

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 985 942**

51 Int. Cl.:

**B61B 13/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.09.2020 PCT/EP2020/075825**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.03.2021 WO21052991**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2020 E 20771562 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2024 EP 4031430**

54 Título: **Sección de tubo para sistema de transporte de tubo evacuado**

30 Prioridad:

**18.09.2019 EP 19198139**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.11.2024**

73 Titular/es:

**TATA STEEL NEDERLAND TECHNOLOGY B.V.  
(100.0%)  
Wenckebachstraat 1  
1951 JZ Velsen-Noord, NL**

72 Inventor/es:

**DE VRIES, PAUL, ALEXANDER**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 985 942 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sección de tubo para sistema de transporte de tubo evacuado

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a una sección de tubo para construir un tubo para aplicaciones de presión negativa con una circunferencia inscrita que tiene un diámetro de al menos 2 m y a un tubo para sistema de transporte de tubos evacuados producidos a partir del mismo.

Antecedentes de la invención

10 Con la aplicación de presión negativa se entiende que la presión en el tubo es menor que fuera del tubo. Por lo tanto, el tubo está bajo presión externa. Un ejemplo de aplicación de presión negativa es un tubo en un sistema de transporte por tubo evacuado (ETT). Un Hyperloop es un modo propuesto de ETT para el transporte de pasajeros y/o carga, utilizado por primera vez para describir un diseño de tren de vacío de código abierto lanzado por un equipo conjunto de Tesla y SpaceX. Inspirándose en gran medida en el tren de vacío de Robert Goddard, un hyperloop comprende un tubo de vacío sellado o un sistema de tubos de vacío a través del cual  
15 una cápsula puede viajar con menos o incluso sin resistencia del aire o fricción transportando personas u objetos a alta velocidad y aceleración. La versión del concepto de Elon Musk, mencionada públicamente por primera vez en 2012, incorpora tubos de presión reducida en los que cápsulas presurizadas viajan sobre cojinetes de aire impulsados por motores de inducción lineal y compresores de aire. Los tubos pasarían por encima del suelo sobre pilones o bajo tierra en túneles. El concepto permitiría viajar considerablemente más rápido que los actuales viajes en tren o avión. Un sistema Hyperloop ideal será más eficiente energéticamente, silencioso y autónomo que los modos de transporte público existentes.  
20

25 Históricamente, los avances en el ferrocarril de alta velocidad se han visto obstaculizados por las dificultades para manejar la fricción y la resistencia del aire, las cuales se vuelven sustanciales cuando los vehículos se acercan a altas velocidades. El concepto de tren de vacío elimina teóricamente estos obstáculos empleando trenes que levitan magnéticamente en tubos evacuados (sin aire) o parcialmente evacuados, lo que permite velocidades muy altas. El principio de la levitación magnética se describe en el documento US1020942. Sin embargo, el alto coste de la levitación magnética y la dificultad de mantener el vacío a grandes distancias han impedido que este tipo de sistema se haya construido. El Hyperloop se parece a un sistema de tren de vacío pero opera a aproximadamente un milibar (100 Pa) de presión y, por lo tanto, puede describirse como un sistema de transporte por tubo de vacío (ETT), como se describe en términos generales en el documento  
30 US5950543.

35 Un sistema ETT resuelve muchos problemas asociados con el transporte clásico eliminando todos los obstáculos del camino de viaje. El objeto que viaja (en este caso una cápsula) está en un tubo, por lo que permanece en el camino previsto y no pueden interponerse obstáculos en el camino. Si las cápsulas siguientes sufren aceleraciones y desaceleraciones idénticas, muchas cápsulas pueden viajar en la misma dirección en el tubo a la vez con total seguridad. La aceleración y desaceleración están previstas para evitar que la cápsula se convierta en un obstáculo para cápsulas posteriores. La confiabilidad de las cápsulas es muy alta debido a la mínima o nula dependencia de las partes móviles. La mayor parte de la energía necesaria para acelerar se recupera durante la desaceleración.

40 Uno de los elementos importantes de un sistema ETT es el tubo. Estos tubos requieren un gran diámetro interno para permitir el paso de las cápsulas que contienen la carga o los pasajeros. La presión en el tubo es de aproximadamente 100 Pa, por lo que debe poder soportar la presión de la atmósfera circundante de aproximadamente 101 kPa, que es aproximadamente 1000 veces mayor. Como los tubos sobre el suelo a menudo estarían soportados (por ejemplo, por pilones), el tubo también debe poder abarcar el espacio entre dos soportes sin doblarse ni pandearse. De acuerdo con la propuesta completa del proyecto Hyperloop Alpha,  
45 es necesario un espesor de pared del tubo de entre 20 y 23 mm para que un tubo de pasajeros proporcione suficiente resistencia para los casos de carga considerados, tal como el diferencial de presión, curvado y pandeado entre pilones, ubicados a unos 30 m de distancia, carga debida al peso y aceleración de la cápsula, así como consideraciones sísmicas. Para un tubo de pasajeros más vehículo, el espesor de la pared del tubo para el tubo más grande estaría entre 23 y 25 mm. Estos cálculos se basan en un tubo que tiene un diámetro interior de 3.30 m. Sin embargo, los cálculos también han demostrado que la economía del sistema ETT puede mejorarse mucho aumentando el tamaño de la cápsula que viaja a través del tubo. Estos tamaños mayores de la cápsula requieren un diámetro interno del orden de 3.50 a 5.00 metros. Si estos diámetros de tubo se fabrican a partir de chapa o fleje de acero, entonces se requiere un espesor del orden de 30 mm. Ningún laminador de fleje en caliente puede suministrar material de este espesor, por lo que estos tubos tendrían que fabricarse a  
50 partir de chapa. Con el uso generalizado propuesto del sistema ETT y el acero como material preferido para el tubo, esto requeriría aprox. 3000 toneladas/km x 20000 km = 60 millones de toneladas. Actualmente, la producción total de chapa gruesa en la UE28 es de aproximadamente 10 millones de toneladas al año. Aparte de este problema de capacidad, la producción de tubos a partir de chapa requiere una enorme y engorrosa manipulación y conformación in situ y soldadura de la placa, además de que los tubos se vuelven muy pesados.

Un tubo de 5 m de diámetro de acero de 30 mm de espesor pesa 3700 kg/m, lo que significa que segmentos de 10 m pesan 37 toneladas. La carga útil de un helicóptero Mi-26 es de aproximadamente 22 toneladas. El transporte por carretera no es práctico debido a los viaductos u otras restricciones.

5 El pandeo se refiere a la pérdida de estabilidad de una estructura y en su forma más simple, es independiente de la resistencia del material donde se supone que ésta pérdida de estabilidad ocurre dentro del rango elástico del material. Las estructuras esbeltas o de paredes delgadas sometidas a cargas de compresión son susceptibles de pandearse. Por lo tanto, el tubo no sólo debe ser capaz de soportar la diferencia de presión y tener una luz de 30 m sin flexión significativa, sino que también debe tener suficiente resistencia al pandeo. El uso de aceros de mayor resistencia puede aumentar las propiedades mecánicas y, por lo tanto, generar cierto ahorro de material al permitir un espesor de pared más delgado, pero no la resistencia al pandeo.

10 El documento WO2019162068 divulga un tubo del sistema ETT, que comprende una pluralidad de segmentos de tubo que consisten en un tubo metálico de doble pared que comprende un tubo metálico exterior y un tubo metálico interior, en el que el espacio entre el tubo metálico exterior y el metal interior se llena con un compuesto rigidizador, y en el que el compuesto de refuerzo se une y hace contacto íntimo con la superficie interior del tubo exterior y con la superficie exterior del tubo interior.

#### Objetivos de la invención

El objeto de la invención es proporcionar una sección de tubo para construir un tubo para aplicaciones de presión negativa que sea más ligera que una sección de tubo soldada en espiral producida convencionalmente y que no sea susceptible de pandearse.

20 Otro objeto de la invención es proporcionar una sección de tubo para construir un tubo para aplicaciones de presión negativa que pueda producirse in situ.

Otro objeto de la invención es proporcionar una sección de tubo para construir un tubo para un sistema ETT que pueda transportarse fácilmente por carretera.

25 Otro objeto de la invención es proporcionar un tubo adecuado para un sistema ETT que utilice menos material que un tubo de revestimiento único y al mismo tiempo proporcione un rendimiento de pandeo similar con una rigidez aceptable de una manera que se pueda fabricar convencionalmente a partir de acero de tiras laminadas en caliente o en frío.

#### Descripción de la invención

30 Uno o más de estos objetivos se alcanza con una sección de tubo (2), que tiene una longitud L, para construir un tubo (1) adecuado para aplicaciones de presión negativa, con una circunferencia inscrita que tiene un diámetro de al menos 2 m, en el que la sección de tubo comprende una pluralidad de largueros longitudinales (3), una pluralidad de secciones circunferenciales (4) y una pluralidad de secciones de revestimiento (5) que tienen un radio de curvatura R y en el que la curvatura se extiende a lo largo de toda la longitud de las secciones de revestimiento, en el que los largueros longitudinales (3) están conectados a la superficie exterior (4a) de las secciones circunferenciales (4), en el que la pluralidad de largueros longitudinales (3) están montados en las secciones circunferenciales para formar un marco esquelético (6) para unir las secciones de revestimiento (5), en el que los bordes largos de las secciones de revestimiento (5) están montadas herméticamente en los largueros longitudinales (3), y en el que punto central M del radio de curvatura R de las secciones de revestimiento (5) se encuentra fuera de la sección de tubo, y en el que, cuando la sección de tubo se utiliza como aplicación presión negativa, las secciones de revestimiento entre los largueros longitudinales (3) se cargan en tensión entre los largueros longitudinales (3). En las reivindicaciones dependientes se proporcionan realizaciones preferibles.

