

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 432**

51 Int. Cl.:

<b>E01D 4/00</b>	(2006.01)
<b>E04B 1/32</b>	(2006.01)
<b>E04C 3/29</b>	(2006.01)
<b>E04C 3/38</b>	(2006.01)
<b>E04C 3/44</b>	(2006.01)
<b>E04C 5/07</b>	(2006.01)
<b>E01D 21/08</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.04.2010 PCT/EP2010/055937**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **11.11.2010 WO10128002**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2010 E 10717639 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.04.2017 EP 2427601**

54 Título: **Procedimiento de construcción de estructura de arco de soporte**

30 Prioridad:

**06.05.2009 EP 09159584**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.07.2017**

73 Titular/es:

**THE EUROPEAN UNION, REPRESENTED BY THE  
EUROPEAN COMMISSION (100.0%)  
Rue de la Loi, 200  
1049 Brussels, BE**

72 Inventor/es:

**GUTIERREZ TENREIRO, EUGENIO y  
POLJANSEK, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

**ES 2 627 432 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

Procedimiento de construcción de estructura de arco de soporte.

5 **Campo técnico**

La presente invención generalmente se refiere a un procedimiento de construcción de una estructura de arquitectura de soporte, o armazón estructural, que presenta forma de arco. La invención puede aplicarse de manera genérica a estructuras en arco con forma de enrejado o esqueleto, en las que las fuerzas estructurales principales se convierten en fuerzas de compresión, en particular a puentes en arco, (por ejemplo puentes en arco con tablero soportado, puentes en arco con tablero suspendido, puente en arco con tablero colgante, etc.) a grandes edificios arqueados, túneles, galerías y estructuras de soporte temporales.

15 **Técnica anterior**

Para los fines de la presente, los términos "estructura de soporte" y "armazón estructural" designan el subsistema de resistencia de carga de una construcción (estructura arquitectónica), es decir la parte de la construcción que transfiere y posiblemente absorbe la carga principal a través de componentes o miembros estructurales interconectados.

Las estructuras en arco de soporte, en particular de puentes en arco, pertenecen a las formas de construcción diseñadas más antiguas y han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de todas las sociedades avanzadas. Durante muchos siglos, los puentes en arco se construyeron a partir de albañilería, lo que condicionaba la manera y los procedimientos de construcción hasta tal punto que, incluso con la llegada de la revolución industrial, los primeros puentes de hierro se construyeron como estructuras de arco (es decir, portadoras de carga de compresión). La introducción de materiales modernos permitió la adaptación de puentes en arco para mayores vanos. El desarrollo de acero de alta resistencia a la tensión en el siglo XX hizo posible construir puentes en arco con vanos de cientos de metros, especialmente por medio de la transferencia de las fuerzas de reacción alejándolas de los topes hacia el propio tablero de puente (puente en arco con tablero colgante).

Los materiales de construcción tradicionales para componentes estructurales son hormigón, acero y, actualmente en menor medida, madera. En la segunda mitad del siglo XX, se empezaron a considerar poco a poco una nueva clase de materiales, plásticos o polímeros reforzados con fibras (FRP), como candidatos potenciales de materiales de construcción para abordar las limitaciones de las estructuras de hormigón, madera y acero. Estos materiales compuestos son los más interesantes para la industria de la construcción debido a su alta resistencia, bajo peso y alta resistencia a la corrosión. No obstante, a pesar de la reducción continua en su coste material primario, los FRP siguen siendo todavía relativamente caros en general, incluso cuando esta desventaja deriva a largo plazo en un coste de ciclo de vida generalmente bajo.

La utilización de los FRP en la construcción de puentes ha producido varias soluciones interesantes para sistemas de tableros descritas, por ejemplo, en las patentes US nº 6.108.998, US nº 6.170.105 y US nº 6.455.131. Sin embargo, aunque el potencial (en términos de sus propiedades mecánicas) de la utilización de los materiales de FRP en puentes de largos vanos es muy alto, los precios de material actuales y la falta de procedimientos de producción que puedan producir los componentes grandes a precios de mercado aceptables han restringido la extensión de tales materiales en la construcción de puentes, particularmente para vanos individuales superiores a diez metros. Aunque, en principio, la utilización de FRP más económicos (tales como materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio, GFRC) es una opción aceptable para vanos cortos o puentes peatonales largos, los GFRC presentan un módulo específico bastante bajo que impide su utilización en aplicaciones de puente dominadas por la rigidez siempre que se requieran vanos superiores a decenas de metros. Evidentemente, los puentes largos realizados de FRP son viables si se soportan de manera múltiple; sin embargo, en determinadas ubicaciones, los soportes múltiples no siempre son físicamente posibles o son caros de implementar. Por estos motivos, la práctica de construcción e instalación actual solo ha tenido resultado en puentes de vigas de alma llena, de vano individual cortos y de múltiples vanos y longitud media.

En aplicaciones de ingeniería civil, son necesarios procedimientos de construcción económicos para edificar estructuras de soporte, en particular con vanos medios y largos.

El documento WO 90/13715 A1 da a conocer un procedimiento de construcción de una estructura de edificio arqueada que utiliza armazones alargados ligeros, conectados de manera pivotante entre sí en un extremo, en el que los armazones se elevan simultáneamente de modo que la conexión pivotante forma una cumbre de la estructura de edificio. Los extremos libres de los armazones se anclan en topes mientras que los armazones se retienen en la posición elevada para formar una estructura de edificio de armazón en arco de tres armaduras. El documento US nº 4.143.502 describe otro procedimiento de construcción de una estructura de edificio arqueada, en el que un armazón estructural alargado se dobla en forma parabólica elevando la porción media del mismo y fijando los extremos opuestos del armazón estructural en topes. Cuando los extremos están fijos, el armazón

flexado se soporta por sí mismo gracias a los topes.

El documento US nº 1.202.706 describe un procedimiento de construcción de una estructura de soporte proporcionando un armazón inicialmente recto, empujando los extremos primero y segundo de dicha estructura uno hacia el otro provocando que los extremos de la estructura pivoten y la estructura se doble progresivamente, y fijando entonces el primer y segundo extremo uno con respecto al otro en su posición desplazada para preservar la forma arqueada final.

**Problema técnico**

Es un objetivo de la presente invención proporcionar un procedimiento de construcción económico alternativo para edificar una estructura de soporte arqueada. Este objetivo se consigue mediante un procedimiento según la reivindicación 1.

**Descripción general de la invención**

Según la invención, en un procedimiento de construcción de una estructura de soporte según la reivindicación 1 (de una construcción arquitectónica tal como por ejemplo un puente o el techo de un edificio) en forma arqueada, una estructura de armazón inicialmente recta o precurvada, que presenta un primer extremo y un segundo extremo opuesto al primer extremo, se soporta de manera pivotante en los extremos primero y segundo, tras lo cual los extremos primero y segundo se empujan uno hacia el otro para conseguir un desplazamiento de los extremos primero y segundo uno con respecto al otro. La reducción de la distancia entre los extremos primero y segundo provoca que estos pivoten y la estructura de armazón se doble de manera progresiva y flexible, en contra de su resiliencia, en una forma arqueada final. El desplazamiento de los extremos primero y segundo uno con respecto al otro se escoge para ascender a por lo menos el 1% de la distancia inicial entre los extremos primero y segundo. Los extremos primero y segundo se fijan entonces uno con respecto al otro en su posición desplazada para preservar la forma arqueada final de la estructura de armazón. La estructura de soporte arqueada se mantiene en su sitio mediante contenciones adecuadas de las fuerzas de reacción de arco, o bien en los topes (o cimentaciones del edificio), o bien en el caso de un arco con tablero colgante, mediante la tensión en un componente estructural (por ejemplo el tablero en el caso de un puente en arco con tablero colgante) que une el primer y segundo extremo de la estructura de armazón. Una estructura de soporte arqueada edificada según el presente procedimiento puede considerarse una estructura de soporte "desplegable" en el sentido de que sus componentes estructurales constituyentes generan un arco tras la aplicación de una fuerza proporcionada por un mecanismo accionado. La estructura de armazón se configura preferentemente de manera que su doblado tenga lugar sustancialmente sobre toda la longitud entre los extremos de la estructura de armazón.

