

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 547 244**

51 Int. Cl.:

**E04B 1/32** (2006.01)

**E01D 4/00** (2006.01)

**E02D 29/05** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.01.2006 E 06719287 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.08.2015 EP 1846624**

54 Título: **Sistema de arcos ligeros de despliegue rápido resistentes a la carga**

30 Prioridad:

**26.01.2005 US 43420**

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

**02.10.2015**

73 Titular/es:

**THE UNIVERSITY OF MAINE BOARD OF  
TRUSTEES (100.0%)  
16 CENTRAL STREET  
BANGOR, ME 04401, US**

72 Inventor/es:

**DAGHER, HABIB J.;  
LANDIS, ERIC N. y  
EL CHITI, IMAD W.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 547 244 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**

Sistema de arcos ligeros de despliegue rápido resistentes a la carga.

Antecedentes de la invención

5 Esta invención hace referencia de manera general a un sistema de arcos ligeros de despliegue rápido y resistentes a la carga capaces de resistir cargas tanto en dirección horizontal como en vertical, útil para la construcción rápida de túneles arqueados subterráneos, instalaciones subterráneas de almacenaje, hangares o búnkeres, lo cual minimiza la necesidad de equipamiento pesado de construcción en el lugar.

10 En el pasado, ha habido varios tipos de tecnología que han sido usados para construir tramos cortos y medianos de puente arqueado subterráneo, así como algunas instalaciones subterráneas de almacenaje y túneles. Estas estructuras están típicamente cubiertas por una cobertura de suelo que recibe tráfico u otra carga.

15 Una tecnología incluye el uso de estructuras de hormigón prefabricado que son elaboradas en un lugar y luego transportadas al emplazamiento de la construcción. Aunque las estructuras de hormigón prefabricado son elaboradas con habilidad y cumplen con los requisitos de construcción, el uso de estructuras de hormigón prefabricado supone un gran coste debido a lo costoso de su transporte y su instalación. Aunque las estructuras de hormigón prefabricado son rápidas de instalar, las estructuras de hormigón prefabricado son muy pesadas y requieren de equipamiento pesado de construcción en el lugar.

20 Otra tecnología incluye el uso de estructuras de hormigón moldeado *in situ* que son elaboradas en el lugar de construcción y posteriormente colocadas por grúas o similares. Esta tecnología de moldeado *in-situ* otorga el beneficio de no tener que transportar las estructuras. Por otra parte, el uso de moldeado *in situ* es también caro y lleva mucho tiempo, dado que en el lugar de construcción debe de instalarse en primer lugar una allanadora de hormigón *in situ*. Las estructuras de hormigón *in situ* requieren de un montaje y desmontaje de encofrado muy caro y que lleva mucho tiempo, ubicación de barras de refuerzo, y largos plazos de construcción.

25 Aun otra tecnología incluye el uso de estructuras metálicas tubulares. Las estructuras metálicas tubulares han reducido sus esperanzas de vida debido a la corrosión. Otro inconveniente es que las estructuras metálicas tubulares están limitadas a tramos cortos y cargas ligeras.

La Patente U.S. Nº 4,068,423 describe un invernadero o estructura de almacenaje para producción en masa que incluye tuberías arqueadas para soporte de tejado montadas en un cimiento. Las tuberías de soporte están cubiertas con paneles ondulados. De lo contrario, los extremos abiertos pueden ser cubiertos por montajes de paredes de fondo.

30 La Patente U.S 5,295,335 describe un alojamiento prefabricado que incluye una estructura arqueada fijada al suelo por raíles longitudinales. Un tejado es montado sobre la estructura arqueada para proteger y cubrir todo lo situado bajo el tejado

35 Cada una de estas tecnologías de método de construcción tienen problemas o desventajas relevantes que son superadas por la presente invención. Hoy en día, además de la necesidad de equipamiento pesado de construcción en el lugar para construir y elevar la mayoría de puentes, una gran desventaja común a todas estas tecnologías de construcción consiste en que mientras el hormigón reforzado por metal y acero es ampliamente usado y aceptado en la construcción de muchas estructuras, dichas estructuras de hormigón reforzado son susceptibles al deterioro. Con el paso del tiempo, particularmente en climas nórdicos, los numerosos ciclos de helada-deshielo y el uso de agentes químicos anticongelantes aceleran la corrosión y el deterioro del material. La exposición de las estructuras de hormigón reforzado por acero a condiciones como el agua, sal para las carreteras y similares, y la helada y deshielo de las mismas, pueden provocar que se formen grietas en las estructuras. Estas grietas, a su vez, provocan que el acero reforzado se corra y expanda, provocando más agrietamiento, permitiendo en consecuencia que el aire y más agua penetren en la estructura, debilitando y dañando de tal modo la estructura. El sistema resistente a la carga de la invención resuelve estos problemas mediante la provisión de un sistema de arcos tubulares ligeros de despliegue rápido resistentes a la carga capaces de resistir cargas tanto en dirección vertical como en dirección horizontal, siendo de utilidad para la construcción rápida de puentes arqueados soterrados, túneles, instalaciones subterráneas de almacenaje, hangares o búnkeres, , y que minimiza la necesidad de equipamiento pesado de construcción en el lugar.

Sumario de la invención

50 Conforme a la presente invención se provee un sistema resistente a la carga como se expone más abajo en la reivindicación 1.

Conforme a otro aspecto de la presente invención, se provee un método para construir un sistema resistente a la carga como se expone más abajo en la reivindicación 3.

Los elementos tubulares de soporte principal están rellenos con un material impregnable como resina, arena, cemento, hormigón, o similar lo que otorga resistencia adicional y rigidez al sistema resistente a la carga.

- 5 El sistema puede soportar una sobrecarga vertical y puede ser de especial utilidad para soportar una sobrecarga de tierra, como en una carretera, pasarela o instalación de almacenaje subterráneo, o carga vehicular como en un puente.

- 10 Cada elemento tubular de soporte puede tener una abertura cercana a la parte superior del elemento tubular de soporte de tal manera que los elementos tubulares de soporte son capaces de ser rellenos con hormigón no retráctil o expansivo, resina no retráctil o expansiva, o arena a través de las aberturas cercanas a la parte superior de los elementos tubulares de soporte.

A partir de la siguiente descripción detallada de la realización preferente, varias finalidades y ventajas de esta invención resultarán obvias para los expertos en la materia durante la lectura a la luz de las figuras que se adjuntan.

Breve descripción de las figuras

- 15 La Fig. 1 es una vista esquemática en alzado lateral de una realización de un elemento tubular de soporte que tiene una primera geometría para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

La Fig. 2 es una vista esquemática en alzado lateral de una realización de un elemento tubular de soporte que tiene una segunda geometría para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

- 20 La Fig. 3 es una vista esquemática en alzado lateral de una realización de un elemento tubular de soporte que tiene una tercera geometría para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

La Fig 4. es una vista esquemática en alzado lateral de una realización de un elemento tubular de soporte que tiene una cuarta geometría para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

La Fig. 5 es una vista esquemática en alzado lateral, parcialmente en sección transversal, de un primer elemento conector para ser utilizado con un elemento estructural para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

- 25 La Fig. 5A es una vista en sección transversal tomada a lo largo de la línea 5A-5A de la Fig. 5.

La Fig. 6 es una vista esquemática en alzado lateral, parcialmente en sección transversal, de un segundo elemento conector para ser utilizado con un elemento estructural para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

La Fig. 6A es una vista en sección transversal tomada a lo largo de la línea 6A-6A de la Fig. 6.

- 30 La Fig. 7 es una vista esquemática en alzado lateral, parcialmente en sección transversal, de un tercer elemento conector para ser utilizado con un elemento estructural para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

La Fig. 8 es una vista esquemática en alzado lateral, parcialmente en sección transversal, de un cuarto elemento conector para ser utilizado con un elemento estructural para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

La Fig. 9 es una vista esquemática en perspectiva de una pluralidad de elementos tubulares de soporte en una configuración, yuxtapuesta, o adyacente, para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

- 35 La Fig. 10 es una vista esquemática separada, en perspectiva de una pluralidad de elementos tubulares de soporte en una configuración, yuxtapuesta, o adyacente, para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

La Fig. 11 es una vista esquemática en perspectiva de una pluralidad de elementos tubulares de soporte en una configuración espaciada, a partir de la cual tiene un sistema resistente a fuerzas laterales, para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

- 40 La Fig. 12 es una vista esquemática en perspectiva de una pluralidad de elementos tubulares de soporte en una configuración espaciada, que muestra varios elementos resistentes a fuerzas laterales posicionados en los elementos tubulares de soporte, para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

La Fig. 13 es una vista esquemática separada, en perspectiva de una pluralidad de elementos tubulares de soporte en una configuración espaciada, a partir de la cual tiene un sistema resistente a fuerzas laterales, para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

5 La Fig. 14 es una vista esquemática en perspectiva de una pluralidad de elementos tubulares de soporte en una configuración espaciada, a partir de la cual tiene un sistema resistente a fuerzas laterales, para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

La Fig. 15 es una vista esquemática en perspectiva de una pluralidad de elementos tubulares de soporte en una configuración espaciada, que muestra varios elementos resistentes a fuerzas laterales posicionados en los elementos estructurales, para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

10 La Fig. 16 es es una vista esquemática separada, en perspectiva de una pluralidad de elementos tubulares de soporte en una configuración espaciada, a partir de la cual tiene un sistema resistente a fuerzas laterales, para su uso en un sistema de red resistente a la carga.

La Fig. 17 es una ilustración esquemática de una configuración para un plan de instrumentación de test estructural de carga.

15 La Fig. 18 es un gráfico que representa Carga (kips) contra Desplazamiento (pulgadas) para desviaciones de carga obtenido a través de pruebas estructurales de carga a gran escala.

La Fig. 19 es una ilustración esquemática útil para el cálculo de la zona y la inercia de una sección de cilindro agrietada.

20 La Fig. 20 es una ilustración esquemática del análisis de un arco de tubo de hormigón FRP bajo una carga concentrada.

La Fig. 21 es una ilustración esquemática que describe una ecuación de energía potencial.

La Fig. 22 es un diagrama de flujo para el análisis de pandeo global de un arco bajo el peso de hormigón humedecido o bajo una carga concentrada, u otro relleno en estado líquido o que fluya.