45 El documento WO2020169411 divulga una sección de tubo que comprende una pluralidad de largueros longitudinales, una pluralidad de secciones circunferenciales y una pluralidad de secciones de revestimiento de paredes delgadas que tienen un radio de curvatura R y en el que la curvatura se extiende a lo largo de toda la longitud de las secciones de revestimiento de paredes delgadas, en el que los largueros longitudinales están conectados a la superficie interior de las secciones circunferenciales, en el que los largueros longitudinales y las secciones circunferenciales forman un marco esquelético para unir las secciones de revestimiento de paredes delgadas (5) y en el que los bordes largos de las secciones de revestimiento de paredes delgadas (5) están montados de manera fija y herméticos al aire a los largueros longitudinales, y en el que, en uso, las secciones de paredes delgadas entre los largueros se cargan en tensión.

55 En el contexto de esta invención "adecuado para aplicaciones de presión negativa" significa que la sección de tubo, cuando se usa en un tubo de sistema de transporte de tubo evacuado, un tubo que comprende una pluralidad de secciones de tubo de acuerdo con la invención, se somete a una presión fuera del tubo o sección de tubo de la presión atmosférica y en el que la presión dentro del tubo o sección de tubo es inferior a 10 kPa (0.1 bar), preferentemente menos de 1 kPa (0.01 bar (10 mbar)), incluso más preferentemente menos de 0.5 kPa (5 mbar), incluso menos de 0.2 kPa (2 mbar) o incluso aproximadamente 1 mbar ( $\approx$  100 Pa). Resulta

superfluo señalar que durante la construcción de la sección de tubo no se encuentra necesariamente en una situación de presión negativa.

5 El requisito de que el punto central M del radio de curvatura R de las secciones de revestimiento curvadas quede fuera de la sección de tubo tiene el efecto de que cuando la sección se utiliza en un sistema ETT y hay una presión externa sobre la sección de tubo que las secciones de revestimiento curvadas se empujan hacia adentro y que las secciones de revestimiento curvadas están sometidas a tensión entre los largueros longitudinales (consulte la figura 10). Debido a su construcción con las secciones de revestimiento de paredes delgadas curvadas hacia dentro de acuerdo con la invención, M se encuentra fuera de la sección de tubo si la sección de tubo se utiliza en una aplicación de presión negativa, pero también si la sección de tubo no se encuentra (todavía) en una aplicación de presión negativa.

10 La invención permite fabricar secciones de tubo individuales antes de ensamblarlas en un tubo completo. El tubo completo ofrece una solución de sección tubular y fleje de acero laminado en caliente. Es un concepto que puede producir tubos de gran diámetro (desde el tubo Hyperloop Alpha más pequeño con un diámetro interno equivalente a 2.23 m y mayor). Este diseño utiliza menos material que el tubo de pared de calibre único equivalente y al mismo tiempo logra el mismo rendimiento de pandeo bajo una presión externa con una rigidez vertical aceptable entre los pilones de soporte.

15 Un tubo para un sistema ETT necesita mantener un vacío interno cercano y una estructura de soporte recta y estable. Los dos requisitos funcionales clave relacionados con esto son la resistencia al pandeo y la rigidez vertical (es decir, resistencia a la flexión entre soportes posteriores, tales como los pilones antes mencionados). El tubo, al estar bajo presión externa, podría ser propenso a pandearse de 2 maneras. En primer lugar, podría haber una falla por pandeo global, donde toda la sección del tubo colapsa, generalmente con formas formadas por media onda sinusoidal a lo largo del tubo y con un desplazamiento máximo en la mitad del tramo del tubo. El segundo modo potencial de fallo por pandeo es un modo local en el que fallan pequeñas secciones del tubo. El diseño del tubo aborda la rigidez vertical, los modos global y local, lo que permite ajustar cada uno de ellos y al mismo tiempo generar un diseño liviano.

20 El diseño consiste en un marco esquelético conceptual y un revestimiento hecho de secciones de revestimiento. El marco esquelético consiste en secciones longitudinales descritas aquí como largueros y secciones circunferenciales descritas aquí como nervaduras o anillos. Tanto las nervaduras o anillos como los largueros pueden fabricarse a partir de tubos o secciones huecas cuadradas o rectangulares estándar. Este tipo de tubos se denomina generalmente secciones huecas rectangulares (RHS). Las secciones también pueden ser secciones o perfiles convencionales tales como perfiles  $\perp$ ,  $\perp$ ,  $\perp$ ,  $\perp$  o T. También se pueden usar tubos cilíndricos, pero son más problemáticos cuando se conectan los largueros a las secciones circunferenciales ya que el contacto entre los tubos y las secciones circunferenciales es mucho menor que en el caso de un RHS. Puede haber alguna ventaja al usar secciones únicas para los largueros, por ejemplo para ubicar el revestimiento o ayudar con la preparación de la soldadura, pero será más rentable usar tubos estándar, tales como la gama Celsius® de Tata Steel.

25 En la invención, los largueros están montados en el exterior de las secciones circunferenciales. El exterior se define a este respecto como el lado de la sección circunferencial que está más alejado del punto central C de la sección (ver figura 7a). Esto significa que, en uso, los largueros se presionan contra la superficie exterior de las secciones circunferenciales como resultado de la diferencia de presión entre el interior y el exterior del tubo. Por lo tanto, la conexión entre el larguero y las secciones circunferenciales se carga en compresión cuando el tubo se utiliza en un sistema ETT.

30 Las secciones circunferenciales también se pueden producir punzonando o cortando (por ejemplo mediante corte por láser) las secciones a partir de una tira metálica plana, preferiblemente una tira de acero. Este método da al diseñador más libertad en la elección de la forma, de modo que, por ejemplo, se pueden producir secciones circunferenciales con una abertura circular para permitir que la cápsula pase a través de la sección del tubo, y una circunferencia exterior que comprenda una pluralidad de huecos para recibir los largueros que permiten un posicionamiento preciso de los largueros y también proporcionan soporte adicional a las secciones de revestimiento entre los rebajes. La figura 11 muestra esto esquemáticamente. Es económico producir estas secciones circunferenciales en dos o más partes para evitar la generación excesiva de material de desecho y conectar (por ejemplo, soldar) las partes entre sí en el sitio. Esto también soluciona cualquier problema de transporte por carretera. Cuando se utilizan estas secciones circunferenciales el exterior (4a) se define a este respecto como los rebajes para recibir los largueros (ver figura 11).

35 Las secciones de revestimiento son rectas a lo largo de la sección de revestimiento y tienen un arco esencialmente constante a lo largo del ancho de la sección de revestimiento que, cuando se une al larguero en la sección de tubo, tiene la mitad del arco apuntando hacia el punto central del tubo, es decir, el centro del arco se encuentra fuera del tramo del tubo. Esto significa que bajo una presión externa las secciones de revestimiento se ponen nominalmente en tensión entre los largueros, no en compresión. Lo ideal es que no haya tensión en la sección de revestimiento en dirección paralela a los largueros. Por lo tanto, el término "en uso" en el contexto de esta invención implica una diferencia de presión entre el exterior y el interior de la sección

de tubo, donde la presión atmosférica en el exterior es (mucho) mayor que la presión en la sección de tubo. La figura 10 muestra esto esquemáticamente.

Más de la mitad del peso del tubo está asociado con el revestimiento y el calibre del revestimiento tiene una gran influencia en el rendimiento de pandeo. Al diseñar el tubo de manera que el revestimiento esté predominantemente en tensión, es menos propenso a pandearse; un fenómeno asociado con la carga de compresión. El aumento de la concavidad reduce la contribución del revestimiento a la rigidez vertical. El aumento de la sección del larguero aumenta la rigidez y la masa. La ubicación de los anillos se puede sesgar hacia la mitad del tramo para tener un efecto mayor en los modos globales. Una realización del diseño tiene secciones rectas o nervaduras entre los largueros, de modo que el anillo es un poligonal de n lados. Sin embargo, esto no es tan efectivo como un anillo circunferencial curvo porque la distancia desde el eje del tubo hasta la mitad de las nervaduras es más corta, lo que proporciona menos resistencia al pandeo global. Por lo tanto, es preferible que los anillos circunferenciales tengan una forma curva, tal como circular, ovalada o elíptica.

La longitud de una sección de tubo no es fija. Normalmente, la longitud oscila entre 10 y 50 m. El estudio del concepto Hyperloop supone que es factible una longitud de 30 m. Una longitud de este tipo puede transportarse por avión, tren o camión. Para aplicaciones ETT, el diámetro del círculo en la sección del tubo es preferiblemente de al menos 3 m. Un límite superior adecuado para este diámetro es 5 m, aunque esto no es una limitación per se. Si la sección de tubo es lo suficientemente resistente y rígido, son posibles diámetros superiores a 5 m sin desviarse de la esencia de la invención tal como se reivindica. Además, el tubo no es necesariamente circular en secciones transversales. El tubo también puede ser ovalado o de cualquier otra forma adecuada.