En una realización no reivindicada del procedimiento, la "estructura de armazón", puede ser entre otras, un larguero, un conjunto de larguero, una viga, un conjunto de viga, o cualquier estructura que pueda servir como estructura portadora de carga cuando se dobla en una forma arqueada tal como se describe anteriormente.

Debe observarse también que la estructura de soporte arqueada que puede conseguirse con la presente invención puede ser parte de la construcción o el edificio final. Sin embargo, también es posible que la estructura de soporte se utilice solo temporalmente durante la fase de construcción, por ejemplo como obra temporal.

Según el procedimiento, hay por lo menos dos estructuras de armazón (a continuación en la presente memoria denominadas estructuras de armazón primera, segunda, posiblemente tercera, etc.), que se doblan en forma de arco. Cada una de las estructuras de armazón primera y segunda comprende una superficie de extradós (es decir una superficie que se sitúa radialmente hacia fuera cuando se dobla la estructura de armazón) y una superficie de intradós (es decir una superficie que se sitúa radialmente hacia dentro cuando se dobla la estructura de armazón). Se provoca que la segunda estructura de armazón se doble progresivamente de manera concomitante con la primera estructura de armazón de tal manera que una de las superficies de intradós y de extradós de la primera estructura de armazón entra en contacto con la otra de las superficies de intradós y de extradós de la segunda estructura de armazón lo más tarde posible cuando la primera estructura de armazón está en su forma arqueada final. La segunda estructura de armazón se fija entonces a la primera estructura de armazón en las superficies de contacto para impedir un movimiento relativo entre las mismas. Tal fijación de la segunda a la primera estructura de armazón se consigue preferentemente mediante encolado y/o con bridas. La segunda estructura de armazón presenta preferentemente la misma configuración que la primera estructura de armazón. Por consiguiente, si se hace referencia a continuación en la presente memoria a una estructura de armazón sin que se especifique a cuál de las por lo menos dos estructuras de armazón se refiere, la sentencia se aplica a cualquiera o a todas de las por lo menos dos estructuras de armazón, a menos que se deduzca algo diferente del contexto. Tal como apreciarán los expertos, utilizando estructuras de armazón relativamente poco profundas, que están unidas entre sí, es posible alcanzar capacidades de pandeo significativamente mayores. Por otro lado, utilizando una estructura de armazón individual que presenta las dimensiones de varias estructuras de armazón poco profundas unidas entre sí, el material fallará mucho antes en cuanto las tensiones de doblado en los lados de intradós y/o extradós que superan las tolerancias.

Según una realización preferida de esta variante de la invención, antes del doblado, las estructuras de armazón primera y segunda se disponen de manera que una de las superficies de intradós y de extradós de la primera estructura de armazón es adyacente a la otra de las superficies de intradós y de extradós de la segunda estructura de armazón, estando dispuesta una capa de cola entre las superficies adyacentes. El doblado progresivo se lleva a cabo mientras no se haya endurecido la cola de modo que se permite que las estructuras de armazón primera y segunda se deslicen a lo largo de sus longitudes mientras se doblan. La fijación de la segunda estructura de armazón a la primera estructura de armazón comprende dejar que se endurezca la capa de cola mientras se mantienen las estructuras de armazón primera y segunda inmóviles una con respecto a la otra cuando la primera estructura de armazón está en su forma arqueada final.

Según una realización preferida del procedimiento, la estructura de armazón comprende elementos de polímero reforzado con fibras que se extienden desde el primer extremo hasta el segundo extremo. En comparación con otros materiales de construcción, los FRP presentan límites de tensión a rotura muy altos. En el caso de materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio (GFRC), tales FRP traen consigo incluso un precio competitivo. Los expertos apreciarán que pueden escogerse otros materiales, siempre que tales materiales puedan resistir los esfuerzos de doblado considerables que se producen en la estructura de armazón cuando se dobla en su forma arqueada. Los elementos de FRP pueden realizarse utilizando una variedad de técnicas, pero la solución más atractiva (y la más económica) es utilizar tubos o perfiles prismáticos que pueden fabricarse fácilmente utilizando técnicas de bobinado de filamentos o pultrusión, respectivamente. También es posible formar la estructura de armazón a partir de paneles sándwich, que se ensamblan de manera plana en el lugar de la construcción, se entrecruzan y entonces se doblan en la curvatura deseada.

Los cálculos experimentales y analíticos han revelado que un miembro de arco de FRP curvado soportaría bien la tensión de trabajo que supera los límites de los miembros de acero o de hormigón reforzado. Por ejemplo, los miembros de arco curvados realizados de FRP pueden estar sometidos a una deformación descargada del orden del 0,2 al 0,3% simplemente de la curvatura impuesta, mientras que el acero de construcción se deformaría aproximadamente a una deformación del 0,1%, haciendo imposible generar la curvatura deseada sin generar deformaciones plásticas. Se espera que, bajo carga completa, la estructura de soporte podría presentar una deformación de servicio del orden del 0,3 al 0,4% y una deformación a rotura que supera el 1%, lo que se considera un margen de seguridad adecuado.

Si va a utilizarse una estructura de armazón precurvada, podría realizarse a partir de una pluralidad de segmentos de curvatura uniforme fabricados por medio del mismo molde. Los segmentos podrían unirse en el lugar de la construcción para formar la estructura de armazón precurvada inicialmente. Utilizando una estructura de armazón inicialmente arqueada, pueden llegarse a alturas de arco más pronunciadas que con una estructura de armazón inicialmente recta. Debe observarse que la distancia inicial entre los extremos de la estructura de soporte se mediría a lo largo del segmento recto entre los extremos (no a lo largo del arco inicial).

Dado que las estructuras de soporte de FRP son, en principio, mucho más ligeras que tales estructuras realizadas de materiales tradicionales como hormigón, acero o madera, las estructuras de soporte de FRP presentan el potencial para reducir sustancialmente los costes de construcción y para poder aplicarse a condiciones de suelo en las que la construcción estándar requeriría de otro modo una cimentación de suelo más extensiva y cara.

Unir elementos de FRP para formar la estructura de armazón podría llevarse a cabo por ejemplo utilizando una técnica de moldeo por transferencia de resina asistido por vacío (VARTM) o en el caso de perfiles conectando los perfiles pultrusionados utilizando técnicas de unión estándar conocidas por los expertos en la técnica.

Según la invención, la estructura de armazón está prevista como un encofrado de polímero reforzado con fibras hueco para hormigón o mortero de alta resistencia. Cuando los extremos primero y segundo están fijados uno con respecto al otro en su posición desplazada, puede verse hormigón en el encofrado. A medida que el hormigón fragua, aumenta la capacidad y estabilidad globales de la estructura de soporte arqueada. Esta variante aborda, en particular, aplicaciones en las que la estructura de soporte tiene que portar grandes cargas. Se expresó cierta preocupación acerca de la seguridad de los puentes en arco con tablero colgante debido a que los tirantes pueden clasificarse como miembros críticos a la fractura. Un miembro crítico a la fractura es aquel que provocaría un colapso del puente si se fracturase. Dado que su tirante resiste el empuje horizontal de un arco colgante, la mayoría de los arcos con tablero colgante se colapsarían si se perdiese el tirante. Una solución para mitigar la posibilidad de este tipo de colapso con el sistema de puente en arco es aumentar la capacidad y estabilidad globales del arco utilizando por ejemplo elementos tubulares huecos como encofrado que se llena con hormigón vertido. Debe observarse que el encofrado puede permanecer en su sitio después de que el hormigón o el mortero haya fraguado (en cuyo caso, la estructura de soporte resultante comprende tanto el hormigón o mortero fraguado como el encofrado), o, alternativamente, retirarse para dejar solo la estructura de hormigón.

Según una realización preferida de esta variante de la invención, la estructura de armazón comprende una barra

de refuerzo para hormigón de acero y/o de polímero reforzado con fibras dentro del encofrado. El encofrado y el refuerzo situado en el mismo se someten a doblado al mismo tiempo. El refuerzo, que está configurado en el interior del encofrado, sigue la curvatura durante la fase de levantamiento del procedimiento. Una vez que el arco se ha erguido y fijado, el encofrado puede llenarse con hormigón o mortero de alta resistencia. De nuevo, el encofrado puede retirarse después de que el hormigón o el mortero se haya endurecido o permanecer en su sitio.