#### Descripción de la realización preferente

25 Esta invención supera muchas dificultades en las tecnologías de método de construcción existentes para construir estructuras de hormigón enterrado y de arcos de metal. La presente invención es especialmente útil para la construcción de dichos usos, como por ejemplo, puentes soterrados de corta envergadura, instalaciones subterráneas de almacenaje, y estructuras de túnel donde el uso de componentes ligeros acelera la construcción y reduce la necesidad de equipamiento pesado en el lugar de construcción.

30 Por lo tanto, en un aspecto, esta invención hace referencia a un sistema resistente a la carga que tiene una red de elementos tubulares de soporte generalmente arqueados o combados substancialmente orientados en un plano vertical para apoyar cargas vivas o muertas, generalmente mostradas en las figuras de este documento como L. Se debe entender que la carga L puede ser, por ejemplo, una sobrecarga de tierra que ejerce una fuerza en el sistema resistente a la carga de la presente invención

35 En un aspecto, la presente invención hace referencia a un sistema resistente a cargas livianas de montaje rápido para la construcción de puentes arqueados soterrados, túneles o búnqueres subterráneos. El sistema resistente a cargas livianas de montaje rápido tiene una pluralidad de elementos tubulares arqueados de soporte compuestos de un material polímero de fibra reforzada y están substancialmente orientados en un plano vertical de tal manera que los elementos tubulares de soporte forman colectivamente el sistema vertical resistente a la carga. Los elementos tubulares ligeros de soporte están conectados por al menos uno o más elementos resistentes a fuerzas laterales. Los elementos resistentes a fuerzas laterales están posicionados en una dirección perpendicular al plano vertical de los elementos tubulares de soporte. Los elementos resistentes a fuerzas laterales son capaces de transferir cargas verticales a los elementos tubulares de soporte y de proveer capacidad de carga lateral al sistema resistente a la carga. Los elementos tubulares de soporte tienen uno o más orificios cercanos a la parte superior, o corona, del

40 elemento de soporte tubular, lo que permite al elemento tubular de soporte ser relleno con resina expansiva, polímero expansivo, hormigón no retráctil o material de soporte para proveer resistencia adicional o rigidez. Entre las características clave de la presente invención de sistema ligero de peso están su facilidad de transporte, su durabilidad, y su capacidad de ser rápidamente construido con una necesidad mínima de equipamiento en el lugar de construcción.

En algunos otros aspectos, los elementos de soporte están conectados con al menos uno o más elementos resistentes a fuerzas laterales que están posicionados generalmente en una dirección perpendicular a un plano vertical definido por los elementos de soporte tubular de tal manera que los elementos resistentes a fuerzas laterales funcionan para transferir las cargas a los elementos tubulares de soporte y para proporcionar carga lateral o capacidad de soporte al sistema resistente a la carga.

Haciendo referencia ahora a los dibujos, se muestra en la Fig. 1 una ilustración esquemática de una carga L soportada para una primera realización de un elemento 2 tubular arqueado de soporte que tiene un radio 1 generalmente uniforme. El elemento 2 tubular de soporte está hueco y tiene un espacio 3 interior definido de la sección transversal. El radio 1 generalmente uniforme provee por lo tanto al elemento 2 tubular de soporte con una altura 5 predeterminada y con una longitud 5 predeterminada. Se debe de entender que las dimensiones específicas del espacio de la sección transversal interior, el radio, la altura y la longitud del elemento 2 tubular de soporte están guiadas por el uso final de la aplicación para la cual está siendo usado el elemento tubular de soporte, como será completamente descrito aquí. Por ejemplo, el elemento 2 tubular hueco de soporte puede tener generalmente una configuración circular, cuadrangular, rectangular, trapezoidal u otra estructural útil, y como tal, el espacio 3 interior de sección transversal definirá, por lo tanto, al menos uno de entre el diámetro, longitud interior o anchura del elemento 2 tubular de soporte. Igualmente, está dentro del alcance inventivo completado de la presente invención que el espacio interior de sección transversal puede variar a lo largo de de una longitud arqueada del elemento tubular de soporte de tal manera que el elemento tubular de soporte puede tener un grosor variable que corresponde a las necesidades del uso final de la aplicación. En ciertas aplicaciones de uso final, se puede desear que las secciones inferiores del elemento tubular de soporte adyacentes al suelo sean más gruesas para soportar las partes superiores del elemento tubular de soporte.

La Fig. 2 muestra una ilustración esquemática de una carga L soportada para una segunda realización de un elemento 9 tubular de soporte generalmente arqueado que tiene un primer radio 6, el cual define el ángulo 6a, y un segundo radio 7, que define al ángulo 7a. El elemento 9 tubular de soporte incluye una primera sección 9a estructural arqueada que está en comunicación con una segunda sección 12a estructural arqueada en un primer extremo 9b del mismo. La primera sección 9a estructural arqueada está en comunicación con una tercera sección 12b estructural arqueada en un segundo extremo 9c del mismo. El elemento 9 tubular de soporte está hueco y tiene una dimensión 8 interior definida de la sección transversal. La primera sección 9a estructural arqueada tiene una dimensión arqueada que está definida por el primer radio 6 y por el ángulo 6a, mientras que la segunda y tercera secciones 12a y 12b estructurales arqueadas, tienen respectivamente dimensiones arqueadas que están definidas por el segundo radio 7 y por el ángulo 7a. La combinación del segundo y tercer radios 6 y 7, respectivamente, proveen al elemento 9 de soporte tubular con una altura 10 predeterminada, y una longitud 11 predeterminada. Mediante la variación de las longitudes del primer radio 6 y el segundo radio 7, se alteran la altura 10 y la anchura 11 del elemento 9 tubular de soporte.

La Fig. 3 muestra una ilustración esquemática de una carga L soportada para una tercera realización de un elemento 16 tubular de soporte que tiene un primer radio 13, el cual define el ángulo 13a, y un segundo radio 15, que define al ángulo 15a. El elemento 16 tubular de soporte incluye una primera sección 16a estructural arqueada que está en comunicación con una primera sección 17a estructural recta en un primer extremo 16b del mismo y que está comunicada con una segunda sección 17b estructural generalmente recta en un segundo extremo 16c del mismo. El elemento 16 tubular de soporte está hueco y tiene una dimensión 14 interior definida de la sección transversal. La sección 16a estructural arqueada tiene una dimensión arqueada que está definida por el primer radio 13 y por el ángulo 13a, mientras que la segunda y tercera secciones 12a y 12b estructurales arqueadas, tienen respectivamente dimensiones arqueadas que están definidas por el segundo radio 15 y por el ángulo 15a. La combinación del primer y segundo radio 13 y 15, respectivamente, proveen al elemento 16 tubular de soporte con una altura 18 predeterminada, y una longitud 19 predeterminada. Mediante la variación de las longitudes del primer radio 13 y el segundo radio 15, se alteran la altura 18 y la anchura 19 del elemento 16 tubular de soporte.

La Fig. 4 muestra una ilustración esquemática de una carga L soportada para una cuarta realización de un elemento 27 tubular de soporte generalmente arqueado que tiene un primer radio 20, el cual define el ángulo 20a, y un segundo radio 21, que define al ángulo 21a. El elemento 27 tubular de soporte incluye una pluralidad de secciones 27a, 27b y 27c estructurales arqueadas. Se debe entender que pueden incluirse más o menos secciones estructurales arqueadas, y que el número de dichas secciones estructurales arqueadas depende, al menos en parte, de las dimensiones del uso final de la aplicación. En la realización mostrada, la primera sección 27a estructural arqueada está comunicada con una cuarta sección 24a estructural arqueada en un primer extremo 27d en la primera sección 27a estructural arqueada. La tercera 27c sección estructural arqueada está comunicada con una quinta sección 24b estructural arqueada en un primer extremo 27e en en la tercera sección 27c estructural arqueada. El elemento 27 estructural está hueco y tiene una dimensión 22 interior definida de la sección transversal. La primera, segunda y tercera secciones 27a, 27b, y 27c estructurales arqueadas, definen respectivamente una dimensión arqueada que está definida por el primer radio 20 y por el ángulo 20a. La cuarta y quinta secciones 24a y 24b, respectivamente, tienen dimensiones arqueadas que están definidas por el segundo radio 21 y por el ángulo 21a. La combinación del segundo y tercer radios 20 y 21, proveen respectivamente al elemento 27 tubular de soporte con

una altura 23 predeterminada, y una longitud 25 predeterminada. Mediante la variación de las longitudes del primer radio 20 y el segundo radio 21, se alteran la altura 23 y la anchura 25 del elemento 27 tubular de soporte.

5 La realización mostrada en la Fig. 4 incluye una pluralidad de elementos conectores que están conectados operativamente a extremos adyacentes de las secciones estructurales arqueadas; un primer elemento 26a conector conecta operativamente la cuarta sección 24a estructural arqueada con la primera sección 27a estructural arqueada; un segundo elemento 26b conector conecta operativamente la primera sección 27a estructural arqueada con la segunda sección 27b estructural arqueada; un tercer elemento 26c conector conecta operativamente la segunda sección 27b estructural arqueada con la tercera sección 27c estructural arqueada; y un cuarto elemento 26d conector conecta operativamente la tercera sección 27c estructural arqueada con la quinta sección 24b estructural arqueada. De esta manera, el uso de elementos conectores permite al elemento 27 tubular de soporte ser transportado al lugar de instalación en piezas, o pequeñas secciones estructurales, y montado de manera sencilla.

15 Las Figs. 5 y 5A muestran un tipo útil de elemento 28 conector que tiene un diámetro 29 interior que es coextensivo o ligeramente más largo que los diámetros exteriores de las secciones estructurales 27a y 27b. El elemento 28 conector tiene una longitud 30 preferente tal que los extremos adyacentes de las secciones 27a y 27b estructurales están asegurados dentro del elemento 28 conector.