Debido a los volúmenes involucrados con un tubo para un sistema ETT, se pretende fabricar el tubo a partir de tubos huecos y tiras laminadas en caliente. Al limitar el diseño a tiras de hasta 1600 mm de ancho, el material podría obtenerse de la mayoría de las fábricas. Esto influirá en la extensión máxima de las secciones de revestimiento. Agregar más secciones agrega largueros adicionales que pueden ayudar con la rigidez vertical pero agrega longitud de soldadura de ensamblaje, lo que agrega costes adicionales.

Para la fabricación y el montaje, se prevé que primero se monte el marco esquelético y después se suelde el revestimiento al mismo. Las secciones de revestimiento pueden tener la misma longitud que la sección del tubo, o las secciones de revestimiento pueden tener una longitud diferente. En ese caso, puede ser necesario conectar secciones de revestimiento a lo largo de los bordes cortos de las secciones de revestimiento.

Las secciones circunferenciales podrían realizarse como un proceso adicional al final de la línea de tubos laminados en caliente. Durante la fabricación de la sección hueca rectangular (RHS), se agregaba una estación extra al final para doblar el tubo en una espiral muy poco profunda del diámetro correcto. Esta espiral luego se cortaría en 1 revolución completa. Esta espiral de una sola vuelta solo necesita una pequeña manipulación lateral para formar un anillo circular completo. Con este método, el anillo tendría una tensión mínima incorporada al convertirse en un anillo. Esta fabricación de las secciones circunferenciales también se podría realizar en el lugar de construcción de las secciones de tubo, por ejemplo, mediante una unidad móvil capaz de producir las secciones circunferenciales a partir de secciones rectas. Estas largas longitudes de secciones rectas podrían entregarse en el lugar en camión, tren o por carretera, del mismo modo que los largueros.

El revestimiento podría formarse por rodillos y/o fabricarse en una prensa de transferencia. Las soldaduras largas, rectas e ininterrumpidas en el revestimiento pueden facilitar la soldadura robótica.

Las secciones de revestimiento, junto con los largueros longitudinales a los que están unidas las secciones de revestimiento, preferiblemente mediante soldadura, a lo largo de sus bordes largos, forman el revestimiento hermético y, con la ayuda de los largueros longitudinales, resisten la presión externa. El hecho de que las secciones de revestimiento estén provistas de una curva significa que la tensión en las secciones de revestimiento es una tensión de tracción, es decir, las secciones de revestimiento se cargan en tensión cuando la presión en el tubo es menor que en el exterior. Las secciones de revestimiento son presionadas hacia adentro por la diferencia de presión y dado que las secciones de revestimiento están fijadas en ambos bordes largos a los largueros, la presión ejercida sobre las secciones de revestimiento provoca la tensión de tracción en las secciones que discurren entre los largueros. Esta estructura de pared de secciones de revestimiento cargadas en tensión y los largueros en combinación con las secciones circunferenciales actúan para resistir los modos de pandeo global. Si no hay diferencia de presión en el interior y el exterior de la sección de tubo, no hay o prácticamente no hay tensión de tracción en las secciones de pared, aparte de cualquier tensión residual que pueda estar presente en las secciones de pared como resultado de su producción. Por ejemplo, mediante laminado, prensado, doblado o procesos similares. Cabe señalar que si la presión en la sección de tubo fuera mayor que fuera de la sección de tubo, entonces la sección de revestimiento se cargaría en compresión y se produciría un estado de tensión de compresión en las secciones de revestimiento entre los largueros. En caso de diferencias de presión muy elevadas, esto podría conducir eventualmente a una inversión completa e indeseada de la curvatura al voltearse hacia afuera.

Preferiblemente, las secciones de revestimiento tienen paredes delgadas para permitir que la sección de tubo se construya lo más ligera posible. Preferiblemente, el espesor de la sección de pared está entre 1 y 10 mm, más preferiblemente como máximo 8 mm, incluso más preferiblemente como máximo 6 mm.

5 Cabe señalar que la sección de tubo de acuerdo con la invención es, por lo tanto, entre los largueros longitudinales una sección de tubo de revestimiento único en la que las secciones de revestimiento curvadas entre los largueros longitudinales forman la única partición entre la baja presión en el interior y la presión atmosférica fuera de la sección de tubo. En otras palabras: en uso, las secciones de revestimiento curvadas junto con los largueros longitudinales forman la partición entre la baja presión dentro de la sección de tubo y la presión atmosférica fuera de la sección de tubo. Las secciones circunferenciales no forman parte de esta  
10 partición, pero ellas soportan los largueros y la sección de revestimiento curvada desde el interior de la sección de tubo.

Con la sección de tubo de acuerdo con la invención se consigue una gran reducción de peso. En comparación con la tira soldada en espiral plana, se puede obtener la misma resistencia al pandeo con la sección de tubo de acuerdo con la invención, en el que la sección de tubo de acuerdo con la invención sería 3 veces más ligera  
15 que la sección de tubo equivalente de una tira soldada en espiral plana.

La sección de tubo de acuerdo con la invención comprende un tubo hermético al aire con una circunferencia inscrita de al menos 2 m de diámetro. Este es un concepto que puede producir tubos de pequeño y gran diámetro (desde el tubo Hyperloop Alpha más pequeño con un diámetro interno equivalente a 2.23 m y mayor). Este diseño utiliza menos material que el tubo de pared de calibre único equivalente y al mismo tiempo logra  
20 el mismo rendimiento de pandeo por presión externa con una rigidez vertical aceptable entre los pilones de soporte y tiene otros beneficios. El diámetro de la circunferencia inscrita de la sección de tubo y, por lo tanto, del tubo producido a partir de la combinación de las secciones de tubo, es de al menos 2 m, preferentemente de al menos 3 m, más preferentemente de al menos 4 m. Un límite superior adecuado para este diámetro es 5 m, aunque esto no es una limitación per se. Si la sección de tubo es lo suficientemente resistente y rígida,  
25 son posibles diámetros superiores a 5 m sin desviarse de la esencia de la invención tal como se reivindica.

La sección de tubo se fabrica preferiblemente como una configuración de pared única. Las secciones de revestimiento proporcionan la hermeticidad al aire necesaria para mantener presiones muy bajas dentro del tubo. La sección de tubo se construye a partir de un marco esquelético formado por secciones circunferenciales y largueros longitudinales. Las secciones circunferenciales forman los aros y los largueros longitudinales forman las duelas. El espacio entre los largueros se cierra con las secciones de revestimiento. Para mejorar la resistencia al pandeo y permitir mantener las secciones de revestimiento lo más delgadas posible, las secciones de revestimiento están provistas de una curvatura con un radio de curvatura de R. La curvatura se extiende a lo largo de toda la longitud de las secciones de revestimiento. Este radio se puede producir fácilmente, por ejemplo, mediante perfilado, y esto se puede hacer en el sitio. Preferiblemente, todas las secciones de tubo son rectas en la dirección longitudinal, de modo que los largueros y las secciones de revestimiento curvadas también son rectas a lo largo de su longitud. Las curvas en el tubo se pueden acomodar uniendo en ángulo secciones rectas del tubo porque la curvatura es muy pequeña. La pista se puede curvar dentro del propio tubo. Para una curvatura mayor, por ejemplo, si es absolutamente necesario, se pueden utilizar longitudes reducidas de las secciones de tubo recto para lograr una mayor curvatura.  
30

Los largueros longitudinales están conectados a la superficie exterior de las secciones circunferenciales. La superficie exterior se define vista desde el interior de la sección del tubo. Los largueros están montados en las secciones circunferenciales sustancialmente de manera equidistante alrededor de las secciones circunferenciales para formar un marco esquelético al que unir la sección de revestimiento. Los bordes largos de las secciones de revestimiento curvadas están montados herméticamente en los largueros longitudinales, preferiblemente en la superficie exterior de los largueros longitudinales. Preferiblemente, las secciones de revestimiento están montadas fijamente a los largueros, por ejemplo mediante soldadura o con medios de sujeción. El punto central (M) del radio de curvatura (R) de las secciones de revestimiento curvadas (5) se encuentra fuera de la sección de tubo independientemente de si la sección de tubo está en uso en una aplicación de presión negativa o no (todavía).  
35

Como se explicó anteriormente en el presente documento, cuando la presión en la sección de tubo es mucho menor que fuera de la sección de tubo, las secciones de revestimiento están en un estado de tensión entre los largueros. Esta situación ocurre cuando la sección del tubo está en uso en un sistema ETT. La diferencia de presión presiona las secciones de revestimiento hacia dentro y, en última instancia, puede llegar incluso a tocar las secciones circunferenciales. Las secciones circunferenciales impiden así que las secciones de revestimiento se abomben aún más hacia el interior.  
40  
45  
50  
55

La sección de tubo así producida tiene suficiente rigidez para ser manipulada por grúas o similares y montada sobre pilones u otras estructuras de soporte. El marco esquelético proporciona esta rigidez. Las secciones de revestimiento proporcionan hermeticidad al aire.

En una realización, uno, más o todos los largueros longitudinales son tubos huecos. Estos pueden ser tubos redondos, tubos ovalados o tubos poligonales. Sin embargo, es una realización preferible que los largueros longitudinales sean tubos rectangulares o cuadrados, como la gama Celsius® de Tata Steel, ya que tienen bordes planos lo que los hace más adecuados para conectarse a los largueros longitudinales y a las secciones de revestimiento. Estos tubos rectangulares también proporcionan cierta rigidez adicional.