Los extremos primero y segundo están soportados preferentemente de manera pivotante alrededor de un primer y segundo eje de pivote, respectivamente, siendo estos ejes de pivote sustancialmente paralelos entre sí y sustancialmente perpendiculares al desplazamiento de los extremos primero y segundo uno con respecto al otro. En tal configuración, el doblado de la estructura de armazón tiene lugar de manera paralela a un plano que es perpendicular a los ejes de pivote. Debe observarse que los ejes de pivote pueden ser horizontales (dando como resultado un arco vertical) pero también pueden estar inclinados con respecto al plano horizontal (en cuyo caso el arco estará inclinado con respecto al plano vertical que contiene el primer y segundo extremo de la estructura de armazón). Preferentemente, las fuerzas ejercidas en los extremos primero y segundo para empujarlos uno hacia el otro se transfieren a la estructura de armazón por medio de los ejes de pivote.

Preferentemente, el primer extremo está soportado de manera pivotante mediante un primer pivote estacionario previsto como parte de un primer tope mientras que el segundo extremo está soportado de manera pivotante con un pivote accionable y empujando los extremos primero y segundo uno hacia el otro empujando mediante el pivote accionable el segundo extremo y ejerciendo dicho pivote estacionario una fuerza de reacción opuesta en el primer extremo. Los actuadores adecuados para accionar el pivote accionable son por ejemplo actuadores que se utilizan actualmente en la técnica de lanzamiento de puentes de empuje hacia delante. Preferentemente, el pivote accionable está guiado en raíles (fijados al terreno). Cuando el segundo extremo ha alcanzado su posición deseada, el pivote accionable está preferentemente fijado en una posición estacionaria para formar parte de un segundo tope, opuesto al primer tope.

Preferentemente, el desplazamiento de los extremos primero y segundo uno con respecto al otro asciende a por lo menos el 2%, preferentemente por lo menos el 3%, más preferentemente por lo menos el 5%, posiblemente incluso por lo menos el 10% o por lo menos el 15% de la distancia inicial entre los extremos primero y segundo. De la manera más preferible, el desplazamiento relativo asciende a aproximadamente el 5%, por ejemplo del 2% al 8% de la distancia inicial entre los extremos. Para hacerse una idea acerca de las alturas de arco resultantes, la siguiente tabla resume el levantamiento del centro de la estructura de armazón provocado por tales desplazamientos de los extremos uno con respecto al otro en el caso de una estructura de armazón horizontal inicialmente recta, en el caso de una forma perfectamente parabólica cuando está doblada.

Desplazamiento en % de longitud de arco	Altura de arco en % de longitud de arco
1	6,12
2	8,65
3	10,59
5	13,65
10	19,24
15	23,46

Por tanto, dada una estructura de armazón horizontal inicialmente recta que presenta una longitud de 100 m entre los puntos de aplicación de las fuerzas de compresión en los extremos y suponiendo una forma perfectamente parabólica del arco resultante, un desplazamiento relativo de los extremos uno hacia el otro de aproximadamente 5 m elevará el centro de la estructura de armazón aproximadamente 14 m. Evidentemente, la flexibilidad del material de la estructura de armazón tiene que escogerse según el doblado deseado para evitar el fallo del material.

**Breve descripción de los dibujos**

Detalles y ventajas adicionales de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de varias realizaciones no limitativas con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una vista lateral de una viga recta antes de doblarse en una forma arqueada;

la figura 2 es una vista lateral de la viga de la figura 1 cuando está doblada en la forma arqueada;

la figura 3 es una ilustración del procedimiento según la presente invención aplicado a una estructura en celosía;

la figura 4 es una vista en perspectiva en primer plano de una unión en T de la estructura en celosía de la figura 3;

la figura 5 es una vista en perspectiva en despiece ordenado de la unión en T de la figura 4;

5 la figura 6 es una vista en perspectiva de un pivote para fijar un extremo de la estructura de armazón que va a doblarse en forma arqueada;

10 la figura 7 es una vista en perspectiva de una realización no reivindicada del procedimiento que comprende un sistema de tableros de material compuesto modular realizados a partir de vigas de FRP y paneles sándwich de FRP ranurados;

la figura 8 es una ilustración del llenado de un encofrado de FRP con hormigón; y

15 la figura 9 es una ilustración esquemática del doblado de un conjunto a capas de estructuras de armazón plurales en una forma arqueada;

la figura 10 es una vista lateral de una viga en I de FRP tal como puede utilizarse en una estructura de armazón que va a doblarse según una realización no reivindicada del procedimiento

20 la figura 11 es una vista lateral de la viga en I de la figura 10 cuando está doblada;

la figura 12 es una vista en perspectiva de una unión empernada que conecta dos elementos de viga en I.

#### Descripción de realizaciones preferidas

25 Las figuras 1 y 2 ilustran el concepto general que destaca el procedimiento de construcción de una estructura de soporte arqueada. Una viga esencialmente recta 10 de sección transversal tubular (rectangular, redonda, trapezoidal u otra) se monta de manera pivotante soportada en sus extremos 12, 14. Los ejes de pivote 16 son paralelos entre sí y perpendiculares al eje longitudinal 18 de la viga. (Las figuras 1 y 2 muestran que el eje longitudinal 18 y los ejes de pivote 16 son horizontales; sin embargo, esto no es necesario en general.) Un pivote estacionario 20 soporta de manera pivotante el primer extremo 12 de la viga 10. El pivote estacionario 20 se ancla de manera firme en el terreno para formar un primer tope de la estructura de soporte arqueada que va a construirse. El segundo extremo 14 de la viga 10 se soporta de manera pivotante mediante un pivote móvil 22, guiado en raíles (no mostrados en las figuras 1 y 2) que se extienden a lo largo de la dirección del eje longitudinal 18 de la viga. Un actuador 24 (por ejemplo un actuador hidráulico u otro que se utiliza habitualmente en la técnica de lanzamiento de puentes incrementales) se dispone para empujar el pivote móvil 22 en la dirección del pivote estacionario 20 en el primer extremo 12 de la viga 10.

40 Antes de empujar el pivote móvil 22, se genera una pequeña curvatura inicial (si no está ya presente) en la viga 10. La curvatura inicial se escoge de manera que el doblado vaya en la dirección deseada. Cuando el actuador 24 empuja el pivote móvil 22 en la dirección del pivote estacionario 20 y por tanto el segundo extremo 14 hacia el primer extremo 12 de la viga 10, la distancia entre los extremos 12, 14 disminuye. Dado que la longitud de viga permanece sustancialmente igual, la viga 10 se dobla bajo la carga aplicada y asume una forma de arco. La distancia entre los extremos primero y segundo 12, 14 se mide entre los ejes de pivote 16. El desplazamiento de los extremos primero y segundo 12, 14 uno con respecto al otro se calcula de antemano, según el vano y la altura de arco deseados y los requisitos estáticos. Se hace hincapié en que el desplazamiento relativo de los extremos 12, 14 es significativo en el sentido de que no es solamente un desplazamiento que conduce a un pretensado de la viga 10, tal como se utiliza habitualmente por ejemplo en estructuras de hormigón arqueadas para compensar momentos positivos, sino que es uno que da como resultado un desplazamiento significativo del centro de la viga fuera del eje longitudinal 18. En particular, el desplazamiento relativo de los extremos asciende a por lo menos el 1% de la distancia inicial entre los extremos primero y segundo 12, 14. El proceso de desplazar el primer y segundo extremo 12, 14 uno hacia el otro puede realizarse en etapas si el desplazamiento deseado es mayor que la longitud de la carrera del pistón: entonces el pivote móvil 22 se ancla temporalmente en el terreno o de otro modo se mantiene en su posición, mientras que el actuador 24 se acerca. La siguiente etapa de empujado se lleva a cabo entonces esencialmente de la misma manera que la anterior después de que el pivote móvil 22 se haya liberado de nuevo.

60 Cuando se alcanza la curvatura de arco deseada, el pivote móvil 22 se fija en una posición estacionaria en relación con el pivote 20 en el otro extremo de la viga 10. Esto puede conseguirse fijando el pivote móvil 22 a una cimentación preparada previamente, una base u otro soporte anclado firmemente en el terreno. Adicional o alternativamente, los pivotes 20, 22 pueden atirantarse entre sí (como en el caso de un puente en arco con tablero colgante) por ejemplo por medio de una viga principal que se extiende a lo largo de la línea recta entre los extremos de la viga arqueada. En el caso de un arco con tablero colgante, las fuerzas del arco horizontales dirigidas hacia fuera, se transmiten por lo menos parcialmente como tensión por la viga principal, en vez de por el terreno, las cimentaciones u otros soportes en los que se apoya la estructura de soporte arqueada.