20 Las Figs. 6 y 6A muestran otro tipo útil de elemento 31 conector que tiene un diámetro 32 interior y otras representaciones de secciones 33a y 33b estructurales adyacentes. Las secciones 33a y 33b estructurales definen cada una extremos que incluyen una zona 35 en forma de cuello o cónica. En la realización mostrada en las Figs. 6 y 6A, el diámetro interior 32 del elemento 31 conector es coextensivo o ligeramente más largo que el diámetro exterior de la zona 35 cónica de las secciones estructurales 33a y 33b. El elemento 31 conector tiene una longitud 341 preferente tal que los extremos adyacentes de las secciones 33a y 33b estructurales están asegurados dentro del elemento 31 conector. El elemento 31 conector tiene igualmente un grosor 34t preferente tal que, cuando el conector 31 está posicionado telescópicamente en los extremos de las secciones 33a y 33b estructurales adyacentes, el diámetro exterior del elemento 31 conector está en el mismo plano que el definido por el diámetro exterior de las secciones 33a y 33b estructurales. Esta realización permite por lo tanto que múltiples elementos tubulares de soporte (comprendidos, por ejemplo, por las secciones 33a y 33b estructurales) sean posicionados en acoplamiento conectado, como se explicará en detalle más abajo.

30 La Fig. 7 muestra otro tipo útil de elemento 36 conector de codo que tiene una primera sección 36a y una segunda sección 36b que tienen ejes que no son coincidentes. El elemento 36 conector de codo tiene un diámetro 36c interior que es coextensivo con, o ligeramente más largo que, los diámetros exteriores de las secciones 27a y 27b estructurales. El elemento 36 conector tiene una longitud 38 preferente tal que los extremos adyacentes de las secciones secciones 27a y 27b estructurales están aseguradas dentro del elemento 36 conector.

35 La Fig. 8 muestra otro tipo útil de elemento 40 conector de codo que tiene una primera sección 40a y una segunda sección 40b que tienen ejes que no son coincidentes. El elemento 40 conector de codo tiene un diámetro 40 c interior que es coextensivo con, o ligeramente más largo que los diámetros exteriores de la zona 35 en forma de cuello o cónica. En la realización mostrada en la Fig. 8, el diámetro 32 interior del elemento 40 conector es coextensivo o ligeramente más largo que la región 35 cónica de las secciones estructurales 33a y 33b. Cada sección 40a y 40b del elemento 40 conector tiene una longitud 42 preferente tal que los extremos adyacentes de las secciones estructurales 33a y 33b están aseguradas dentro del elemento 40 conector. El elemento 40 conector tiene también una anchura 41 preferente tal que, cuando el elemento 40 conector está posicionado telescópicamente en los extremos de las secciones 33a y 33b estructurales adyacentes, el diámetro exterior del elemento 40 conector está en el mismo plano que el definido por el diámetro exterior de las secciones 33a y 33b estructurales. Esta realización permite por lo tanto que múltiples elementos estructurales de soporte (comprendidos, por ejemplo, por las secciones 33a y 33b estructurales) sean posicionados en acoplamiento conectado, como se explicará en detalle más abajo.

40 En un aspecto, como se muestra en la Fig. 9 y la Fig. 10, el sistema resistente a la carga incluye una red de elementos tubulares de soporte generalmente arqueados o combados, generalmente mostrados como 50a, 50b, 50c, 50d, y 50e para el soporte de cargas vivas o muertas. Se debe entender que el sistema resistente a la carga puede incluir menos o más elementos tubulares de soporte y que la realización de los cinco elementos tubulares adyacentes de soporte está mostrada para facilitar la explicación. La red de los elementos 50a, 50b, 50c, 50d, y 50e tubulares de soporte forman colectivamente un sistema principal resistente a la carga el cual, por ejemplo, recibe una carga como por ejemplo una sobrecarga de tierra para formar una carretera o un puente o una instalación subterránea de almacenaje.

55 En ciertas representaciones, el sistema resistente a la carga incluye una pluralidad de barras 51 transversales que se extienden, como pasadores, barra de refuerzo o fibra de vidrio. Cada barra 51 está posicionada para extenderse a través de aberturas 52 extensibles radialmente en los elementos 50a, 50b, 50c, 50d, y 50e tubulares de soporte. En ciertas representaciones una tuerca puede ser posicionada coaxialmente adyacente a las aberturas 52 más

- 5 exteriores en la red de elementos 50a, 50b, 50c, 50d, y 50e tubulares de soporte. En una realización, los elementos 50a, 50b, 50c, 50d, y 50e tubulares longitudinales de soporte están situados paralelamente al tráfico en una aplicación de uso como extremo de puente. Cada barra 51 puede ser posicionada en una distancia 54 de un adyacente 51, como se muestra en la Fig. 10; o alternativamente, las barras 51 pueden ser espaciadas en diferentes distancias, dependiendo de los requisitos del uso final para refuerzo y rigidez.
- En ciertas representaciones cada elemento 50a, 50b, 50c, 50d, y 50e tubular de soporte incluye al menos una apertura 52 a través de la cual los elementos 50a, 50b, 50c, 50d, y 50e tubulares de soporte pueden rellenarse con un material 57 de refuerzo en el lugar de construcción para proveer refuerzo y rigidez adicionales a los elementos 50a, 50b, 50c, 50d, y 50e estructurales.
- 10 En otra realización como se muestra en la Fig. 11, el sistema resistente a la carga incluye una red de elementos tubulares de soporte generalmente en arcos separados o combados, generalmente mostrados como 60a, 60b y 60c para soportar cargas vivas o muertas. Se debe de entender que el sistema resistente a la carga puede incluir menos o más elementos tubulares de soporte y que la realización de los tres elementos tubulares adyacentes de soporte separados en una distancia 61 está mostrada para facilitar la explicación.
- 15 En ciertas representaciones, el sistema resistente a la carga incluye una pluralidad de elementos 62a, 62b, 62c, etc.. resistente a fuerzas laterales que están en una configuración separada en una superficie exterior de los elementos 60a, 60b y 60c tubulares de soporte. En ciertas representaciones, el primer elemento 62a resistente a fuerzas laterales está posicionado en una distancia 64 desde el segundo elemento 62b resistente fuerzas laterales. Cada elemento 62a, 62b y 62c tiene un anchura 63 preferente de tal manera que cada elemento 62a, 62b y 62c resistente a fuerzas laterales puede ser fácilmente posicionado en la red de elementos 60a-60c.
- 20 Los elementos 62a, 62b y 62c resistentes a fuerza están fijados a los elementos 60a-60c tubulares de soporte mediante una pluralidad de elementos 65 de sujeción. La red de los elementos 62a, 62b, 62c tubulares de soporte y los elementos 62a, etc. resistente a fuerzas laterales forman colectivamente un sistema principal resistente a la carga que recibe una carga como sobrecarga de tierra para formar una carretera o un puente o una instalación de almacenamiento subterráneo.
- 25 En otro aspecto, como se muestra en la Fig. 12, el sistema resistente a la carga incluye una red de elementos tubulares de soporte generalmente en arcos separados o combados, generalmente mostrados como 70a, 70b y 70c para soportar cargas vivas o muertas. Se debe de entender que el sistema resistente a la carga puede incluir menos o más elementos tubulares de soporte y que la realización de los tres elementos tubulares adyacentes de soporte separados en una distancia 71 está mostrada para facilitar la explicación, y que el espacio entre cada elemento tubular de soporte depende de la carga que se va a sostener. En ciertas representaciones, el sistema está ensamblado de tal manera que el primer elemento 71a está posicionado en un primer extremo de los elementos 70a-70c tubulares de soporte; a partir de ahí, el elemento 71b resistente a fuerzas laterales está posicionado en un segundo extremo de los elementos 70a-70c tubulares de soporte. El ensamblaje posterior incluye la colocación secuencial del elementos 72a resistente a fuerzas laterales, luego 72b, 73a, 73b, de tal manera que los elementos resistentes a fuerzas laterales están posicionados de manera alterna en los elementos tubulares de soporte. En ciertas representaciones, cada elemento resistente a fuerzas laterales está posicionado en una distancia 74 desde un elemento resistentes fuerzas laterales adyacente. Los elementos 71a-73b etc. están fijados a los elementos 70a-70c tubulares de soporte mediante una pluralidad de elementos 75 de sujeción adecuados. En ciertos aspectos, cada elemento 70a-70c tubular de soporte incluye al menos una abertura 76a, 76b y 76c, respectivamente, a través de la cual los elementos 70a-70c tubulares de soporte pueden ser rellenados con un material 57 de refuerzo adecuado en el sitio de construcción para proveer resistencia y rigidez adicionales para los elementos 70a-70c tubulares de soporte.
- 30
- 35
- 40
- 45 En otro aspecto, como se muestra en la Fig. 13, el sistema resistente a la carga incluye una red de elementos tubulares de soporte generalmente en arcos separados o combados, generalmente mostrados como 80a, 80b y 80c para soportar cargas vivas o muertas. Se debe de entender que el sistema resistente a la carga puede incluir menos o más elementos tubulares de soporte y que la realización de los tres elementos tubulares adyacentes de soporte separados en una distancia 81 está mostrada para facilitar la explicación. En ciertas representaciones, el sistema resistente a la carga incluye una pluralidad de elementos 85 resistentes a fuerzas laterales que están en una configuración separada en una superficie exterior de los elementos 80a-80c tubulares de soporte. En ciertas representaciones, el primer elemento 85a resistente a fuerzas laterales está posicionado en una distancia 86 desde el elemento 85b resistente fuerzas laterales adyacente. Cada elemento 85 resistente a fuerzas laterales tiene una anchura preferente de tal manera que cada elemento 85 resistente a fuerzas laterales puede ser fácilmente posicionado en la red de elementos 80a-80c tubulares de soporte. Los elementos 85a etc. resistente a fuerzas laterales están fijados a los elementos 80a-80c tubulares de soporte mediante una pluralidad de elementos 84 de sujeción adecuados que se extienden en el material 82 de refuerzo en el miembro tubular de soporte. Cada elemento 80a, 80b y 80c tubular de soporte tiene un diámetro preferente 83 que está determinado, al menos en parte, por el uso final de la aplicación.
- 50
- 55

En otro aspecto, como se muestra en la Fig. 14, el sistema resistente a la carga incluye una red de elementos tubulares de soporte generalmente en arcos separados o combados, generalmente mostrados como 90a, 90b y 90c para soportar cargas vivas o muertas. Se debe de entender que el sistema resistente a la carga puede incluir menos o más elementos tubulares de soporte y que la realización de los tres elementos tubulares adyacentes de soporte separados en una distancia 91 está mostrada para facilitar la explicación. En ciertas representaciones, el sistema resistente a la carga incluye una pluralidad de elementos 92a, 92b y 92c etc. ondulados resistentes a fuerzas laterales que están en una configuración separada en una superficie exterior de los elementos 90a-90c tubulares de soporte. Los elementos 92a etc. ondulados resistentes a fuerzas laterales permiten una fácil construcción dado que los elementos ondulados resistentes son fáciles de doblar y proveen una alta resistencia deseada en la dirección de arco a arco, por lo que proveen rigidez en una dirección perpendicular al arco. En ciertas representaciones, el primer elemento 92a lateral resistente a la fuerza es posicionado inmediatamente adyacente al segundo elemento 92b lateral resistente a la fuerza. Cada elemento 92a, etc. lateral resistente a la fuerza tiene una anchura 95 preferente de tal manera que cada elemento 92 lateral resistente a la fuerza puede ser fácilmente posicionado en la red de elementos 90a-90c tubulares de soporte. Los elementos 92a, etc. laterales resistentes a la fuerza están fijados a los elementos 90a-90c tubulares de soporte por una pluralidad de elementos 93 de sujeción adecuados.