En una realización, una, más o todas las secciones circunferenciales (4) son tubos rectangulares huecos. Estos tubos tienen una rigidez adecuada y una mayor resistencia al pandeo. Preferiblemente los largueros longitudinales son tubos rectangulares o cuadrados, tales como la gama Celsius® de Tata Steel, ya que tienen bordes planos lo que los hace más adecuados para conectarse a los largueros longitudinales.

Aunque es preferible que las secciones de revestimiento curvadas tengan suficiente resistencia por sí mismas eligiendo una combinación adecuada de curvatura y espesor después de conectarse a lo largo de sus bordes longitudinales a los largueros longitudinales, en otra realización, están provistas de elementos de refuerzo adicionales. Estos elementos de refuerzo adicionales son preferiblemente paralelos a los bordes cortos de la sección y pueden consistir en elementos separados fijados a la sección de revestimiento, o fortaleciendo las secciones de revestimiento en sí mediante intrusiones orientadas hacia adentro o hacia afuera, tales como hoyuelos o similares. Los patrones grabados en los revestimientos ayudan a aumentar el comportamiento de pandeo local del panel. Los elementos de refuerzo contra el pandeo local pueden ser refuerzos que se entrometen o sobresalen en la superficie de las secciones de revestimiento. Intrusión significa que los hoyuelos reducen localmente el diámetro interno de la sección de tubo y, por lo tanto, se denominan hoyuelos orientados hacia adentro. Sobresalir significa que los hoyuelos aumentan localmente el diámetro interno de la sección del tubo y, por lo tanto, se denominan hoyuelos orientados hacia afuera. Los hoyuelos son preferiblemente refuerzos de intrusión. La forma de los hoyuelos no es particularmente restrictiva, pero es ventajoso proporcionar los hoyuelos en un patrón regular. Esta regularidad proporciona a la tira un comportamiento predecible, y los hoyuelos se pueden aplicar mediante una tecnología como el perfilado o el prensado. La profundidad de los hoyuelos se puede adaptar al caso específico.

En su forma más simple, las secciones circunferenciales están espaciadas equidistantemente a lo largo de las secciones longitudinales de la sección de tubo. Por medio de un ejemplo no limitativo: para una sección de tubo que tiene una longitud (L) de 30 m, si se utilizan 11 secciones circunferenciales, entonces la distancia entre todas las secciones es de 3 m, con una sección circunferencial en cada extremo. Sin embargo, en una realización la distancia entre las secciones circunferenciales varía a lo largo de la sección longitudinal. En una realización preferida, la distancia entre las secciones circunferenciales es menor en  $\frac{1}{2} L$  y mayor en ambos extremos. La distancia se variaría para optimizar la resistencia al pandeo de la sección del tubo.

Cabe señalar que las secciones circunferenciales en ambos extremos pueden ser las mismas secciones circunferenciales que las utilizadas en otras partes del marco esquelético, o pueden ser secciones circunferenciales específicas con una función de conexión que permite unir dos secciones de tubo adyacentes entre sí. Por ejemplo, estas secciones circunferenciales específicas pueden comprender dos secciones circunferenciales soldadas entre sí para obtener un anillo con el doble de ancho que las otras secciones circunferenciales, o la función de conexión puede incluir una junta de expansión para permitir cambios de longitud como resultado de (por ejemplo) cambios de temperatura.

Aunque la forma más simple de las secciones circunferenciales es circular, las secciones circunferenciales también pueden tener una forma ovalada o elíptica, lo que puede tener una relevancia particular para interruptores en los que dos tubos se unen para continuar como uno solo. Por ejemplo, se pueden producir secciones transversales circulares, ovaladas o elípticas doblando tubos en forma de espiral inmediatamente después de la fabricación. Cortando la espiral y soldando los extremos entre sí se pueden producir secciones circunferenciales cerradas circulares, ovaladas o elípticas.

En una realización, las secciones circunferenciales tienen una forma poligonal en lugar de circular, ovalada o elíptica. Aunque el número de lados podría ser tan solo 3, se podrían utilizar 6 o 7. Sin embargo, por razones prácticas, el polígono tiene preferentemente al menos 8 lados. Estas secciones circunferenciales poligonales podrían producirse soldando entre sí tubos rectos.

Todos los elementos, los largueros longitudinales, las secciones circunferenciales y las secciones de revestimiento se fabrican preferentemente a partir de fleje de acero laminado en caliente. El fleje de acero puede estar laminado en caliente, opcionalmente galvanizado y/o revestido orgánicamente, o laminado en frío, recocido y opcionalmente galvanizado y/o revestido orgánicamente. El fleje de acero laminado o revestido se presenta normalmente en forma de banda de acero enrollada. Si los perfiles de revestimiento se fabrican in situ mediante una instalación de producción móvil directamente a partir de fleje enrollado y, posteriormente, el montaje de la sección de tubo in situ también soluciona los problemas de transporte, ya que el transporte de los rollos no supone ningún problema.

En una realización, el número de largueros longitudinales a lo largo de las secciones circunferenciales es un número primo, por ejemplo 11 largueros longitudinales. El inventor encontró que tener un número primo de

largueros longitudinales tiene un efecto beneficioso sobre la resistencia al pandeo porque para los modos globales no es posible repetir la forma del modo de patrón divisible.

- 5 En una realización, uno o más, pero no todos, preferiblemente menos de un tercio de los paneles, de las secciones de revestimiento son una sección de revestimiento con funcionalidad adicional, tal como una sección de revestimiento plana, por ejemplo, un panel de piso o un panel de instalación para periféricos. Estos periféricos pueden ser los raíles eléctricos, la iluminación u otras partes de instalación necesarias para permitir que la sección del tubo funcione como parte de un sistema ETT. Además, las secciones podrían contar con trampillas para escape de emergencia o para acceso durante el montaje del Hyperloop. Como piso, puede ser necesario solo una impresión ligera en los paneles interiores, o ninguna impresión que requiera un calibre más grueso, o un patrón tipo placa estriada antideslizante. Puede ser más fácil instalar trampillas de acceso y escape en las secciones antes de ensamblarlas. Las extensiones de los largueros también se pueden utilizar para montar accesorios como los raíles guía de las cápsulas en un sistema ETT. Los raíles del módulo ETT podrían montarse directamente hacia/desde los largueros, lo que podría requerir largueros de diferente tamaño o calibre si fuera necesario.
- 10
- 15 Los periféricos también pueden montarse utilizando los largueros y/o las secciones circunferenciales, ya que son accesibles desde el interior del tubo.

- 20 La invención también se materializa en un sistema de transporte de tubos al vacío que comprende una pluralidad de secciones de tubo de acuerdo con la invención en el que la presión fuera del tubo es la presión atmosférica y en el que la presión dentro del tubo es inferior a 10 kPa (0.1 bar), preferiblemente menos de 1 kPa (0.01 bar (10 mbar)), incluso más preferiblemente menos de 0.5 kPa (5 mbar) o incluso 0.2 kPa (2 mbar). En aplicaciones sobre el suelo, la presión fuera del tubo es la presión atmosférica de aproximadamente 100 kPa (1 bar). Las secciones de tubo individuales completadas se pueden combinar para formar un tubo continuo que forme parte de un sistema ETT. Un tubo de este tipo se beneficia de la alta resistencia al pandeo, a pesar de las secciones de revestimiento y el marco esquelético relativamente abierto que funciona como columna vertebral del tubo. Las secciones de tubo adyacentes se pueden unir mediante un anillo de unión, que también puede servir como junta de dilatación. El tubo para una aplicación de presión negativa, como un sistema ETT, se divide en secciones de tubo de un tamaño manejable. La sección de tubo está conectada fijamente a otras secciones de tubo para formar el tubo (ver figura 9). La conexión entre las secciones del tubo debe ser hermética para permitir que exista una baja presión en el tubo. Esta hermeticidad puede ser proporcionada por la propia conexión, es decir, por soldadura, o por algún compuesto entre las secciones de tubo, como un elastómero, cuando las secciones de tubo están atornilladas o sujetas entre sí, o por medio de una junta de expansión para hacer frente a la expansión térmica de las secciones del tubo.
- 25
- 30

- 35 Una ventaja adicional del marco esquelético es que también puede servir como base para montar periféricos en el exterior de la sección del tubo o tubo. Por ejemplo, se podrían montar medios fotovoltaicos tales como paneles solares en el tubo, y preferiblemente encima del tubo. Además, dado que se espera que el tubo esté suspendido en gran parte en el aire desde torres de alta tensión, una de las formas más probables de daño será el de los árboles altos o postes de telégrafo que golpeen el tubo. En comparación con otros diseños de tubos ETT, con el marco esquelético externo se proporciona una protección superior.