65 La estructura de armazón (en el ejemplo anterior: la viga tubular) está realizada de elementos de polímero

reforzado con fibras (FRP), tales como por ejemplo elementos realizados de vidrio, carbono o materiales compuestos reforzados con fibras de aramida. En una realización no reivindicada del caso de un arco que se forma en la forma de la variante utilizando superficies concomitantes de intradós/extradós, también podría ser posible utilizar aluminio o aleaciones de acero o cualquier material de alta resistencia que podría absorber las tensiones del doblado.

La figura 3 ilustra una variante del procedimiento según la invención, en la que la estructura de armazón comprende una estructura en celosía 30 con dos vigas longitudinales inicialmente rectas 32 dispuestas en paralelo entre sí y una pluralidad de vigas transversales 34 que unen las vigas longitudinales 32. El bastidor se completa mediante barras, varillas, o cables 36 de acero diagonales, que hacen el bastidor más resistente frente a esfuerzo cortante longitudinal. Tal como muestran las diferentes vistas de la figura 3, la estructura de armazón se dobla en forma de arco esencialmente de la misma manera que la viga de las figuras 1 y 2. El primer extremo de cada viga longitudinal 32 se monta de manera pivotante en un pivote estacionario 38, mientras que el segundo extremo de cada viga longitudinal 32 se monta en un pivote móvil 40, guiado en un raíl 42. Aumentando progresivamente las cargas (ilustradas por las flechas 44) en el segundo extremo de cada viga longitudinal 32, las vigas longitudinales 32 curvadas uncialmente de manera ligera se doblan hacia arriba hasta que la estructura de armazón alcanza finalmente su curvatura planeada.

En lugar de una viga tubular 10 como en las figuras 1 y 2 o una estructura en celosía 30 como en la figura 3, la estructura de armazón podría comprender también un esqueleto o panel cortado. Los elementos tubulares de las vigas longitudinales y transversales 32, 34 en la figura 3 podrían realizarse utilizando un proceso de bobinado de filamentos, o con secciones de perfil formadas de manera arbitraria que podrían realizarse posiblemente utilizando, por ejemplo, técnicas de pultrusión.

Preferentemente, los elementos de viga se realizan a una longitud que es aceptable para el transporte y se unen en el lugar de la construcción utilizando, por ejemplo, moldeo por transferencia de resina asistido por vacío o conectores 46 de inserción en ranura (tal como se muestra en las figuras 4 y 5). En el caso de los elementos de viga tubular que se introducen en los conectores T, la resistencia estructural de la unión resultante puede aumentarse aplicando adhesivo entre las superficies solapantes de los elementos de conector y los elementos de viga. Una vez unidos, los elementos de viga y de conector forman la estructura de armazón flexible que se sitúa entonces a lo largo del vano que va a puentearse y se bloquean en topes en ambos lados.

La figura 6 muestra un ejemplo de un pivote 50 para fijar la estructura de armazón en sus extremos, que pueden utilizarse como el pivote estacionario o móvil. El pivote 50 comprende una base 52 y una porción 54 de manguito, que se fija de manera pivotante a la base 52. La porción 54 de manguito se dimensiona de manera que el primer y o el segundo extremo del marco de soporte pueda insertarse en la misma. La base 52 se fija en una cimentación (si se utiliza como el pivote estacionario) o en un tren de deslizamiento (si se utiliza como el pivote accionable). Una vez que la estructura de armazón ha alcanzado la curvatura final y el vano requerido, la rotación alrededor de los ejes de pivote de los extremos primero y segundo se fija bloqueando la porción 54 de manguito con pasadores 56 de eje y el pivote móvil también se fija en una cimentación, por ejemplo con pernos.

La figura 7 muestra un conjunto 60 de tableros de material compuesto modulares realizados a partir de vigas de FRP 62 y paneles 64 sándwich de FRP ranurados. Cuando la estructura de soporte está en su sitio, el conjunto 60 de tableros puede suspenderse de la misma por medio de cables. Otra posibilidad es suspender un tablero ligero de la estructura de soporte antes de que se levante esta última, de modo que cuando se forma el arco, el tablero se eleva automáticamente a la posición. Dado que la carga de pandeo de un arco depende de manera no lineal de la curvatura de arco, el arco solo podrá soportar inicialmente una pequeña fracción de la carga de pandeo última. Por tanto, en este caso, el tablero se realiza de preferencia inicialmente a partir de una caja-viga de material compuesto ligero, que se ajusta con la gran estratificación de superficie de rodamiento una vez que se ha alcanzado la forma final del arco.

Para aumentar la capacidad y estabilidad globales de la estructura de soporte, el marco de soporte se configura como encofrado hueco, en el que puede verterse hormigón y permitirse que fragüe. Un marco de soporte de este tipo se ilustra en la figura 8. El marco de soporte comprende elementos de encofrado tubulares 70 que presentan dispuestos en su interior una barra de refuerzo 72 para hormigón de acero o de polímero reforzado con fibras y estribos. Cuando el marco de soporte se dobla durante la fase de levantamiento, la barra de refuerzo 72 para hormigón de acero o FRP se fuerza a que siga la curvatura del arco que se genera. Después de que el arco se haya erguido y fijado, el encofrado se llena a través de aberturas 74, previstas en el esqueleto de encofrado, con hormigón 76 o mortero de alta resistencia. Una vez que el hormigón 76 o mortero haya fraguado, la estructura de soporte puede soportar cargas mucho mayores que antes. Para aumentar adicionalmente la capacidad de la estructura de soporte, puede inducirse un momento negativo el hormigón o mortero fraguado mediante un desplazamiento adicional de los extremos de la estructura de soporte uno hacia el otro. Sin embargo, tal desplazamiento adicional sería mucho más pequeño que el 1% de la distancia inicial entre los extremos ya que en caso contrario el hormigón o mortero fallaría. Llenar el encofrado con hormigón reforzado podría aumentar su capacidad de pandeo en un factor de aproximadamente 2 a 3, dependiendo de la calidad del hormigón o mortero utilizado.

Tal como se muestra en la figura 9, la estructura de soporte está compuesta a partir de una pluralidad de estructuras de armazón solapantes secuenciales (por ejemplo tubos/perfiles planos). Cada una de las estructuras de armazón presenta una sección relativamente poco profunda en la dirección de doblado, de modo que las distancias desde la superficie de intradós y de extradós al respectivo eje neutro son pequeñas. Supongamos que una dobla un tubo o perfil de sección cuadrada con una altura de 1 m en la dirección de doblado de tal manera que la curvatura de altura impone una tensión de 3000 microtensiones. Si una dobla un tubo o perfil más poco profundo que presenta una altura de 1/3 m en la dirección de doblado para la misma curvatura, las tensiones de doblado resultantes son aproximadamente tres veces más pequeñas. Si tres de tales tubos o perfiles 80, 82, 84 poco profundos se sitúan uno encima de otro y se doblan hasta la misma altura de arco que el tubo de 1 m de altura, mientras que se permite que se deslicen a lo largo de sus longitudes a medida que se levantan, la capacidad de pandeo del conjunto se proporcionará solo mediante las secciones de tubo o perfil poco profundo individuales (que es mucho menor que la capacidad de pandeo del tubo de sección cuadrada de 1 m). Sin embargo, si los tubos o perfiles poco profundos se unen a lo largo de sus superficies de contacto después de que hayan alcanzado su forma final, la capacidad de pandeo del conjunto se vuelve aproximadamente la misma que la del tubo o perfil de sección cuadrada de 1 m.