En otro aspecto, como se muestra en la Fig. 15, el sistema resistente a la carga incluye una red de elementos tubulares de soporte generalmente en arcos separados o combados, generalmente mostrados como 100a, 100b y 100c para soportar cargas vivas o muertas. Se debe de entender que el sistema resistente a la carga puede incluir menos o más elementos tubulares de soporte y que la realización de los tres elementos tubulares adyacentes de soporte separados en una distancia 101 está mostrada para facilitar la explicación, y que el espacio entre cada elemento tubular de soporte depende de la carga a sostener. En ciertas representaciones, el sistema resistente a la carga incluye una pluralidad de elementos 102a, 102b, 103a, 103b etc. resistente a fuerzas laterales que están en una configuración separada en una superficie exterior de los elementos 100a, 100b y 100c tubulares de soporte. En ciertas representaciones la red está ensamblada de tal manera que el primer elemento 102a resistente a fuerzas laterales está posicionado en un primer extremo de los elementos 100a-100c tubulares de soporte; a partir de ahí, el segundo elemento 102b lateral resistente a la fuerza está posicionado en un segundo extremo de los elementos 100a-100c tubulares de soporte. El ensamblaje posterior incluye la ubicación alterna y secuencial de los elementos 103a, luego 103b, y así sucesivamente. En ciertas representaciones, cada elemento lateral resistente a la fuerza es posicionado inmediatamente adyacente al siguiente elemento lateral resistente a la fuerza. Los elementos laterales resistente a la fuerza 102a-103b etc. están fijados a los elementos estructurales 100a-100c mediante una pluralidad de elementos 106 de fijación adecuados. En ciertas representaciones, cada elemento estructural 100a-100c incluye al menos una abertura 105a, 105b y 105c, respectivamente, a través de la cual los elementos 100a-100c tubulares de soporte pueden ser rellenados con un material de refuerzo adecuado en el sitio de construcción para proveer resistencia y rigidez adicionales para los elementos 100a-100c tubulares de soporte.

En otro aspecto, como se muestra en la Fig. 16, el sistema resistente a la carga incluye una red de elementos tubulares de soporte generalmente en arcos separados o combados, generalmente mostrados como 110a, 110b y 110c para soportar cargas vivas o muertas. Se debe de entender que el sistema resistente a la carga puede incluir menos o más elementos tubulares de soporte y que la realización de los tres elementos tubulares adyacentes de soporte separados en una distancia 111 está mostrada para facilitar la explicación. En ciertas representaciones, el sistema resistente a la carga incluye un elemento 112 resistente a fuerza generalmente continuo posicionado en superficie exterior de los elementos 110a-110c tubulares de soporte espaciados. El elemento 112 resistente a fuerza generalmente continuo esta fijado a los los elementos 110a-110c tubulares de soporte por una pluralidad de elementos 115 de sujeción adecuados que se extienden en el material 114 de refuerzo en los elementos tubulares de soporte. Cada elemento 110a, 110b y 110c tubular de soporte tiene un diámetro preferente 113 que está determinado, al menos en parte, por el uso final de la aplicación.

En un aspecto de la presente invención, los elementos tubulares de soporte están hechos de una matriz compuesta de polímero de fibra reforzada (FRP). La matriz FRP puede incluir una resina termoendurecible, incluyendo pero no limitándose a al menos uno de entre epoxis, ésteres de vinilo, poliésteres, fenólicos o uretanos. La matriz FRP puede igualmente incluir una resina termoplástica, incluyendo pero no limitándose a al menos uno de entre polipropilenos, polietilenos, PVCs, o acrílicos. El refuerzo FRP puede incluir, pero no limitarse a fibra de vidrio, fibra de carbono, fibras de arámida o una combinación de uno o más de estos tipos de fibra. Los elementos tubulares de soporte compuestos de polímeros de fibra reforzada pueden ser fabricados usando una variedad de procesos, incluyendo pero no limitándose a infusión de resina (Moldeo por Transferencia de Resina Asistido por Vacío) o devanado de filamentos sobre un molde curvo, u otros métodos adecuados. Las formas de fibra pueden ser, sin estar limitadas a, telas cosidas, tejidas o trenzadas. El grosor del muro y el diámetro de cada elemento tubular de soporte son tales que los elementos tubulares de soporte soportan el peso propio del sistema resistente a la carga y el peso del material de relleno. Por ejemplo, cuando se usa hormigón, el elemento tubular de soporte compuesto/la sección de hormigón están diseñados para llevar la sobrecarga de tierra y cualquier carga adicional de peso muerto o vivo.

En ciertos aspectos, el relleno de material de refuerzo puede incluir al menos uno de hormigón húmedo no retráctil o

expansivo, resina no retráctil o expansiva, y/o arena.

Todavía en otros aspectos, los elementos tubulares de soporte pueden estar cubiertos de una tela flexible como una geomembrana u otro geotextil adecuado. El sistema resistente a la carga es rellenado entonces con un material adecuado, como arena, tierra o similar.

5 En otro aspecto, los elementos resistentes a fuerzas laterales están fijados a los elementos tubulares de soporte mediante tornillos u otros elementos de fijación adecuados. Los elementos resistentes a fuerzas laterales y elementos de fijación funcionan juntos para transferir las cargas a los elementos tubulares de soporte y proveen carga lateral o capacidad de soporte al sistema resistente a la carga de la presente invención. En ciertas representaciones, los elementos resistentes a fuerzas laterales incluyen un plano flexible o placa ondulada que  
10 contiene pero no se limita a placas de metal onduladas, FRP, PVC extrudido, policarbonato y compuestos de madera plástica. En ciertos aspectos, las placas arrugadas de los elementos resistentes a fuerzas laterales corren en dirección perpendicular a los elementos tubulares de soporte.

Todavía en otro aspecto, la presente invención hace referencia a un método para construir un sistema resistente a la carga como un puente o un túnel que incluye la construcción de elementos tubulares de soporte huecos longitudinales, substancialmente paralelos y huecos al menos en parte donde cada elemento tubular de soporte forma un arco substancialmente ordenado en un plano. Mientras los elementos tubulares de soporte están siendo  
15 contruidos, los elementos tubulares de soporte son temporalmente asegurados y espaciados en una distancia prescrita el uno del otro. Comenzando en el extremo inferior de los elementos tubulares de soporte, los elementos tubulares de soporte son cubiertos al menos parcialmente con una pluralidad de elementos laterales resistentes a la fuerza. En ciertas representaciones, los elementos laterales resistentes a la fuerza son placas arrugadas, que están posicionadas de tal manera que las arrugas de la placa corren en dirección perpendicular a los elementos tubulares de soporte. Los elementos laterales resistentes a la fuerza están conectados operativamente a los elementos tubulares de soporte mediante tornillos u otros elementos de fijación. En ciertas representaciones, los elementos tubulares de soporte están substancialmente rellenos con un material de refuerzo adecuado a través de al menos  
20 una abertura cercana a la corona del elemento de soporte tubular. Igualmente, en ciertas representaciones, se puede aplicar vibración a los elementos tubulares de soporte para facilitar el relleno completo y apropiado de los elementos tubulares de soporte. Al sistema resistente a la carga se acoplan posteriormente soportes adecuados de construcción como muros laterales y similares, y, si fuera necesario, se rellena con tierra el sistema resistente a la carga hasta la profundidad requerida, y se asfalta.

30 Todavía en otro aspecto, la presente invención hace referencia a un método para construir un sistema resistente a la carga como un puente o túnel que comprende en primer lugar el montaje de una pluralidad de secciones de arco cortas en elementos tubulares de soporte huecos más largos, y posteriormente continuar con el método tal y como se describe arriba.

35 La Figura 17 muestra el plan de instrumentación y despliegue a gran escala del test estructural de carga de arco usada para verificar y validar las hipótesis de diseño. La Figura 18 es un grafico que provee los resultados de la prueba en forma de desviaciones de carga obtenidas a través del testeo estructural de carga a gran escala del arco. La carga es aplicada en el centro del arco relleno de hormigón y la desviación es medida en el centro.

**Ejemplos: Análisis y Diseño de un Arco de Tubo FRP**

40 En un ejemplo, se diseñan los arcos de tubo de esta invención, mediante la ilustración del diseño de un arco de tubo FRP de 15 ft (4.6 m), 7 in. (178 mm) relleno de hormigón, bajo las siguientes condiciones:

- 1.El arco de tubo FRP vacío es verificado con tensiones de carga muerta desarrolladas por el peso de hormigón húmedo.
- 2.Cálculo de la carga concentrada máxima vertical en la mitad, lo que requiere de un análisis iterativo. Se utiliza un  
45 modelo numérico momento-curvatura para calcular la última capacidad de momento de la sección compuesta de hormigón FRP de 7 in. (178 mm) de diámetro. Las cargas concentradas críticas aplicadas requeridas para conseguir este último momento se determinan usando un modelo convencional de análisis estructural.
- 3.El pandeo global es verificado en los siguientes dos casos:
  - a.Antes del endurecimiento del hormigón
  - b.Después del endurecimiento del hormigón y la aplicación de la carga concentrada en el centro.

50 El pandeo local también se verifica.

1.Verificación de los Arcos de Tubo FRP bajo el Peso del Hormigón Húmedo.