- 40 La sección de tubo de acuerdo con la invención es adecuada para la construcción de un sistema de transporte de tubos al vacío. Sin embargo, las propiedades específicas de la sección de tubo y su capacidad para funcionar en condiciones en las que la presión ejercida sobre ella desde el exterior del tubo producida a partir de estas secciones de tubo es significativamente mayor que la presión en el tubo, la hacen también adecuada para la aplicación de tubos operando bajo condiciones de presión similares. Ejemplos de estas aplicaciones son túneles subterráneos o submarinos para el tráfico, como túneles para bicicletas, túneles para automóviles, túneles para trenes, túneles o pozos de mantenimiento, tuberías en centrales hidroeléctricas, sistemas de almacenamiento de gas en los que se produce o puede producirse una presión negativa, etc.
- 45

#### Breve descripción de los dibujos

- La invención se explicará ahora con más detalle por medio de los siguientes dibujos no limitativos. Las dimensiones que se mencionan a continuación son orientativas, pero no limitativas.
- 50 La figura 1 muestra dos largueros longitudinales hechos de secciones huecas cuadradas de 140 x 140 mm<sup>2</sup> y con un espesor de pared de 5 mm. En este ejemplo la longitud L es de 30 m. Como se mencionó anteriormente en el presente documento, los largueros también pueden ser otros tipos de secciones o perfiles. El principio sigue siendo el mismo.
- 55 La figura 2 muestra los largueros longitudinales de la figura 1 junto con 9 secciones circunferenciales, en este ejemplo circulares. Las secciones son secciones huecas rectangulares de 120x80 mm<sup>2</sup> un espesor de pared de 6.3 mm. Como se ha mencionado anteriormente, las secciones circunferenciales también pueden ser otro tipo de tramos o perfiles, y no necesariamente tienen que ser circulares. Pueden ser ovalados, elipsoides o similares. El principio sigue siendo el mismo.

La figura 3 muestra el marco esquelético de una sección de tubo formada por los largueros longitudinales y las secciones circunferenciales. Las secciones circunferenciales al final de la estructura, por ejemplo, para conectar la sección de tubo terminada a una sección de tubo adyacente, se han omitido por razones de claridad. Como se explicó anteriormente, estas secciones circunferenciales pueden ser las mismas que las otras secciones circunferenciales o pueden diseñarse específicamente para conectar dos secciones de tubo adyacentes.

La figura 4 muestra la sección de tubo completa, sin las secciones circunferenciales en ambos extremos. En uso, cuando la presión en el tubo es mucho menor que en el exterior, se presenta una tensión de tracción en las secciones de revestimiento entre los largueros. La diferencia de presión presiona las secciones de revestimiento hacia dentro y, en última instancia, puede llegar incluso a tocar las secciones circunferenciales. Esto es visible en la figura 4 por los pequeños pares de rayas en las secciones de revestimiento.

La figura 5 muestra la sección de revestimiento de la figura 4 fijada sobre la estructura de la figura 3. La conexión entre los largueros longitudinales y los bordes largos de la sección de revestimiento es hermética y la conexión se realiza preferiblemente mediante soldadura (tal como soldadura por láser, soldadura híbrida por láser, soldadura por arco metálico con gas o cualquier otra forma adecuada de soldadura).

La figura 6 muestra la sección de tubo completa (en una representación transparente) vista desde un lado, lo que muestra claramente que la distancia entre las secciones circunferenciales es diferente en el centro de la sección de tubo en comparación con los extremos. El tubo en este ejemplo está dimensionado para dar un área de sección transversal interna equivalente a un tubo de 4.5 m de diámetro.

Las figuras 7a y 7b muestran una sección transversal de la sección de tubo, destacando los tres elementos principales: los largueros longitudinales 3, la sección circunferencial 4 y las secciones de revestimiento 5. Se muestra claramente que un borde del larguero está fijo, por ejemplo, mediante soldadura, a la superficie exterior (afuera como se ve desde dentro de la sección de tubo exterior) de la sección circunferencial. Además, se muestra que los bordes de la sección de revestimiento están fijados al larguero, por ejemplo, mediante soldadura. En este ejemplo, el borde de una sección de revestimiento se fija al larguero mientras se superpone al borde de la sección de revestimiento adyacente. La curvatura de la sección de revestimiento se indica mediante el radio R y el punto central M. Se considera importante que el punto central M quede fuera de la sección de tubo. Si el punto central se encuentra dentro de la sección de tubo, entonces las secciones de revestimiento no se cargan en tensión entre los largueros al reducirse la presión en la sección de tubo, sino en compresión, lo que es desventajoso para la resistencia al pandeo.

Las figuras 8a, b y c muestran tres variantes de las muchas variantes posibles para unir las secciones de revestimiento a los largueros. En la figura 8a, los bordes de las secciones de revestimiento están unidos a una esquina del larguero. En la figura 8b, los bordes están provistos de una pestaña plana que está soldada a la superficie exterior del larguero en una superposición. La figura 8c muestra una variante con un larguero en forma de sección en T en la que las secciones de revestimiento están soldadas a la sección en T en la esquina de la T en ambos lados. La indicación de la soldadura W es indicativa y puede aplicarse desde la parte superior o inferior de las secciones de revestimiento.

La figura 9 muestra una parte de un sistema de transporte de tubos evacuados (1) que comprende una pluralidad de secciones de tubo (2) en una aplicación sobre el suelo en la que la presión fuera del tubo es la presión atmosférica y en la que la presión dentro del tubo es inferior a 10 kPa. (0.1 bares). El tubo está soportado, p. por pilones (dibujados esquemáticamente sólo en el lado derecho).

La figura 10 muestra la situación donde el tubo (1) está sometido a una diferencia de presión ( $P_{afuera} = 100 \text{ kPa}$  (1 bar),  $P_{adentro} =$  (muy) inferior a 100 kPa (1 bar)). Dependiendo de la diferencia de presión  $P_{afuera} - P_{adentro}$  la fuerza ( $F_{presión}$ ) ejercida sobre los paneles de revestimiento aumenta. Cuanto mayor sea esta fuerza, mayor el esfuerzo de tensión en el panel de revestimiento entre los largueros a los que está adherido el panel de revestimiento. La fuerza ejercida sobre los paneles de revestimiento sólo provoca un esfuerzo de tensión en la dirección entre los largueros. Tan pronto como la diferencia de presión es cero, el  $F_{presión}$  también se vuelve cero. Por tanto, sólo se produce un esfuerzo de tensión en los paneles de revestimiento si existe una diferencia de presión entre el exterior y el interior del tubo, como ocurre en todas las aplicaciones de presión negativa. Durante la construcción de la sección de tubo y durante la construcción del tubo que comprende una pluralidad de secciones de tubo, no hay tensión en los paneles de revestimiento siempre que no haya diferencia de presión entre el exterior y el interior del tubo.

La figura 11 muestra un dibujo esquemático de una sección circunferencial 4 que se puede producir cortando, punzonando o estampando una lámina de acero plana y que está provista de una pluralidad de rebajes para recibir los largueros 3, y una curva conformada entre los rebajes para opcionalmente soportar las secciones de revestimiento 5 cuando éstas están fijadas a los largueros cuando se cargan en tensión durante el uso del tubo.

La figura 12 muestra un dibujo esquemático de la sección de revestimiento 5. La sección de revestimiento tiene una longitud l y una anchura w. A lo largo de su longitud está curvado con un radio de curvatura R y la curvatura se extiende a lo largo de toda su longitud. Por lo tanto, los bordes cortos (5a) están provistos de dicha curvatura

5 y los bordes largos son sustancialmente rectos, ya que estarán conectados herméticamente a los largueros longitudinales 3. Uno o ambos de los bordes largos 5b de una sección de revestimiento pueden estar provistos de un reborde 5c que permite la conexión a los largueros longitudinales, por ejemplo como se muestra en la figura 8a o b donde los rebordes están provistos en ambos lados y son sustancialmente planos. La forma deseada del reborde y la necesidad de un reborde dependen de la elección de construcción de los largueros longitudinales y de la elección de la conexión de la sección de revestimiento al larguero, y la elección adecuada depende de las habilidades y capacidades de la persona experta pertinente.

El alcance de protección de la presente invención está definido por las reivindicaciones adjuntas.