Los tubos o perfiles poco profundos presentan cada una superficie de intradós y una superficie de extradós. A medida que se doblan progresivamente de manera concomitante entre sí, las superficies de intradós se comprimen mientras que las superficies de extradós se ensanchan, lo que da como resultado de manera local un movimiento relativo entre superficies de contacto, es decir entre la superficie de intradós 90 del tubo o perfil medio y la superficie de extradós 88 del tubo o perfil inferior así como entre la superficie de extradós 92 del tubo o perfil medio y la superficie de intradós 94 del tubo o perfil superior. Una vez que los tubos o perfiles han alcanzado sus posiciones finales, se fijan entre sí mediante encolado y/o con bridas empernadas. Preferentemente, se aplican capas de cola entre superficies de contacto adyacentes cuando los tubos o perfiles poco profundos 80, 82, 84 todavía presentan su forma inicial y el doblado se lleva a cabo mientras no se haya secado todavía la cola y permite que las superficies de contacto se deslicen de manera local una con respecto a otra cuando se doblan. En este caso, se permite simplemente que las capas de cola se endurezcan mientras los tubos o perfiles poco profundos 80, 82, 84 se mantienen inmóviles unos con respecto a los otros cuando han alcanzado su forma arqueada final. Adicionalmente, pueden utilizarse bridas para adherir y empernar los tubos o perfiles poco profundos 80, 82, 84 entre sí. Evidentemente, el conjunto de tubos o perfiles 80, 82, 84 poco profundos puede servir como encofrado para hormigón o mortero, dependiendo de la aplicación.

Tal como se ilustra en las figuras 10-12, la estructura de armazón que va a doblarse en forma de arco según un procedimiento no reivindicado puede ensamblarse a partir de los elementos de viga en I de FRP (a veces denominados también como elementos de viga en H o en doble T), ensamblados junto con uniones 100 empennadas. La utilización de tales perfiles en lugar de perfiles tubulares huecos puede ser ventajosa en el caso de que no sea necesario llenar la estructura de armazón de la construcción con hormigón o mortero.

**Leyenda**

10	Viga	56	Pasador de eje
12	Primer extremo	60	Conjunto de tableros
14	Segundo extremo	62	Viga de FRP
16	Eje de pivote	64	Panel sándwich
18	Eje longitudinal	70	Elemento de encofrado tubular
20	Pivote estacionario	72	Barra de refuerzo para hormigón y estribos
22	Pivote móvil	74	Abertura
24	Actuador	76	Hormigón
30	Estructura en celosía	80	Tubo o perfil poco profundo inferior
32	Viga longitudinal	82	Tubo o perfil poco profundo medio
34	Viga transversal	84	Tubo o perfil poco profundo superior
36	Barra, varilla o cable de acero diagonal	86	Superficie de intradós de tubo o perfil inferior
38	Pivote estacionario	88	Superficie de extradós de tubo o perfil inferior
40	Pivote móvil	90	Superficie de intradós de tubo o perfil medio
42	Raíl	92	Superficie de extradós de tubo o perfil medio
44	Flecha	94	Superficie de intradós de tubo o perfil superior
46	Conector de inserción en ranura	96	Superficie de extradós de tubo o perfil superior
50	Pivote	98	Elemento de viga en I
52	Base	100	Junta empennada
54	Porción de manguito		

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento de construcción de una estructura de soporte en forma arqueada, comprendiendo la estructura de soporte una pluralidad de estructuras de armazón solapantes secuenciales, comprendiendo el procedimiento:
- 10 proporcionar una primera estructura de armazón inicialmente recta o precurvada (10, 30, 70, 80) que presenta un primer extremo (12) y un segundo (14) opuesto a dicho primer extremo, estando dicho primer y segundo extremos separados entre sí una distancia inicial;
- 15 soportar de manera pivotante dicho primer y segundo extremos;
- empujar el primer y segundo extremos uno hacia el otro para conseguir un desplazamiento de dicho primer y segundo extremos uno con respecto al otro, provocando, por lo tanto, que el primer y segundo extremos pivoten y que dicha primera estructura de armazón se doble de manera progresiva y flexible en contra de una resiliencia de la misma en una forma arqueada final, en el que el desplazamiento de dicho primer y segundo extremos uno con respecto al otro asciende a por lo menos el 1% de la distancia inicial entre dichos extremos primero y segundo; y
- 20 fijar dicho primer y segundo extremos uno con respecto al otro en su posición desplazada para preservar la forma arqueada final de dicha primera estructura de armazón;
- 25 proporcionar una segunda estructura de armazón inicialmente recta o precurvada (82, 84) que se extiende a lo largo de la primera estructura de armazón, comprendiendo cada una de entre la primera y segunda estructuras de armazón una superficie de intradós y una superficie de extradós;
- 30 provocar que dicha segunda estructura de armazón se doble progresivamente de manera concomitante con dicha primera estructura de armazón de tal manera que una de las superficies de intradós (90, 94) y de extradós (88, 92) de la primera estructura de armazón entre en contacto con la otra de las superficies de intradós y de extradós de la segunda estructura de armazón lo más tarde posible cuando dicha primera estructura de armazón está en su forma arqueada final; y
- 35 fijar dicha segunda estructura de armazón a dicha primera estructura de armazón para impedir un movimiento relativo entre las mismas; y
- en el que cada una de entre la primera y segunda estructuras de armazón comprende un encofrado hueco de polímero reforzado con fibras dentro del cual puede verterse hormigón y permitirse que fragüe.
- 40 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que cada una de entre la primera y segunda estructuras de armazón presenta una sección relativamente poco profunda en la dirección de doblado.
- 45 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que dicha primera estructura de armazón comprende unos elementos de polímero reforzado con fibras que se extienden desde dicho primer extremo hasta dicho segundo extremo.
- 50 4. Procedimiento según la reivindicación 1, 2 o 3, en el que se vierte el hormigón en el encofrado de dicha primera estructura de armazón cuando dicho primer y segundo extremos están fijados uno con respecto al otro en su posición desplazada.
- 55 5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que dicha primera estructura de armazón comprende una barra de refuerzo para hormigón de acero y/o de polímero reforzado con fibras dentro de dicho encofrado.
- 60 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que dicho primer y segundo extremos están soportados de manera pivotante alrededor de un primer y segundo eje de pivote (16), respectivamente, siendo dicho primer y segundo ejes de pivote sustancialmente paralelos entre sí y sustancialmente perpendiculares al desplazamiento de dicho primer y segundo extremos uno con respecto al otro.
- 65 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicho soporte de manera pivotante de dicho primer y segundo extremos comprende soportar de manera pivotante dicho primer extremo con un primer pivote estacionario (20, 50) y soportar de manera pivotante dicho segundo extremo con un pivote accionable (22, 50); y en el que empujar el primer y segundo extremos uno hacia el otro se lleva a cabo mediante dicho pivote accionable que empuja dicho segundo extremo y ejerciendo dicho pivote estacionario una fuerza de reacción opuesta sobre dicho primer extremo.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que dicho pivote accionable está guiado sobre raíles.

9. Procedimiento según la reivindicación 7 u 8, en el que fijar dicho primer y segundo extremos uno con respecto al otro en su posición desplazada comprende fijar dicho pivote accionable en una posición estacionaria.
- 5 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el desplazamiento de dicho primer y segundo extremos uno con respecto al otro asciende a por lo menos el 2%, preferentemente por lo menos el 3%, más preferentemente por lo menos el 5%, posiblemente incluso por lo menos el 10% o por lo menos el 15%, de la distancia inicial entre dicho primer y segundo extremos.
- 10 11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que dicho doblado se produce sustancialmente sobre toda la longitud entre dicho primer y segundo extremos de dicha primera estructura de armazón.
- 15 12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que dicha primera y segunda estructuras de armazón están fijadas entre sí mediante encolado y/o con bridas.
- 20 13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que dicha segunda estructura de armazón presenta la misma configuración que dicha primera estructura de armazón.
- 25 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que antes del doblado, dicha primera y segunda estructuras de armazón están dispuestas de manera que una de las superficies de intradós y de extradós de la primera estructura de armazón sea adyacente a la otra de las superficies de intradós y de extradós de la segunda estructura de armazón, estando una capa de cola dispuesta entre las superficies adyacentes, en el que dicho doblado progresivo se lleva a cabo mientras dicha cola no se haya endurecido de modo que se permite que la primera y segunda estructuras de armazón se deslicen a lo largo de sus longitudes mientras se doblan, y en el que dicha fijación de dicha segunda estructura de armazón a dicha primera estructura de armazón comprende dejar que se endurezca dicha capa de cola mientras se mantienen dicha primera y segunda estructuras de armazón inmóviles una con respecto a la otra cuando dicha primera estructura de armazón está en su forma arqueada final.