El Arco de Tubo FRP es modelado usando un programa informático de análisis estructural mientras que se aplica

una carga vertical uniformemente distribuida equivalente al peso del hormigón húmedo a lo largo de la longitud de la estructura. El arco puede ser encajado con partes de vigas rectas. Las condiciones límite pueden ser tomadas como puntos de apoyo. El área, 1.398 in<sup>2</sup> (9.0 cm<sup>2</sup>), momento de inercia, 8.717 in<sup>4</sup> (363 cm<sup>4</sup>), y el módulo de elasticidad 1.795 x 10<sup>6</sup> psi (13.3 GPa) se consideraron así para un tubo FRP hueco de un grosor de 0.088 in. (2.23 mm) y un radio de 7 in.

5

$$A_{shell} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t \quad (1)$$

$$I_{shell} = 2 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot t \quad (2)$$

El módulo de elasticidad del tubo es calculado transformando la propiedad elástica de la lámina en el eje principal material, encontrado en la Tabla 1, en un eje principal laminado.

**Tabla 1 – Propiedades de una Sección de Arco de Tubo usando Análisis de Pandeo**

	Arco de Tubo FRP	Arco de Tubo de Hormigón FRP
Tipo de Carga	Carga Distribuida Uniformemente	Carga Concentrada en el Centro
Módulo de Elasticidad Ksi-(GPa)	1795 (12.37)	1827 (12.60)
Área in <sup>2</sup> - (cm <sup>2</sup> )	1.398 (9.0)	39.2 (252.8)
Momento de Inercia in <sup>4</sup> - (cm <sup>4</sup> )	8.717 (362.8)	53.75 (2,237)

10

Propiedad elástica en el Eje Principal Material

$$Q_{12} = \begin{bmatrix} \frac{E_1}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} & \frac{\nu_{12} \cdot E_1}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} & 0 \\ \frac{\nu_{21} \cdot E_2}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} & \frac{E_2}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Matriz de Transformación

$$T = \begin{bmatrix} m^2 & n^2 & -2 \cdot m \cdot n \\ n^2 & m^2 & 2 \cdot m \cdot n \\ m \cdot n & -m \cdot n & m^2 - n^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

15 Propiedad Elástica en Laminado Principal

$$Q_{xy} = T^{-1} \cdot Q_{12} \cdot R \cdot T \cdot R^{-1} \quad (5)$$

Eje

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Donde  $m = \cos(\theta)$ , and  $n = \sin(\theta)$ . Una vez llevado a cabo el análisis estructural, se selecciona una sección crítica y se obtiene el máximo momento desarrollado. La sección crítica se selecciona en base a la máxima fuerza de flexión dado que la fuerza axial transferida a la cubierta es mínima y es sostenida por la presión hidrostática.

- 5 Después de evaluar las fuerzas internas, la capacidad de la cubierta FRP es verificado contra el esfuerzo desarrollado. Se asume un análisis de la lámina delgada. Las propiedades del compuesto se obtienen usando la teoría clásica laminada para material ortotrópico. Los esfuerzos de flexión ( $\sigma_b$ ), tensiones axiales  $\sigma_a$ , y tensiones de corte  $\sigma_v$  resultantes de las fuerzas internas desarrolladas se miden usando una simple teoría elástica como sigue:

$$\sigma_b = \left( \frac{Mc}{I_{shell}} \right) \quad (7)$$

$$\sigma_a = \left( \frac{P}{A_{shell}} \right) \quad (8)$$

$$\sigma_v = \left( \frac{VQ}{2I_{shell}t} \right) \quad (9)$$

- 10 Donde M, P y V son el momento aplicado, y las fuerzas axial y de corte, respectivamente; c es la distancia desde el eje neutral hasta la localización donde se mide la tensión;  $A_{shell}$  e  $I_{shell}$  son respectivamente el área y el momento de inercia del tubo FRP; t es el grosor de la cubierta; y Q es el primer momento de inercia.

Las tensiones de momento y axial están superpuestas. Las tensiones superpuestas junto con las tensiones de corte son transformadas desde el eje laminado principal a eje material principal y luego verificadas contra fallos usando la Teoría del Esfuerzo Máximo. El cálculo de esfuerzo y verificación de fallo se hace simultáneamente a lo largo de la circunferencia de la cubierta.

- 15

Las variables usadas en el análisis se proporcionan en la Tabla (2), y los cálculos son automatizados usando un programa informático.

Tabla (2) – Definición de Variables usadas en el análisis Momento-Curvatura

PROPIEDADES DEL TUBO FRP	Variable	Definición de variables
	E1	Módulo de pliegue en dirección de la fibra
	E2	Módulo de pliegue en dirección de la matriz
	G12	Módulo de capas de corte
	$\nu_{12}$	Coefficiente de Poisson del pliegue para carga en dirección de la fibra
	f1	Fuerza de pliegue en dirección de la fibra
	f2	Fuerza de pliegue en dirección de la matriz
	f12	Resistencia al corte del pliegue
	Ángulo de Pliegue	Arquitectura de la fibra
	Grosor de Pliegue	Grosor de cada pliegue

(continuación)

<b>PROPIEDADES DEL HORMIGÓN</b>	Ec	Módulo de Hormigón
	Vo	Coefficiente de Poisson del Hormigón
	f'c	Resistencia a la Compresión del Hormigón No Confinado
	eco	Máxima Tensión de Compresión del Hormigón
<b>FUERZAS INTERNAS</b>	P	Carga Axial Aplicada
	V	Fuerza de corte
	vs	Alcance del corte

- 5 El programa informático desarrollado para facilitar los cálculos numéricos para esta aplicación puede terminar ya sea cuando la primera capa experimenta un fallo en la dirección de la fibra, o cuando la cubierta ha demostrado ser adecuada para sostener las fuerzas aplicadas. Si la cubierta no puede resistir las tensiones desarrolladas, el programa informático genera: (1) el tipo de error (fallo en la fibra, fallo en la matriz o fallo en el corte), (2) el número de capa donde ha ocurrido el fallo, (3) la localización del fallo en ángulos con respecto a un eje vertical que pasa a través del centro y el cuadrante superior de la sección transversal, (4) y finalmente el coeficiente de resistencia definido como la resistencia final sobre la tensión aplicada; de lo contrario, el programa confirmaría que el diseño de la cobertura arqueada es adecuado.
- 10

Para el presente ejemplo ilustrativo, y usando los valores proporcionados en la Tabla (3) se encontró que la cobertura puede sostener el peso del hormigón húmedo.

Tabla 3 – Datos para el análisis de un arco de tubo hueco bajo hormigón húmedo.

Propiedades FRP

**Propiedades elásticas (psi)**

E1= [5.49e6; 2.47e6];

E2= [1.65e6; 2.47e6];

G12=[4.80e5; 8.77e5];

V12=[0.30; 0.40];

**Ángulos de pliegue (grados)**

ang=[+45,-45,+45,-45,+45,-45];

**Grosor de pliegue (pulgadas)**

thk=[0.0146; 0.0146; 0.0146; 0.0146; 0.0146; 0.0146];

**Resistencia del material (psi)**

Material #1

Material #2

Ft=[ 6.25e5 8.50e4 Tensado en dirección a la fibra

(continuación)

	8.81e3	8.54e3	Tensado perpendicular
	8.81e3	8.85e3];	Corte
Fc=[	6.25e5	8.50e4	Comp. en dirección a la fibra
	8.81e3	8.54e3	Comp. perpendicular
	8.81e3	8.85e3];	Corte

**Carga aplicada**

M=600; lb-in

P=0; lb

V=0; lb

**Propiedades de la sección transversal**

Radio del tubo interior = 3,5 (pulgadas)

2. Análisis de un Arco de Tubo de Hormigón FRP bajo una carga concentrada aplicada en el medio.

5 Se usa un método iterativo para calcular la carga concentrada máxima vertical en el medio que el arco de hormigón FRP puede soportar. El método iterativo incorpora el uso de dos programas informáticos numéricos : (1) un programa de momento-curvatura para calcular la capacidad de momento de una sección transversal de hormigón FRP y (2) un programa de análisis estructural que calcula las fuerzas internas desarrolladas basado en una carga y modelo de estructura determinados. En primer lugar se da un breve resumen de las variables de entrada y salida del momento-curvatura. Se describe en detalle un método iterativo adoptado para el análisis de los ejemplares de hormigón FRP. También se incluye un diagrama de flujo para ayudar en la comprensión del proceso iterativo.

10 En la tabla 4 se muestra los datos de entrada del modelo momento-curvatura, y las variables están definidas en la tabla 1.

Tabla 4

Datos de Entrada de Momento-Curvatura para Análisis de un Arco de Tubo de Hormigón FRP (ver Tabla 1 para Definición de Variables

E1	E2	G12	v12	f1	f2	f12
4.01e5	4.01e5	7.00e5	0.25	6.25e4	6.25e3	5.00e3

**Ángulos de capa (6 capas)**

45, -45, 45, -45, 45, -45

**Grosos de capa**

0.0146, 0.0146, 0.0146, 0.0146, 0.0146, 0.0146

**Propiedades del hormigón**

Ec	vo	fc	eco
4.90e6	0.20	6500.0	-.003

(continuación)

P	vs	vk
0.0	28.0	3.5
P	vs	vk

**Radio de la sección transversal = 3.5**

**Angulo para la salida de la tensión=180**

5 Todos los valores vienen dados en unidades británicas, psi, pulgadas, o 1b. El número de capas y el número de tipos de material se introducen a continuación. Las propiedades elásticas para cada material vienen dadas en filas. Le siguen la orientación del laminado de las capas, grosor y el número de referencia material de cada capa. El laminado de las capas y los materiales están separados por comas. A continuación se proporcionan las propiedades del hormigón: módulo inicial, coeficiente de Poisson inicial, resistencia sin confinar y deformación en tensión máxima para el hormigón no confinado. La fuerza axial, distancia de corte, indicador de corte, y constante de corte ( $v_k$ ) se listan a continuación. La distancia de corte se define como la distancia desde el apoyo hasta la carga aplicada más cercana para una prueba de flexión de cuatro puntos, o la distancia desde el soporte al centro de la viga para una prueba de flexión de tres puntos. La constante de corte ( $v_k$ ) es un parámetro usado para calcular el corte sostenido

10 por el núcleo de hormigón  $(V_c = v_k \cdot A_c \cdot \sqrt{f'_c})$  La ACI recomienda una ( $v_k$ ) entre 1.9 y 3.5 por unidad psi. El radio de la sección transversal se proporciona después. Finalmente, se dispone el ángulo para la salida de tensión. El ángulo se toma con respecto a un eje vertical que tiene como origen el centro de la sección transversal. La circunferencia axial y las tensiones de corte se obtienen como una función del momento y la carga de corte.