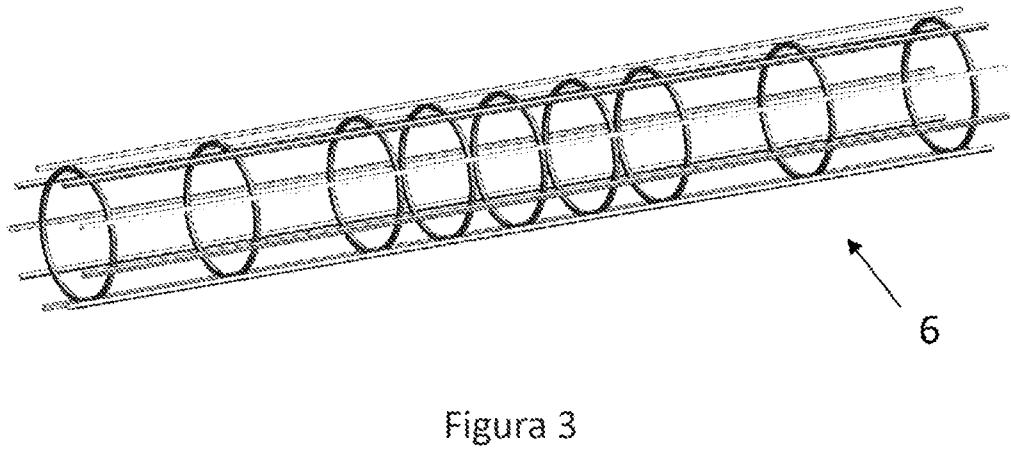
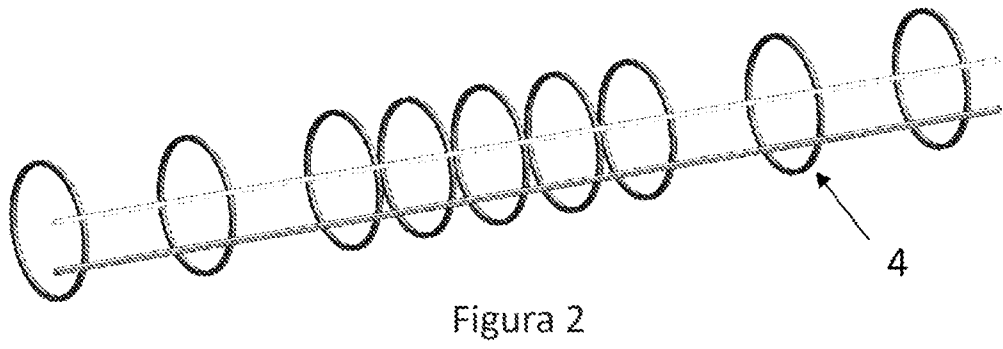
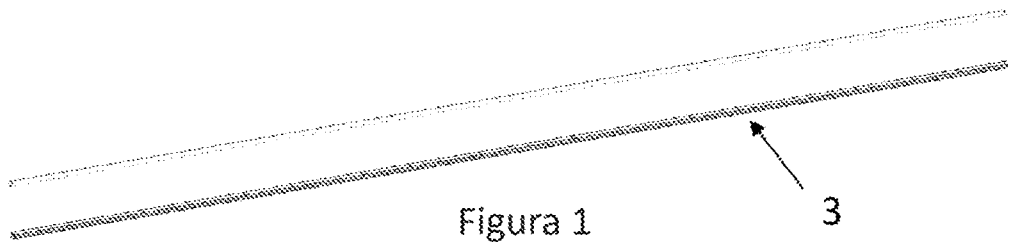
## REIVINDICACIONES

1. Una sección de tubo (2), que tiene una longitud L, para construir un tubo (1) adecuado para aplicaciones de presión negativa, con una circunferencia inscrita que tiene un diámetro de al menos 2 m, en el que la sección de tubo comprende una pluralidad de largueros longitudinales (3), una pluralidad de secciones circunferenciales (4) y una pluralidad de secciones de revestimiento (5) que tienen un radio de curvatura R y en el que la curvatura se extiende a lo largo de toda la longitud de las secciones de revestimiento, y en el que opcionalmente una o más, pero menos de un tercio, de las secciones de revestimiento (5) es una sección de revestimiento plana, por ejemplo, un panel de piso, o un panel de instalación para periféricos, en el que la pluralidad de largueros longitudinales (3) están montados en las secciones circunferenciales para formar un marco esquelético (6) para unir las secciones de revestimiento (5), en el que los bordes largos de las secciones de revestimiento (5) están montados herméticamente en los largueros longitudinales (3), y en el que, cuando la sección de tubo se utiliza como una aplicación de presión negativa, las secciones de revestimiento entre los largueros longitudinales (3) se cargan en tensión entre los largueros longitudinales (3), en el que los largueros longitudinales (3) están conectados a la superficie exterior (4a) de las secciones circunferenciales (4) y el punto central M del radio de curvatura R de las secciones de revestimiento (5) se encuentra fuera de la sección de tubo.
2. La sección de tubo (2) de acuerdo con la reivindicación 1, en la que i). uno, más o todos los largueros longitudinales (3) son huecos, y/o en el que ii). uno, más o todas las secciones circunferenciales (4) son huecas.
3. La sección de tubo (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la distancia entre las secciones circunferenciales (4) es menor hacia el centro de la sección de tubo a  $\frac{1}{2} L$  que en ambos extremos de la sección de tubo.
4. La sección de tubo (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que una, más o todas las secciones circunferenciales (4) tienen una forma curva, y preferiblemente una forma circular, ovalada o elíptica.
5. La sección de tubo (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que una, más o todas las secciones circunferenciales (4) son polígonos con al menos 8 lados.
6. La sección de tubo (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que uno, más o todos los largueros longitudinales (3) están producidos a partir de un tubo rectangular.
7. La sección de tubo (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que una, más o todas las secciones circunferenciales (4) están producidas a partir de un tubo rectangular.
8. La sección de tubo (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que uno, más o todos los largueros longitudinales (3) y/o en la que una, más o todas las secciones circunferenciales (4) y/o en la que una, más o todas las secciones de revestimiento (5) están producidas a partir de fleje de acero laminado en caliente.
9. La sección de tubo (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el número de largueros longitudinales (3) a lo largo de las secciones circunferenciales (4) es un número primo.
10. La sección de tubo (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que una o más, pero menos de un tercio, de las secciones de revestimiento (5) es una sección de revestimiento plana, por ejemplo, un panel de suelo, o un panel de instalación para periféricos.
11. La sección de tubo (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que en la sección de tubo están previstos medios fotovoltaicos tales como paneles solares.
12. La sección de tubo (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que, durante el uso, las secciones de revestimiento curvadas (5) están en contacto directo con las secciones circunferenciales.
13. La sección de tubo (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que, en uso, las secciones de revestimiento curvadas junto con los largueros longitudinales forman la partición entre la baja presión dentro de la sección de tubo y la presión atmosférica fuera de la sección de tubo.
14. Un tubo (1) de un sistema de transporte de tubo evacuado que comprende una pluralidad de secciones de tubo (2) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que, en uso, la presión dentro del tubo es inferior a 10 kPa (0.1 bar).
15. El tubo (1) de un sistema de transporte de tubo evacuado de acuerdo con la reivindicación 14, en el que dos o más secciones de tubo adyacentes (2) están conectadas por medio de una junta de expansión.

## ES 2 985 942 T3

16. Uso de las secciones de tubo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 en un tubo (1) de un sistema de transporte de tubo evacuado en el que, en uso, la presión dentro del tubo es inferior a 10 kPa (0.1 bar).

5 17. Uso de acuerdo con la reivindicación 16, en el que la presión en el interior del tubo es inferior a 1 kPa (0.01 bar).