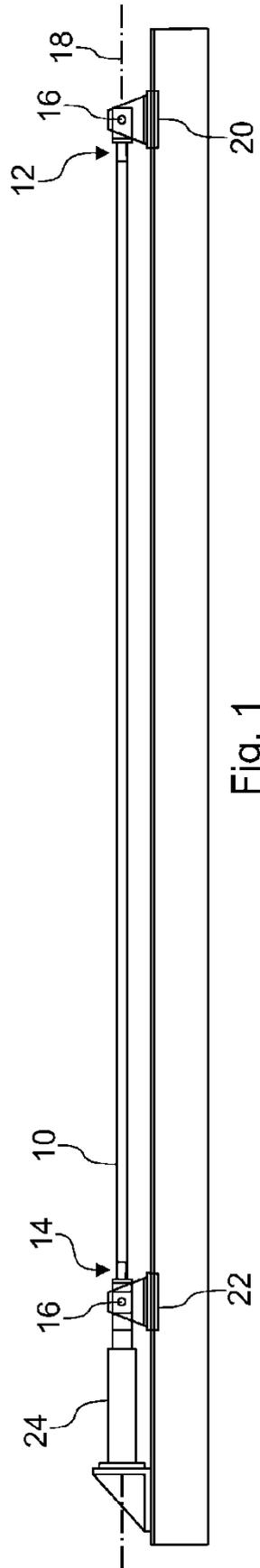


Fig. 1

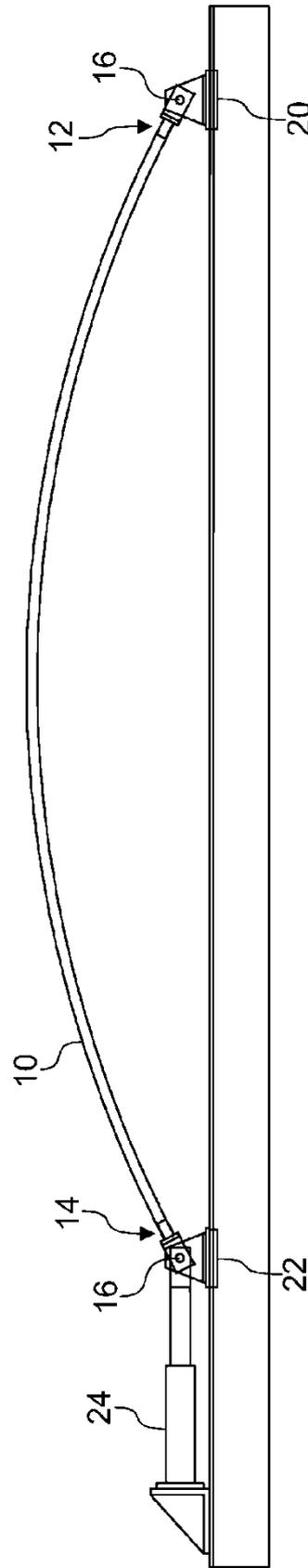


Fig. 2

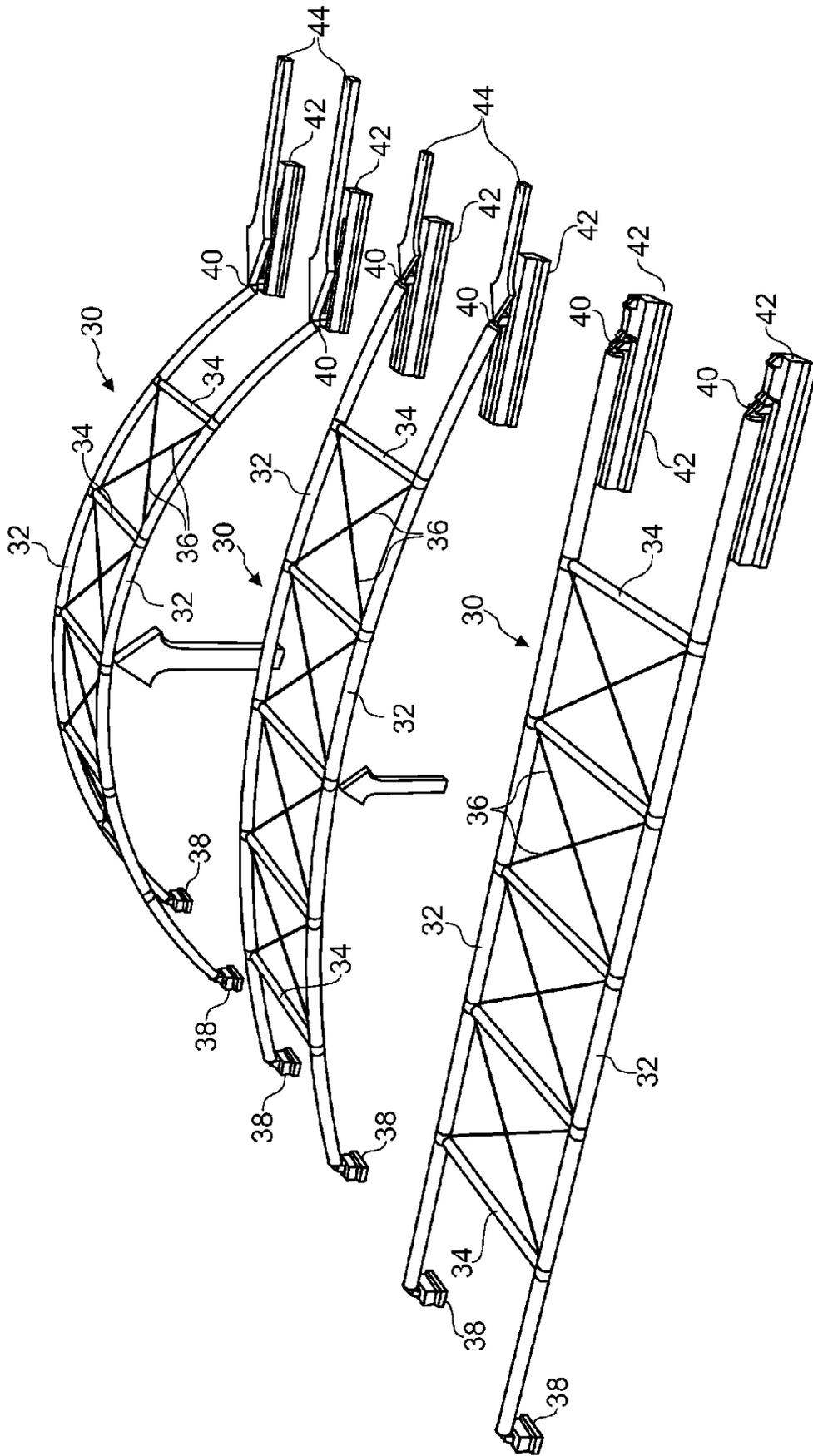


Fig. 3

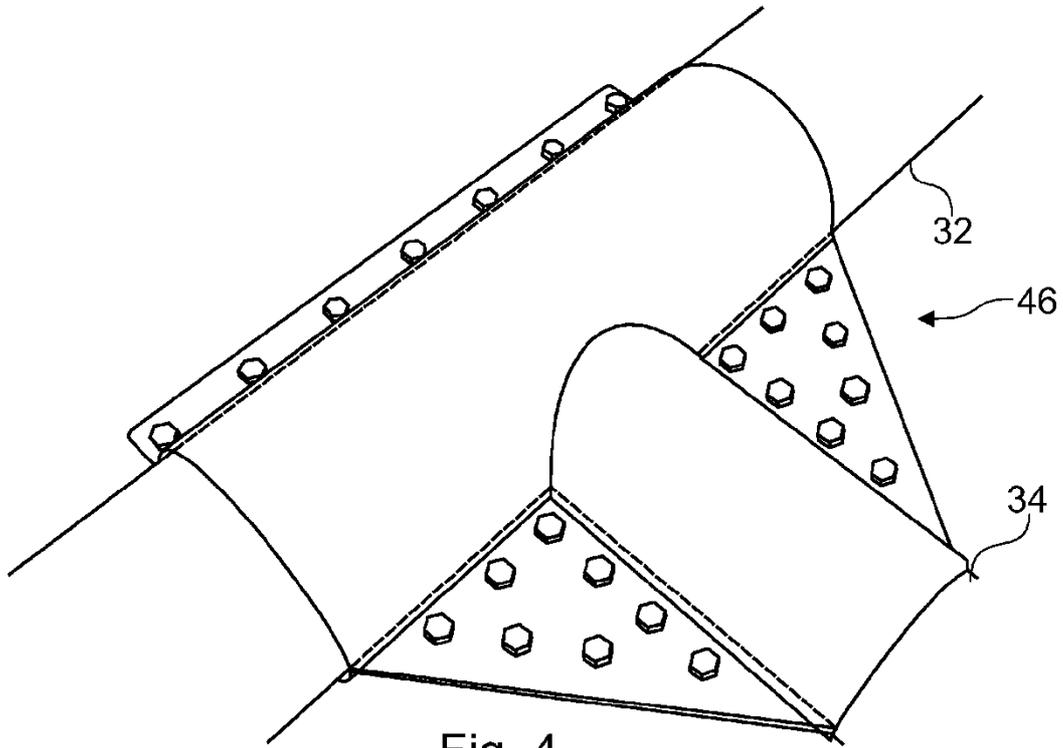


Fig. 4