15 Se usa un proceso iterativo para determinar la carga concentrada que podría ser sostenida por el arco de tubo de hormigón FRP, como se describe a continuación. La entrada de fuerzas axial y de corte en el análisis de momento-curvatura se asume que es inicialmente cero y son generadas la capacidad de momento y rigidez secante de la sección transversal. El eje neutral en la capacidad de momento es extraído del análisis. El arco es analizado usando un programa de análisis estructural comercial que utiliza una serie de componentes de vigas rectas. El área,  $A$ , de la sección transversal se calcula con la suma de la cobertura FRP transformada,  $A_{shell}$ , y la sección de hormigón no agrietado,  $A_{cr}$ .

$$A = A_{cr} + A_{shell} \quad (10)$$

Donde

$$A_{shell} = (2\pi r \cdot t) \cdot n \quad (11)$$

25 y

$$A_{cr} = r^2 \cdot (\alpha - \text{sen}(\alpha) \cdot \cos(\alpha)) \quad (12)$$

30 Donde  $r$  es el radio de la sección transversal circular,  $\alpha$  se define como  $\text{arc\_cos}\left(\frac{r-c}{c}\right)$  y  $c$  es la distancia desde el centro de la sección transversal a el eje neutral en la capacidad de momento. Del mismo modo, el momento de inercia,  $I$ , es calculado con la suma de la inercia de cobertura transformada,  $I_{shell}$  y la inercia del hormigón no agrietado,  $I_{cr}$ .

$$I = I_{cr} + I_{shell} \quad (13)$$

$$I_{shell} = 2 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot t \quad (14)$$

$$I_{cr} = \frac{r^4}{4} \cdot (\alpha - \text{sen}(\alpha) \cdot \cos(\alpha) + 2 \cdot \text{sen}(\alpha)^3 \cdot \cos(\alpha)) \quad (15)$$

5 El módulo de elasticidad se calcula dividiendo la rigidez secante (EI) generada por el análisis del momento de curvatura por I. Una vez que se han calculado las propiedades del material, se aplica verticalmente en el centro de manera arbitraria una carga concentrada y se procede con el análisis estructural. El valor absoluto del momento máximo se compara con aquel generado por el análisis del momento de curvatura. La carga arbitraria en el centro se altera hasta que el momento máximo generado en el arco converge a la capacidad de momento de la sección transversal. Una vez se obtiene esto, la fuerza axial y de corte en la sección de máximo momento son reintroducidas en el programa de momento curvatura y son calculadas una nueva capacidad de momento y rigidez secante. Estos valores son usados nuevamente en el programa de análisis estructural y se calculan nuevas fuerzas axiales y de corte. El proceso se repite varias veces hasta que el cambio en las fuerzas axiales y de corte es suficientemente pequeño. En la Figura 20 se muestra un diagrama de flujo que ilustra el método iterativo.

10 Después de ejecutar el método iterativo, se encontró que el arco de hormigón FRP tenía una capacidad de momento de 40.3 ft-kip (54.6 m-kN) y una rigidez secante correspondiente de 95000 ksi (655 GPa) . La última carga vertical aplicada en el medio del arco resultó ser igual a 27 kips (12,272 kg).

### 15 3. Análisis de pandeo para un Arco Tubular de Hormigón FRP

El tubo arqueado FRP es verificado contra pandeo global bajo dos cargas:

1. Arco de tubo FRP bajo el peso de hormigón húmedo
2. Arco de tubo de hormigón FRP bajo una carga concentrada aplicada en el centro

20 Para mayor comodidad, puede ser usada una computadora para acelerar los cálculos. Usando trabajo virtual para material lineal elástico, el siguiente análisis minimiza la energía potencial funcional necesaria.

Ecuación Potencial de Energía:

$$\Pi = \frac{1}{2} \times \int_L EI \cdot \left( \frac{d^2 v}{dx^2} \right)^2 \cdot dx + \frac{1}{2} \times \int_L EA \cdot \left( \frac{du}{dx} \right)^2 \cdot dx - \frac{P}{2} \times \int_L \left( \frac{dv}{dx} \right)^2 \cdot dx - \int_L q(x) \cdot v(x) \cdot dx$$

25 Donde EI es la rigidez de flexión, EA es la rigidez axial, PP es la carga de pandeo crítica, q(x) es la carga distribuida en el elemento, y v(x) es un conjunto de funciones de elemento de forma de viga cúbica, como se muestra en la Fig. 21. Las funciones de forma se definen como sigue:

$$N_1 = \left[ 1 - 3\left(\frac{x}{L}\right)^2 + 2\left(\frac{x}{L}\right)^3 \right] \quad (16)$$

$$N_2 = x \cdot \left[ 1 - \left(\frac{x}{L}\right) \right]^2 \quad (17)$$

$$N_3 = 3 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^3 \quad (18)$$

$$N_4 = x \cdot \left[ \left(\frac{x}{L}\right)^2 - \left(\frac{x}{L}\right) \right] \quad (19)$$

La tensión axial puede ser descuidada y la carga distribuida  $q(x)$  es eliminada del análisis.

La matriz de rigidez elástica ( $K_e$ ) y geométrica ( $K_g$ ) es deducida minimizando la ecuación de energía potencial e igualándola a cero.

$$K_e = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 12\frac{EI}{L^3} & 6\frac{EI}{L^2} & 0 & -12\frac{EI}{L^3} & 6\frac{EI}{L^2} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -12\frac{EI}{L^3} & -6\frac{EI}{L^2} & 0 & 12\frac{EI}{L^3} & -6\frac{EI}{L^2} \\ 0 & 6\frac{EI}{L^2} & 2\frac{EI}{L} & 0 & -6\frac{EI}{L^2} & 2\frac{EI}{L} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$K_g = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{6}{5L} & \frac{1}{10} & 0 & -\frac{6}{5L} & \frac{1}{10} \\ 0 & \frac{1}{10} & \frac{2L}{15} & 0 & -\frac{1}{10} & -\frac{L}{30} \\ 0 & \frac{1}{10} & \frac{15}{10} & 0 & -\frac{1}{10} & -\frac{30}{10} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{6}{5L} & -\frac{1}{10} & 0 & \frac{6}{5L} & -\frac{1}{10} \\ 0 & -\frac{1}{10} & -\frac{L}{30} & 0 & \frac{1}{10} & \frac{10}{15} \\ 0 & \frac{1}{10} & -\frac{L}{30} & 0 & -\frac{1}{10} & \frac{2L}{15} \end{bmatrix} \quad (21)$$

5

Se realiza el siguiente análisis (ver Figura 22): (1) montar la matriz global rígida,  $K_e$  (2) aplicar condiciones límite a la

matriz de rigidez  $K_{BC}$ , (3) calcular la desviación nodal  $\left( U = \frac{K_{BC}}{F} \right)$ , (4) calcular las fuerzas del elemento

(5) montar la matriz de rigidez geométrica,  $K_g$ , (6) reducir  $K_e$  y  $K_g$  para eliminar el desplazamiento fijo, y (7) resolver el problema generalizado de valor propio y calcular la carga crítica.

5 Para el análisis del problema ilustrativo en cuestión, se encontró que la carga de pandeo para el arco de tubo FRP sujeta a una carga uniformemente distribuida es 56 lb/in (1,002 kg/m) mientras que la carga de pandeo del arco de tubo de hormigón FRP sujeto a una carga concentrada en el centro es 75 kips (34,090 kg). Para calcular la carga de pandeo crítica debido al peso del hormigón húmedo, se aplica verticalmente una fuerza unitaria distribuida uniformemente en cada nódulo. Se encuentra que la carga de pandeo fue 56 lb/in (1,002 kg/m), que es mayor que el peso distribuido del hormigón húmedo, 46.75 lb/in. (836 kg/m), en un tubo FRP con un radio de 3.5 in. (89 mm). De igual manera, para calcular la carga de pandeo crítica de una carga aplicada verticalmente en el medio, se aplica en el medio una fuerza unitaria. Se encuentra que la carga de pandeo fue 75 kips (34,090 kg) mientras que la carga que va a ser soportada por el arco tubular de hormigón FRP encontrado anteriormente es de 27 kips (12,270 kg). Por lo tanto, el arco de tubo FRP usado en este ejemplo no estaría sujeto a pandeo global bajo los dos casos de carga.

Análisis de Pandeo del Tubo FRP Hueco en Pared Local.

15 El último tipo de análisis ilustrado el sistema de arcos de tubo FRP es pandeo local bajo una compresión axial. Se utilizan un conjunto de ecuaciones usando pandeo elástico de cobertura como un método simplificado aproximado:

$$z = 2 \cdot \left(\frac{L}{D}\right)^2 \cdot \left(\frac{D}{t}\right) \cdot \sqrt{1 - \nu^2} \quad (21)$$

si 
$$z \geq \frac{1.2 \cdot (D/t)^2}{C} \quad (22)$$

$$\sigma_{xc} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} \quad (23)$$

Tensión axial

$$\sigma_{ca} = 2 \frac{C \cdot E}{D/t} \quad (24)$$

Tensión de curvatura

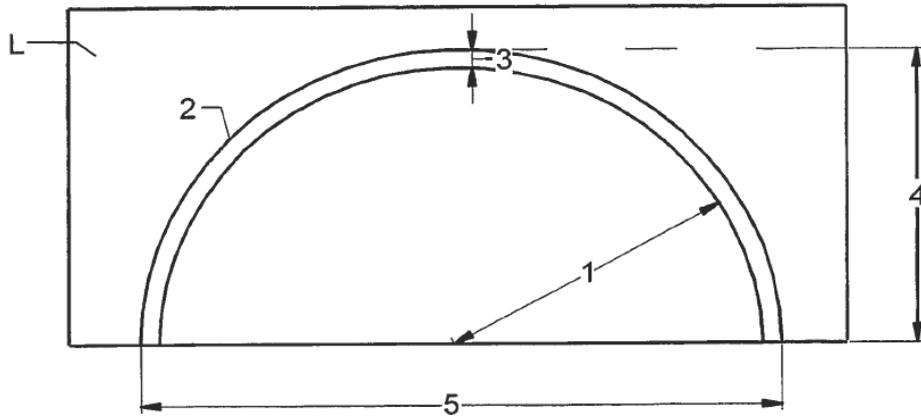
20 Donde  $L$  es la longitud del cilindro,  $D$  es la medida del diámetro de la sección transversal desde el centro del grosor de la cobertura,  $t$  es el grosor de la cobertura,  $r$  es el radio de giro,  $\nu$  y  $E$  el coeficiente de Poisson y el módulo elástico del material, respectivamente,  $C$  se toma como 0.0165.