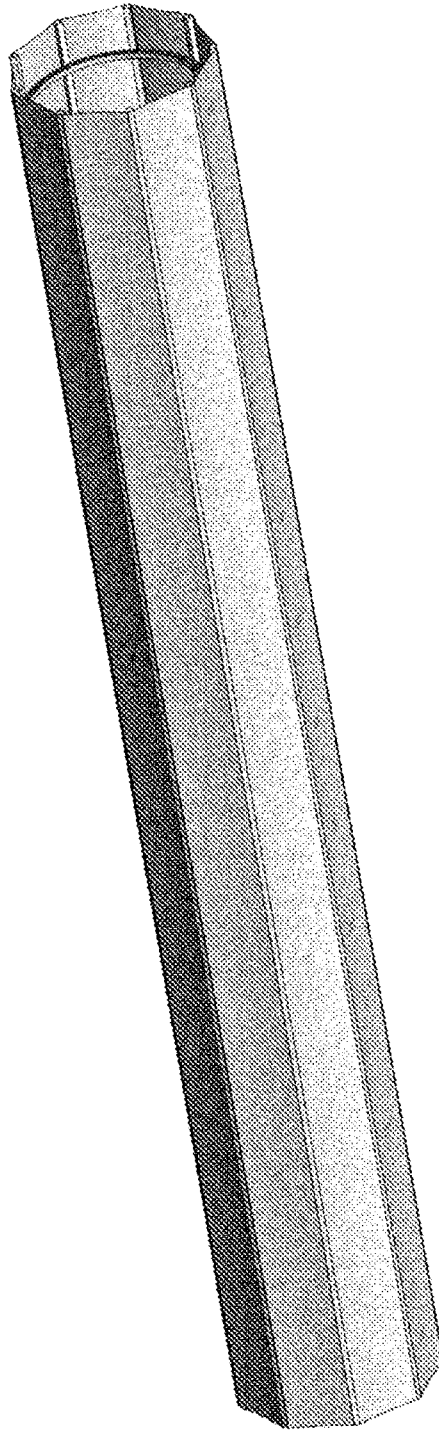


Figura 4

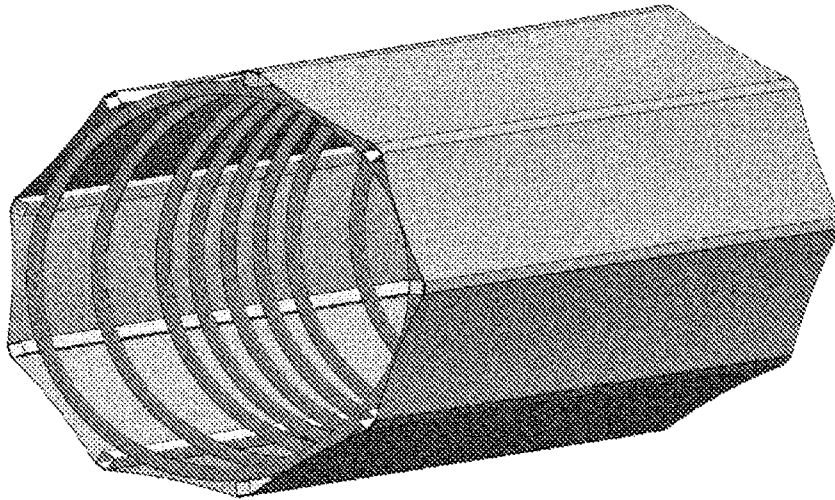


Figura 5

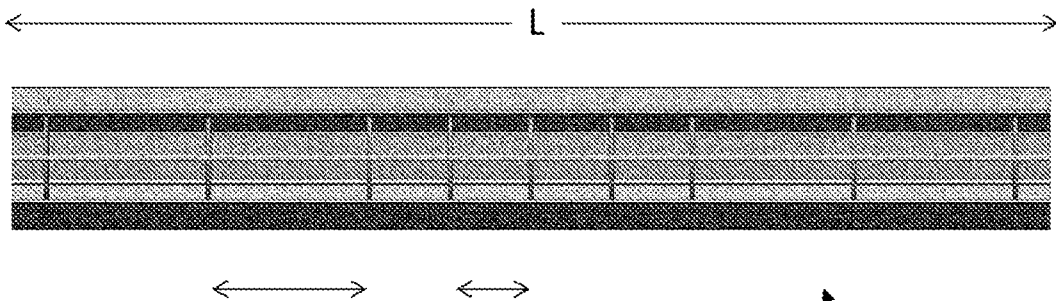
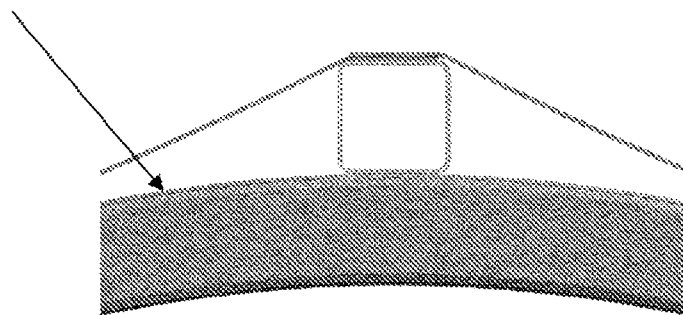
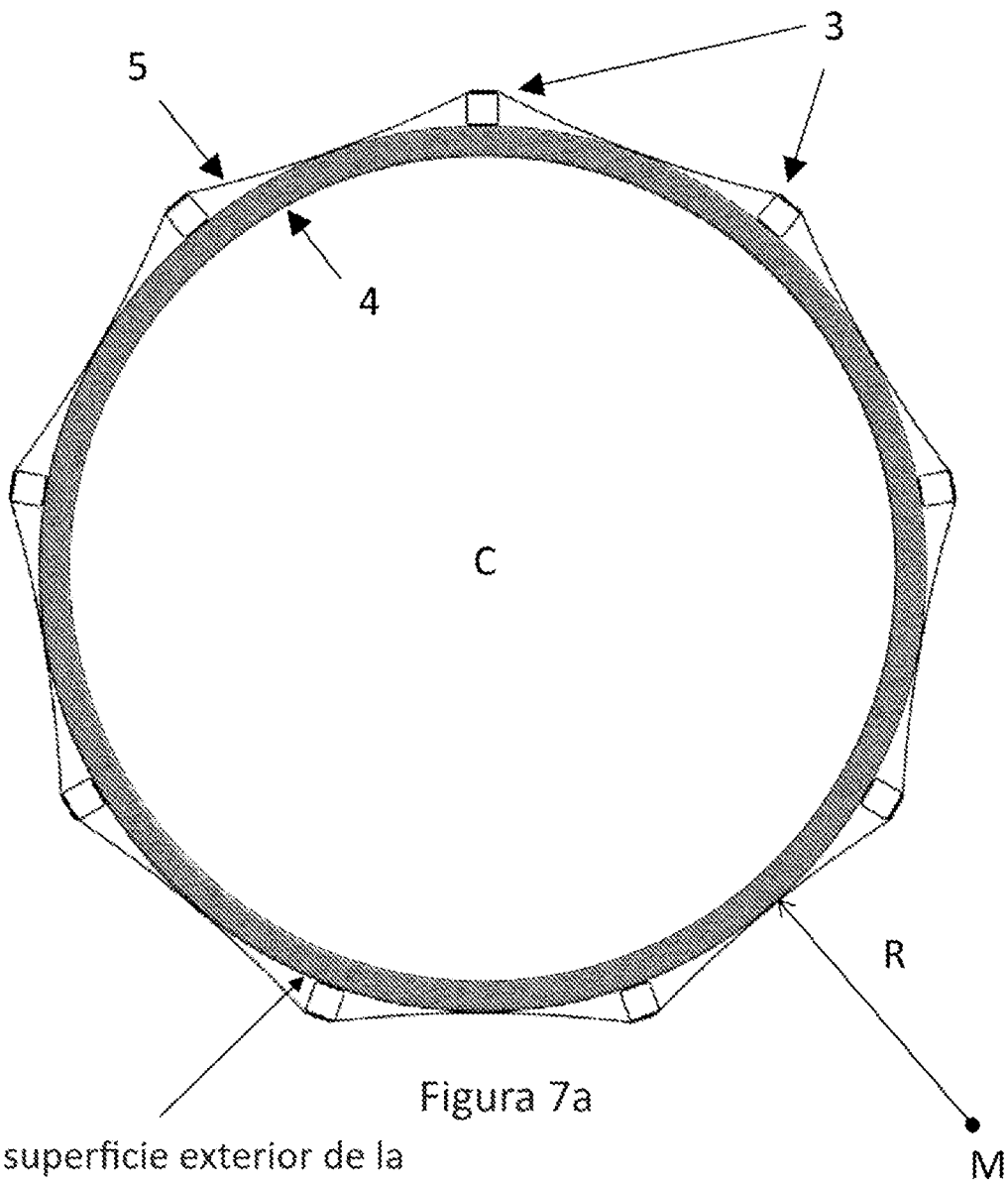