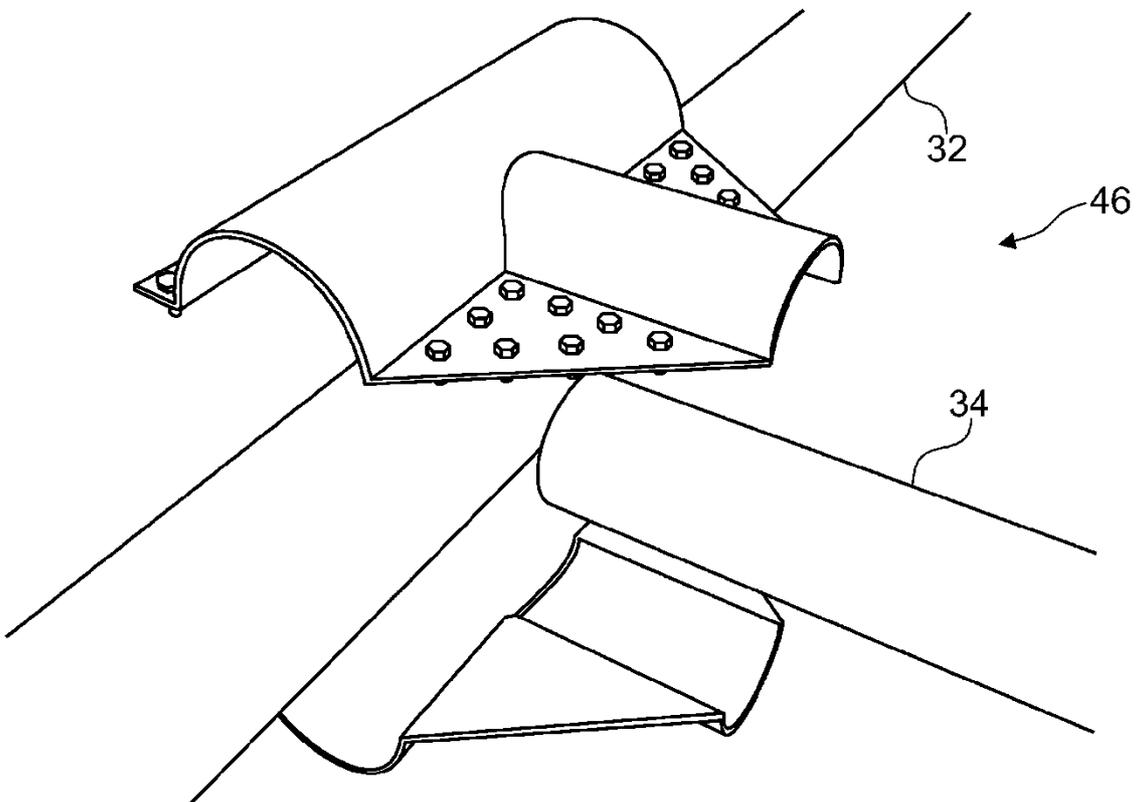


Fig. 5

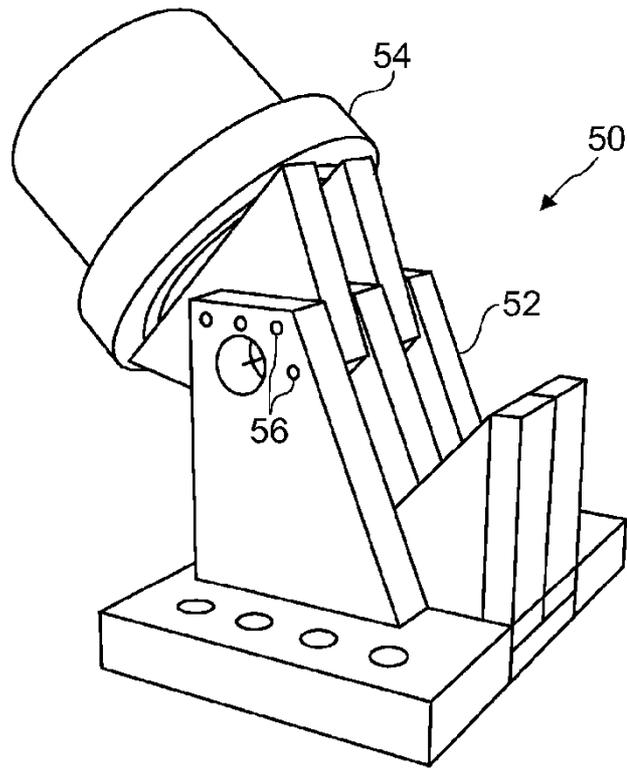


Fig. 6

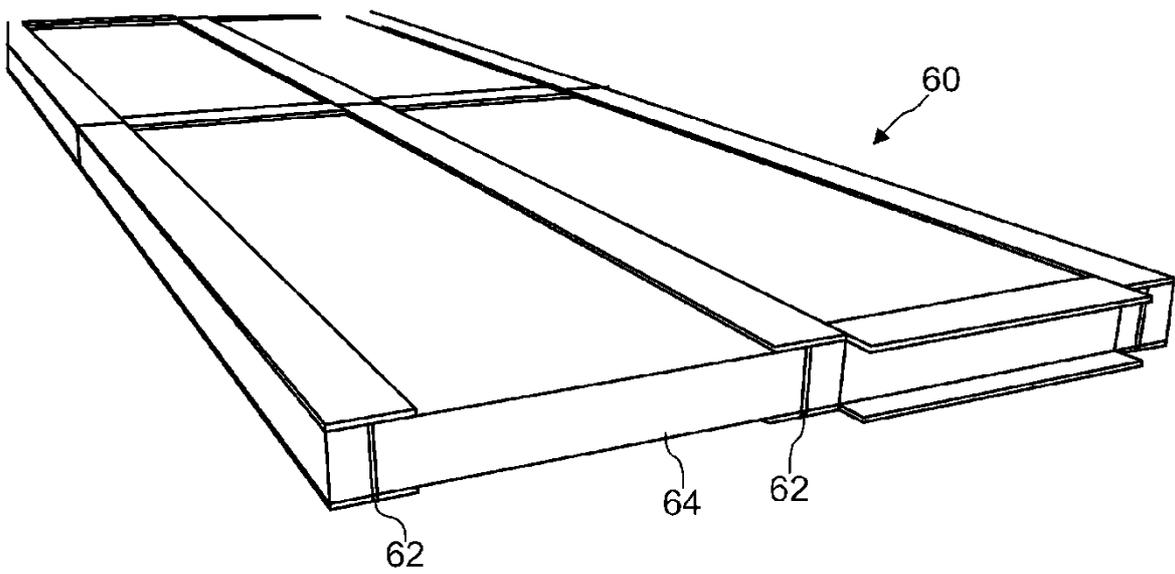


Fig. 7

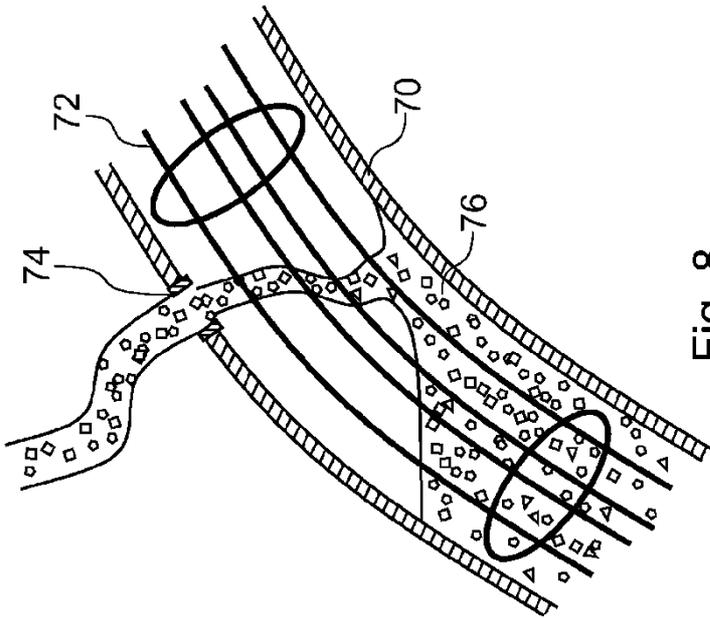


Fig. 8

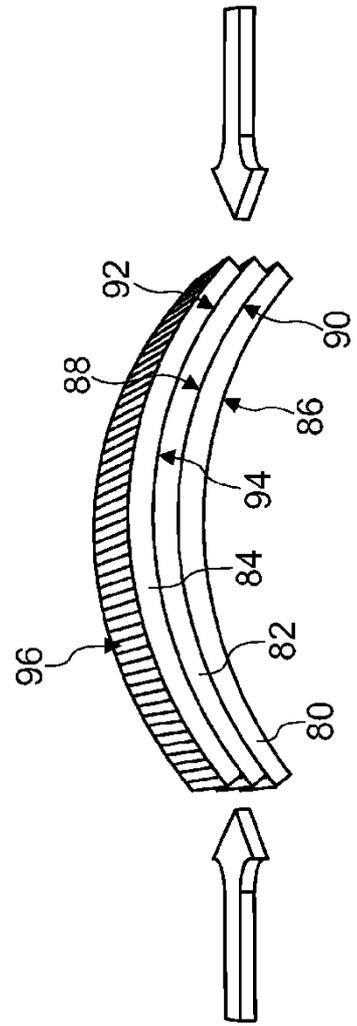