25 Para el problema ilustrativo aquí mostrado, se encuentra que las tensiones desarrolladas resultantes del peso del hormigón húmedo no provocarían pandeo local en el tubo FRP. Las fuerzas de momento, 214 lb-ft (290.2 m-N) y axial, 468 lb (212.7 kg) usadas para el análisis de pandeo son las fuerzas máximas producidas en el arco, en cualquier localización dada, respectivamente, en lo que representa un acercamiento conservador.

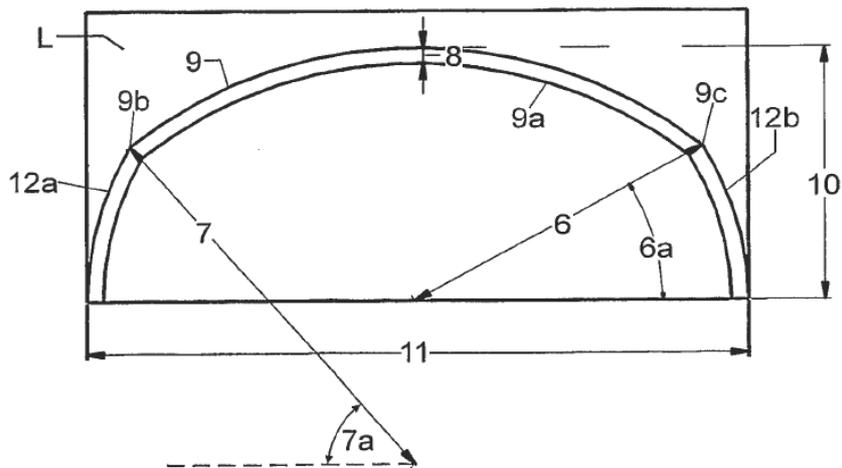
30 De conformidad con lo dispuesto en los estatutos de la patente, el principio y modo de operación de esta invención ha sido explicado e ilustrado en su realización preferente. Sin embargo, debe entenderse que esta invención puede ponerse en práctica de otro modo a como se ha explicado e ilustrado específicamente, sin apartarse del alcance de las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

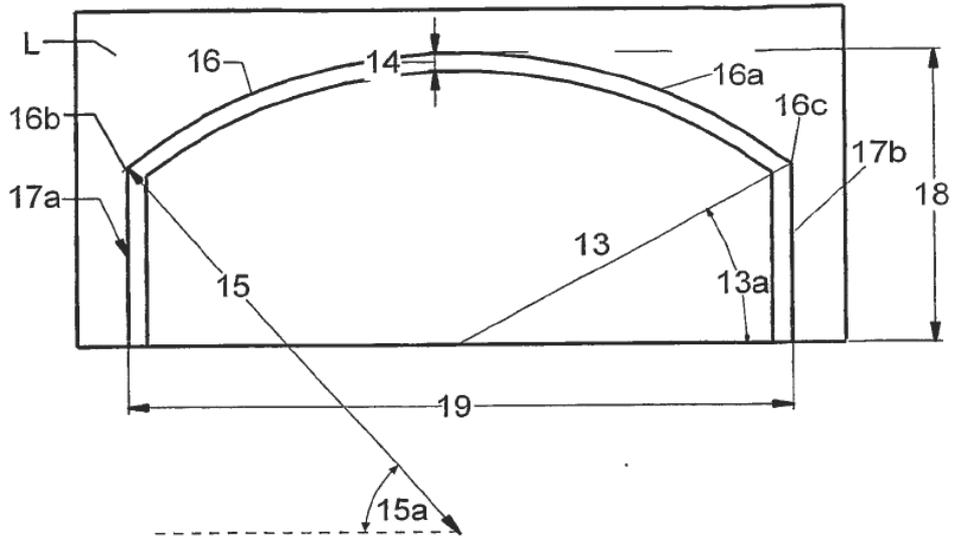
- 5 1. Un sistema de resistencia a la carga que comprende una pluralidad de elementos tubulares arqueados de soporte (2, 50a-50c, 60a-60c, 70a-70c, 80a-80c, 90a-90c, 100a-100c 110a-110c), estando formado cada elemento tubular de soporte por un material de polímero, estando cada elemento tubular de soporte substancialmente orientado en un plano vertical, donde:
- 10 los elementos tubulares de soporte forman colectivamente el sistema de resistencia a la carga, comprendiendo los elementos tubulares de soporte una pluralidad de elementos estructurales longitudinales parcialmente huecos, substancialmente paralelos, conectados operativamente por al menos un elemento conector (51), estando los elementos tubulares de soporte conectados operativamente por al menos uno o más elementos resistentes a fuerzas laterales (62a-62c, 71a, 71b, 72a, 72b, 73a, 73b, 85a, 85b, 92a-92c, 102a, 102b, 103a, 103b, 112), estando los elementos resistentes a fuerzas laterales posicionados en una dirección perpendicular al plano vertical de los elementos tubulares de soporte, siendo capaces los elementos resistentes a fuerzas laterales de transferir cargas verticales a los elementos tubulares de soporte y de proveer resistencia a carga lateral al sistema resistente a la carga, comprendiendo los elementos resistentes a fuerzas laterales al menos una lámina ondulada (92a-92c, 102a, 102b, 103a, 103b, 112), donde las ondulaciones de la lámina están dirigidas en una dirección perpendicular a la dirección vertical de los elementos tubulares de soporte, comprendiendo los elementos resistentes a fuerzas laterales al menos un material de metal, polímero reforzado o PVC extrudido, material policarbonado o composiciones de madera-plástico; caracterizados porque los elementos tubulares de soporte están formados de una fibra reforzada de material polímero, y porque están parcialmente rellenos al menos con un material de refuerzo seleccionado de un grupo que incluye hormigón no retráctil o expansivo, resina no retráctil o expansiva, y/o arena.
- 15 2. El sistema resistente a la carga de la reivindicación 1, caracterizado porque los elementos tubulares de soporte (2, 50a-50c, 60a-60c, 70a-70c, 80a-80c, 90a-90c, 100a-100c 110a-110c) están espaciados en una distancia calculada el uno del otro de la manera necesaria para soportar las cargas vivas y muertas proyectadas.
- 20 3. Un método para construir un sistema resistente a la carga que comprende: erigir elementos tubulares de soporte longitudinales huecos, substancialmente paralelos, al menos parcialmente curvos (2, 50a-50c, 60a-60c, 70a-70c, 80a-80c, 90a-90c, 100a-100c 110a-110c), formando cada elemento tubular de soporte un arco substancialmente orientado en un plano vertical; mientras que los elementos de soporte tubular son erigidos, apuntalar temporalmente y separar a una distancia prescrita uno del otro; cubrir al menos una porción de los elementos tubulares de soporte con paneles laterales resistentes a la fuerza planos (62a-62c, 71a, 71b, 72a, 72b, 73a, 73b, 85a, 85b) u ondulados (92a-92c, 102a, 102b, 103a, 103b, 112) en los cuales las ondulaciones están dirigidas de manera perpendicular al plano vertical de los elementos tubulares de soporte comenzando por el extremo inferior de los elementos tubulares de soporte; asegurar los paneles laterales resistentes a la fuerza a los soportes tubulares; caracterizado porque el método incluye formar elementos tubulares de soporte de un material polímero reforzado con fibra y al menos parcialmente rellenar los elementos tubulares de soporte con un material de refuerzo seleccionado de un grupo que incluye hormigón no retráctil o expansivo, resina no retráctil o expansiva, y/o arena.
- 25 4. El método de la reivindicación 3, que incluye además llenar los elementos tubulares de soporte (2, 50a-50c, 60a-60c, 70a-70c, 80a-80c, 90a-90c, 100a-100c 110a-110c) con un material adecuado de refuerzo a través de al menos una abertura (52, 76a-76c, 105a-105c) cercana a una corona de los elementos tubulares de soporte; y posteriormente situar un elemento de sujeción en al menos un panel lateral resistente a la fuerza sobre las aberturas en las coronas de los elementos tubulares de soporte.
- 30 5. El método de la reivindicación 3, que incluye además un primer montaje de una pluralidad de secciones cortas de arco (9a, 12a, 12b) en un elemento estructural curvado hueco más largo (9).
- 35 40 45



