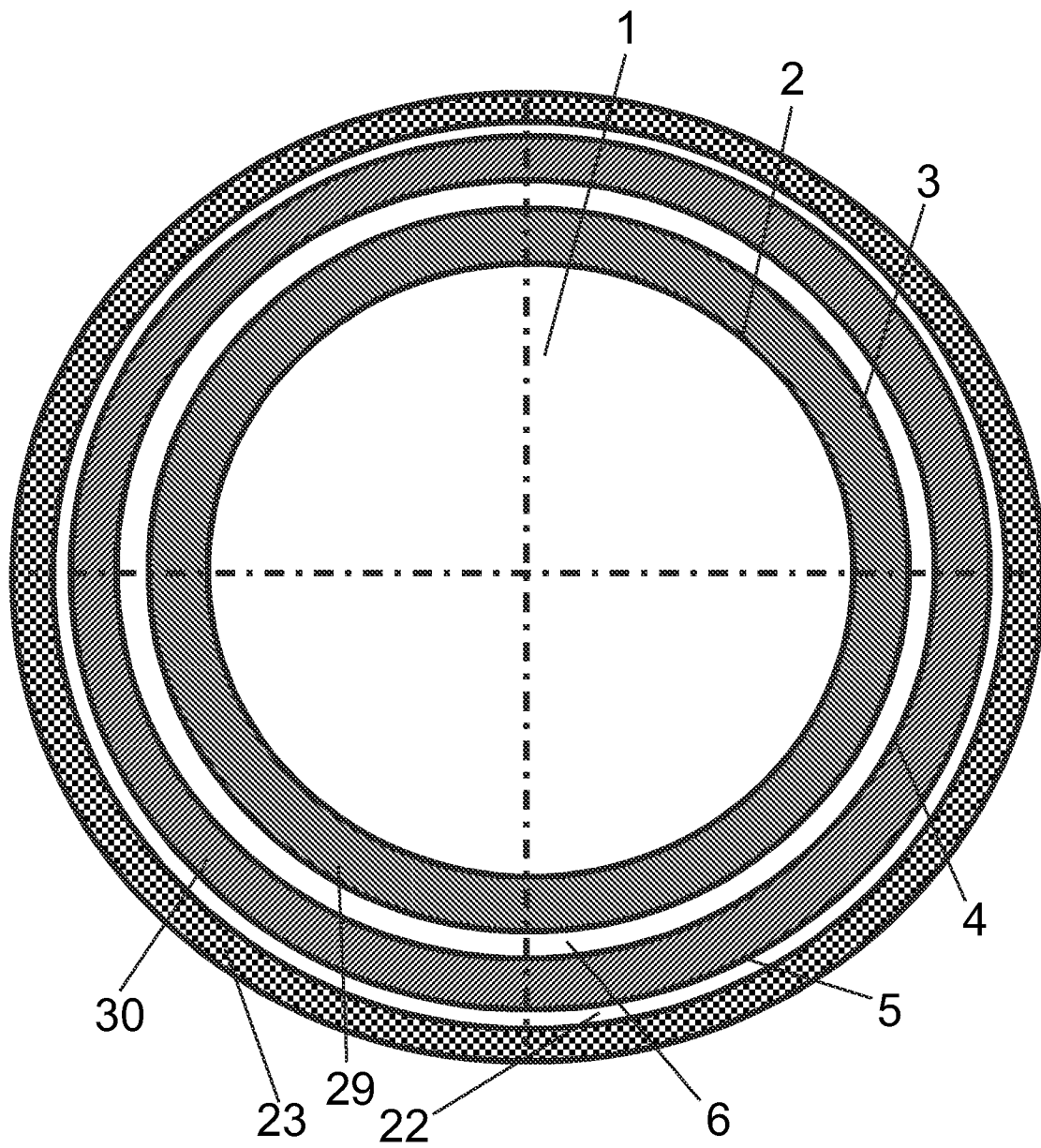


Fig. 5