Figura 6





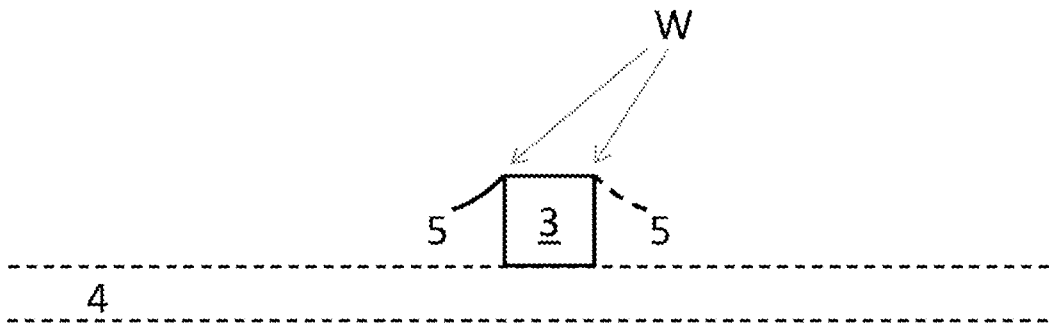


Figura 8a

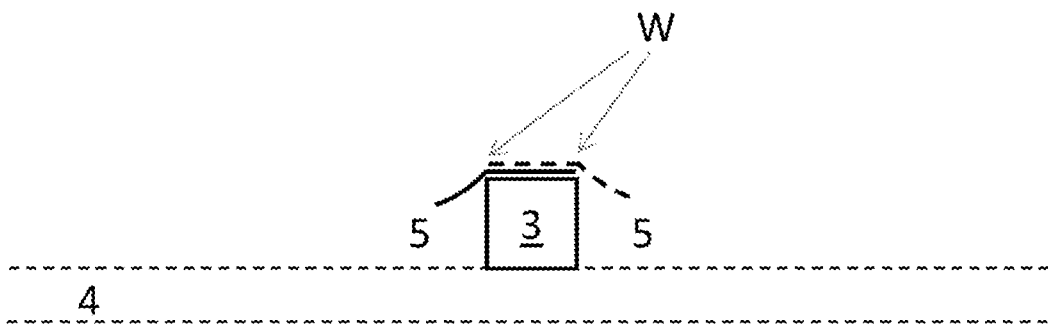


Figura 8b

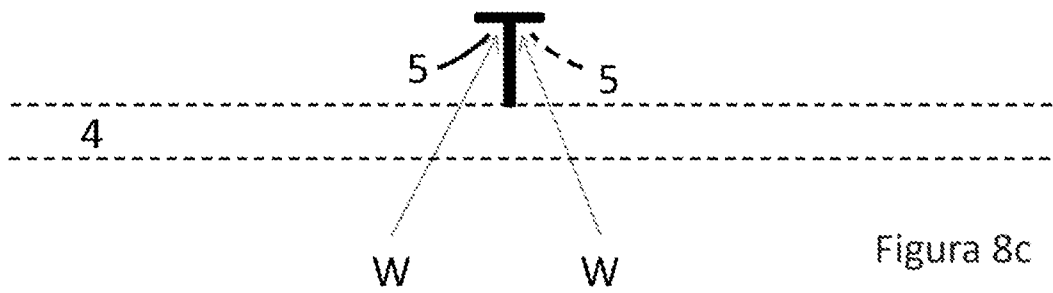


Figura 8c

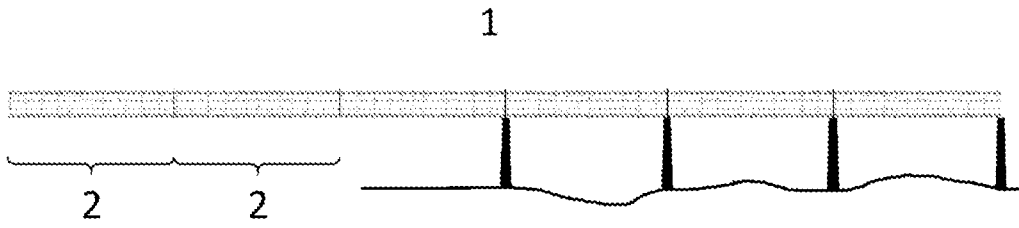


Figura 9

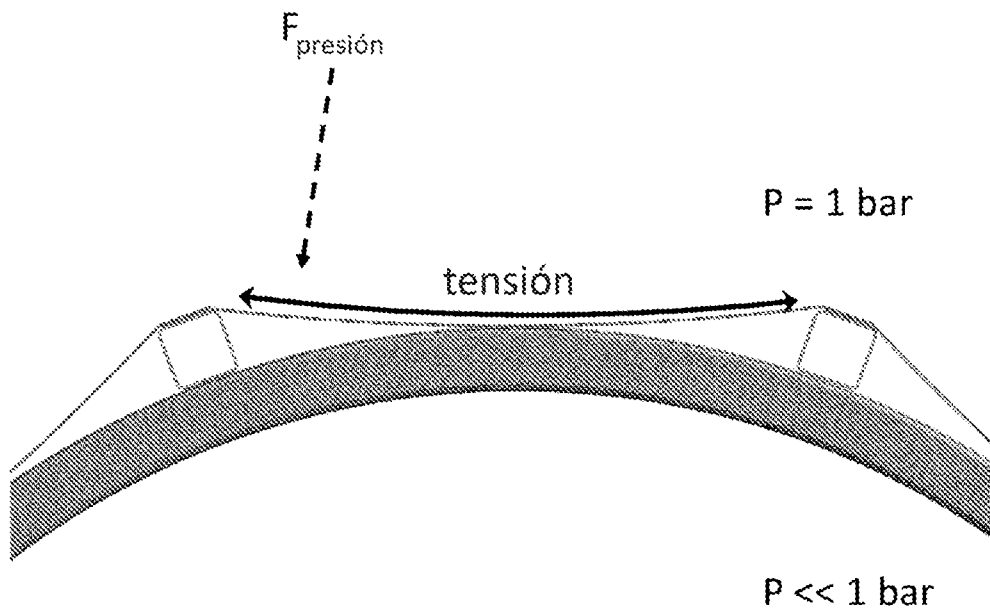


Figura 10

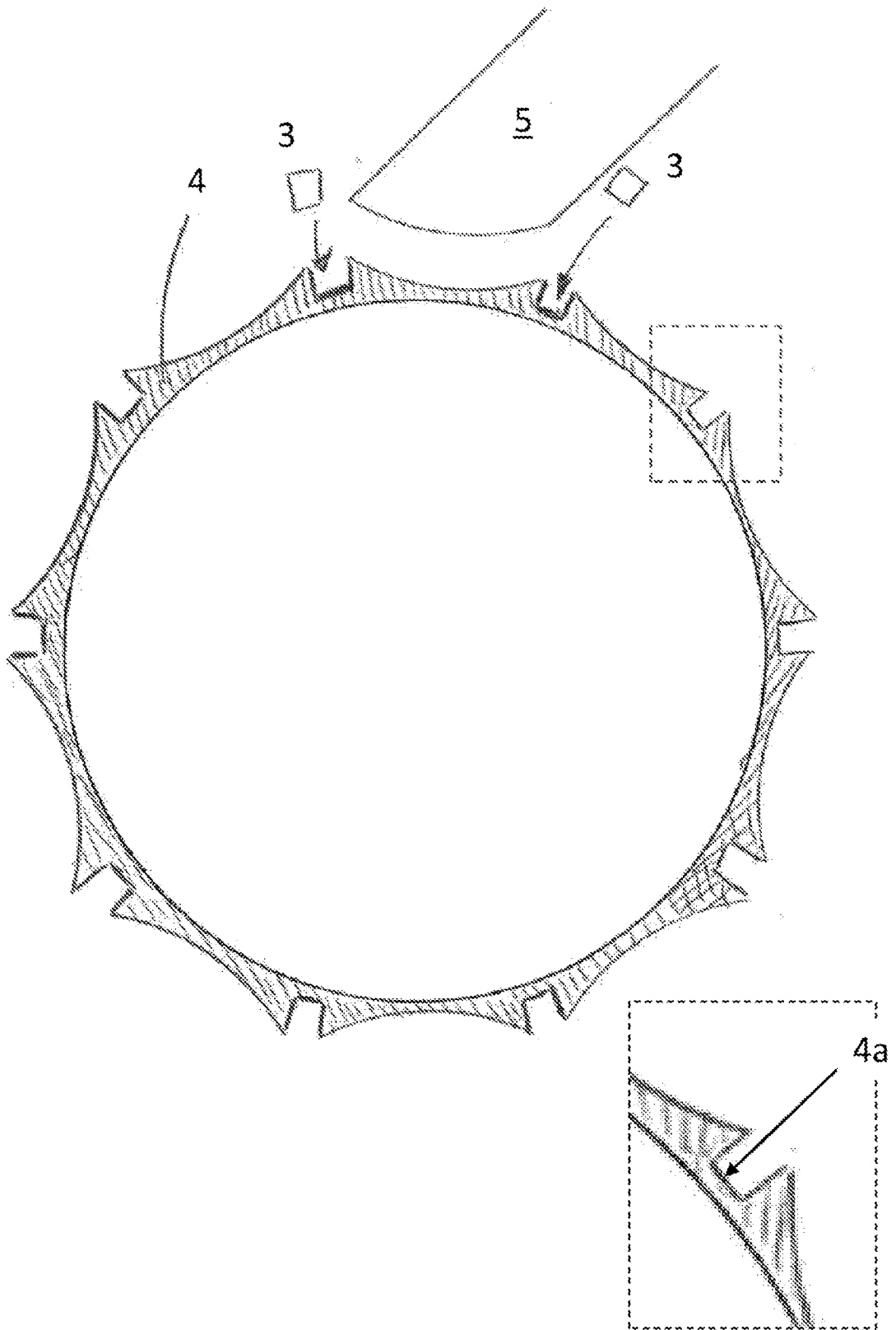


Figura 11

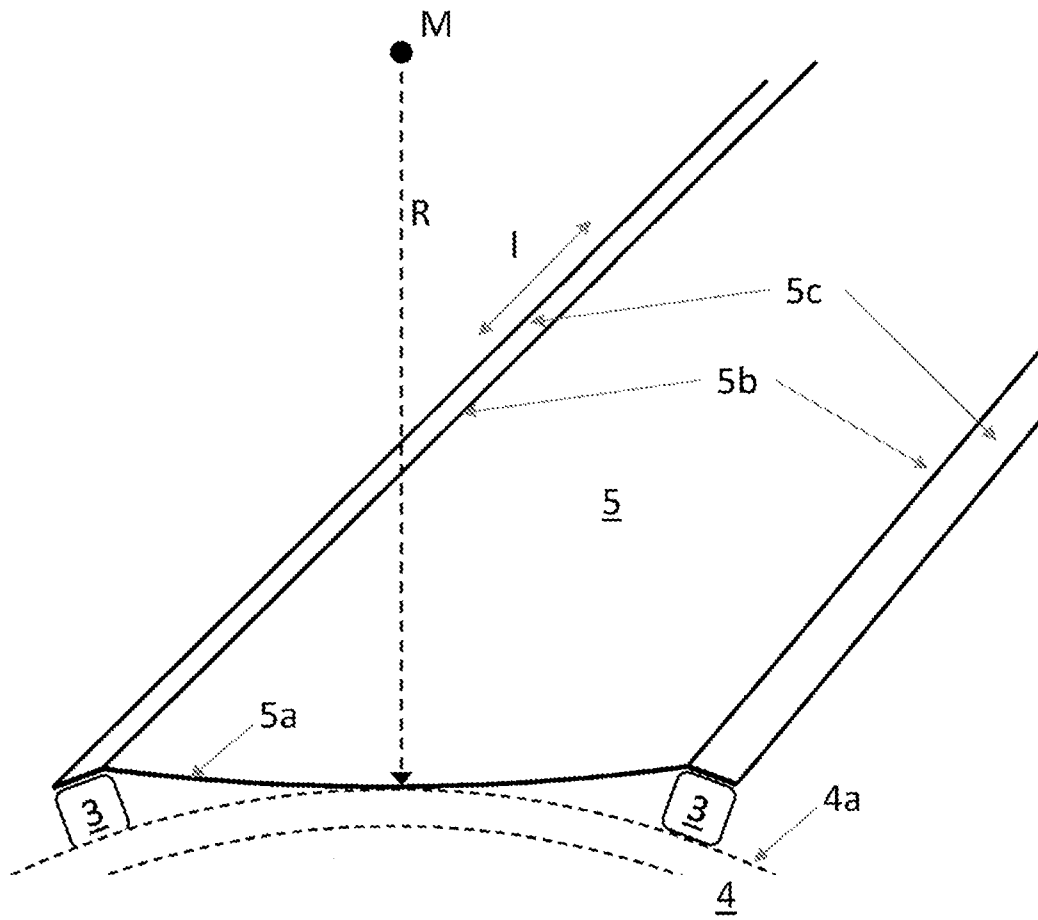


Figura 12