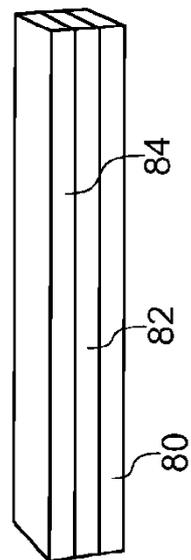


Fig. 9



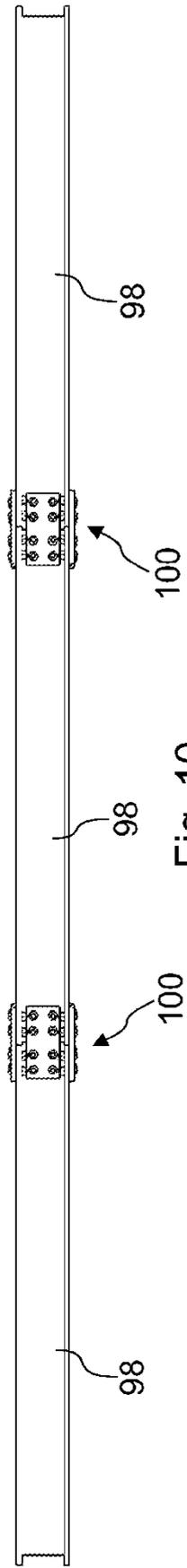


Fig. 10

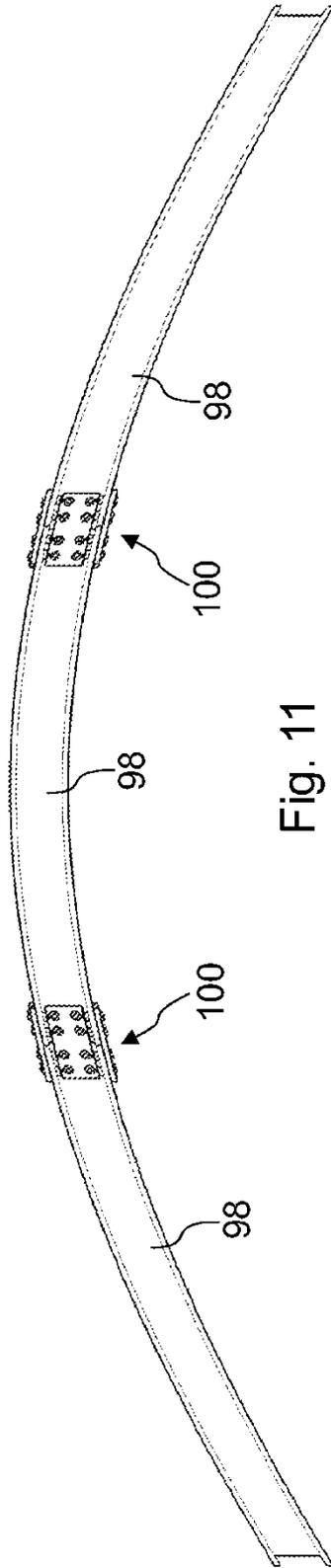


Fig. 11

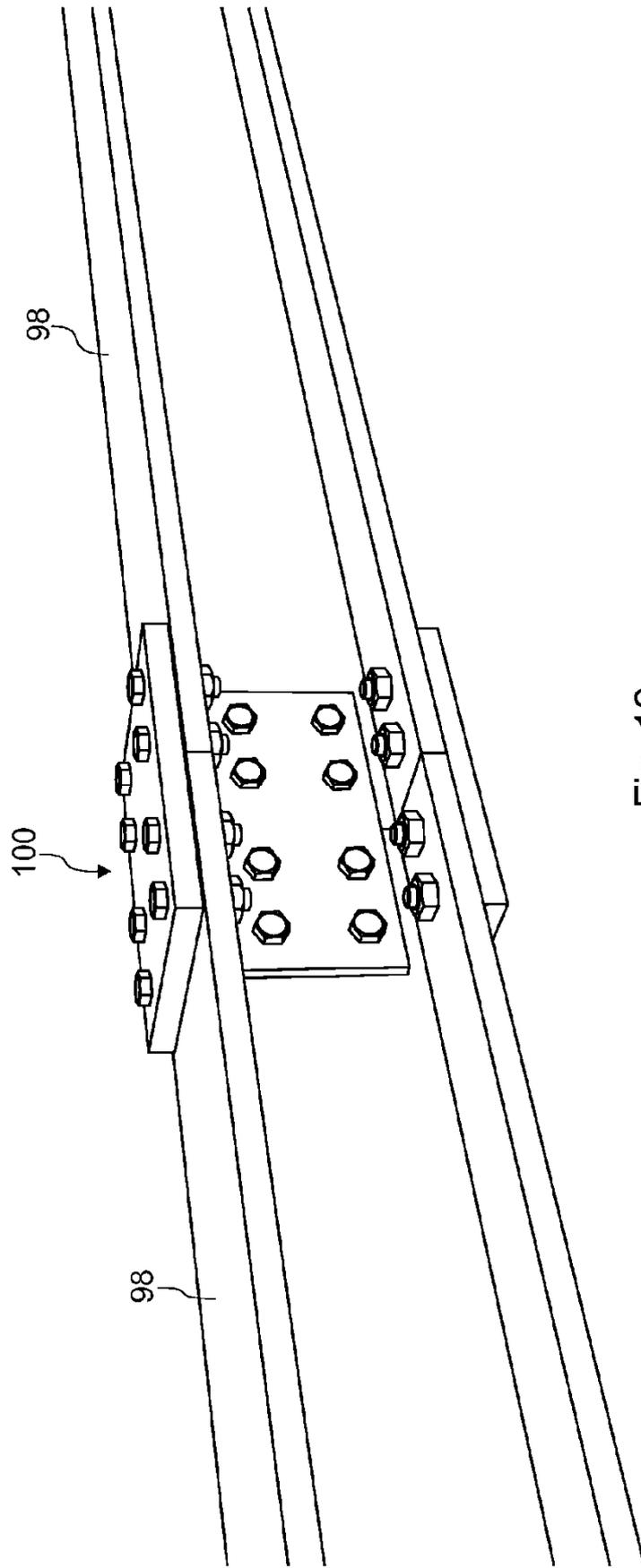


Fig. 12