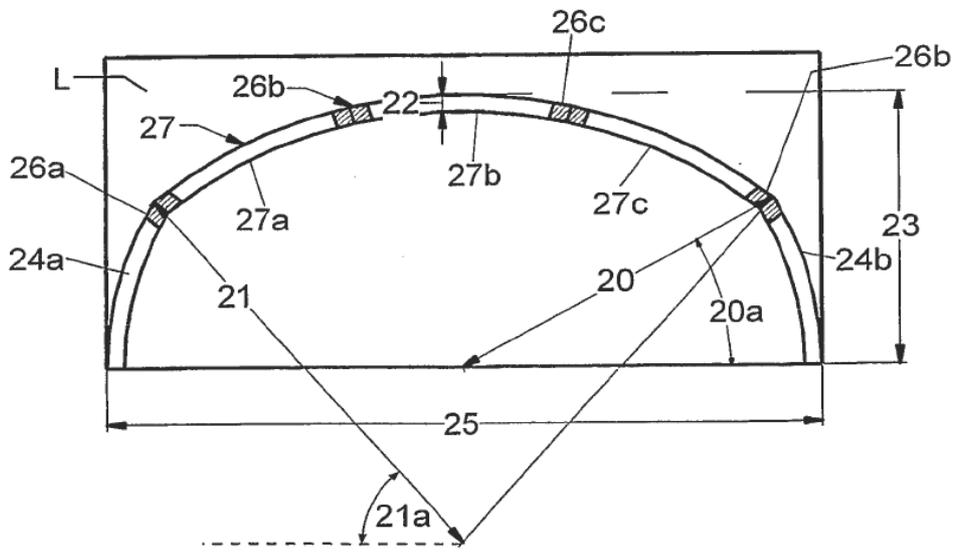
—FIG. 1



—FIG. 2



—FIG. 3



—FIG. 4

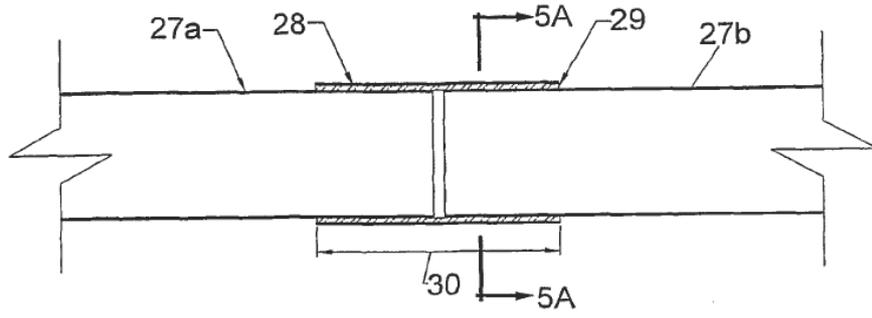


FIG. 5

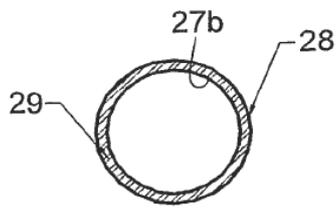


FIG. 5A

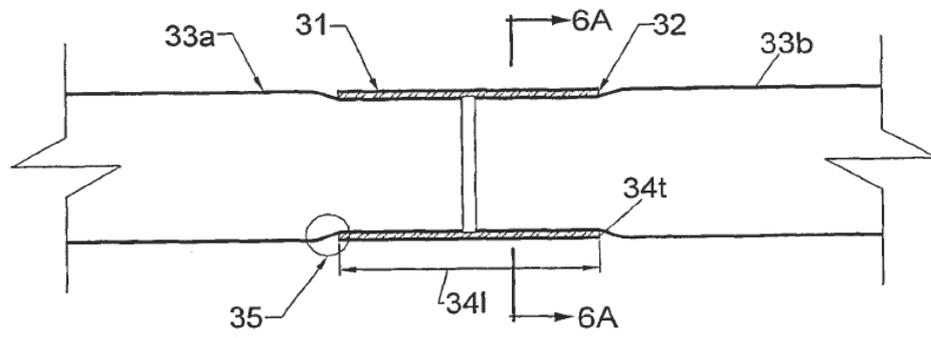


FIG. 6

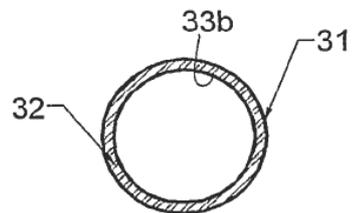
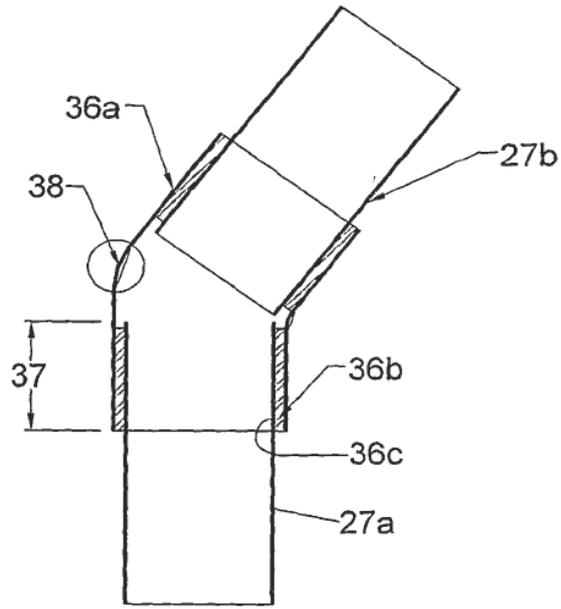
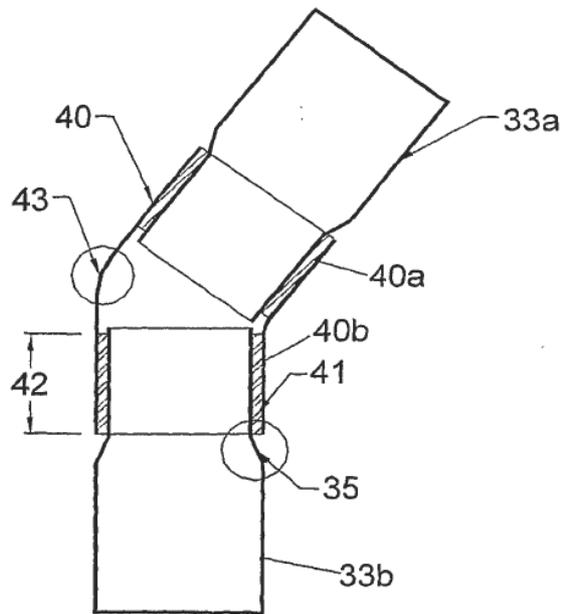


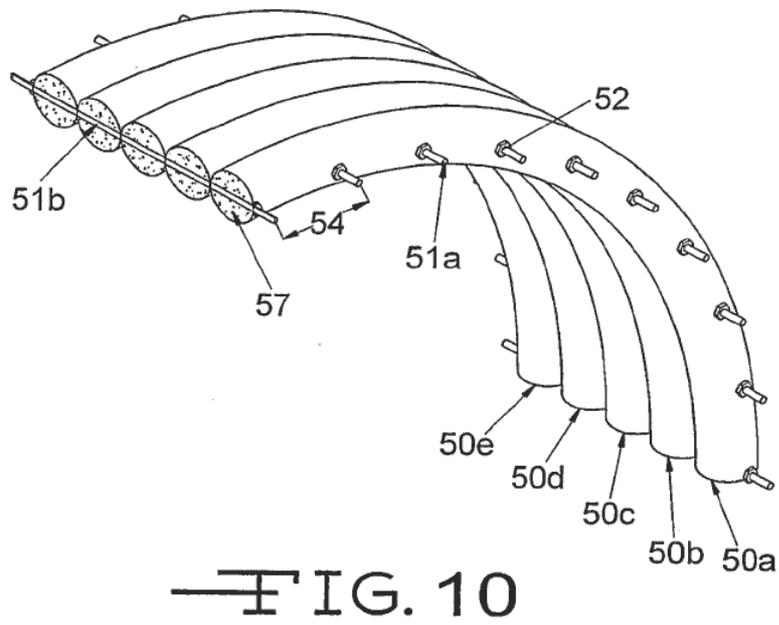
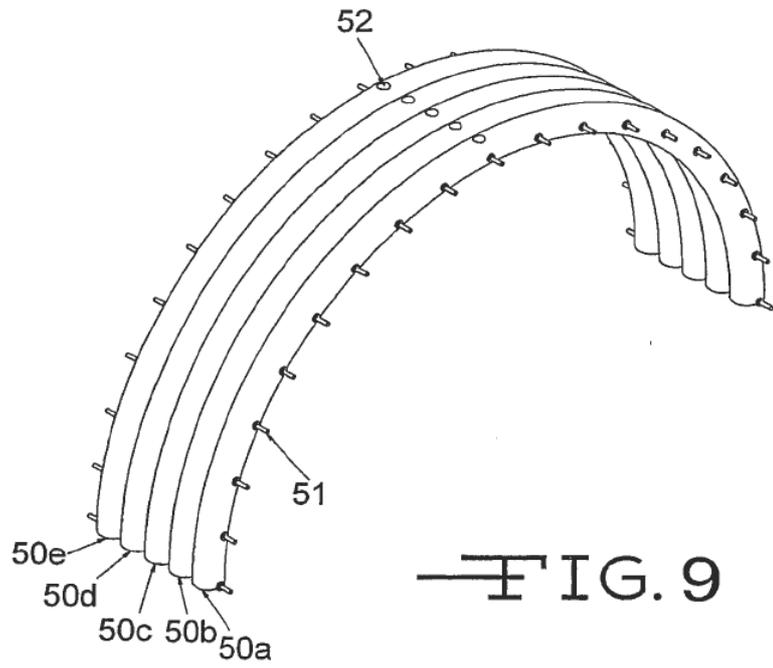
FIG. 6A



—FIG. 7



—FIG. 8



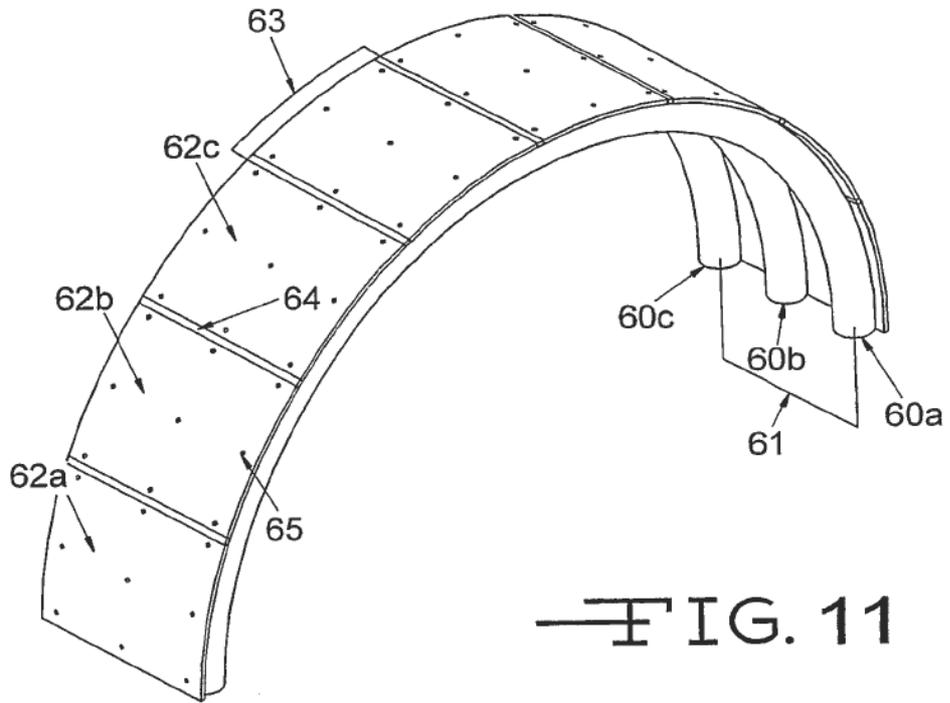


FIG. 11

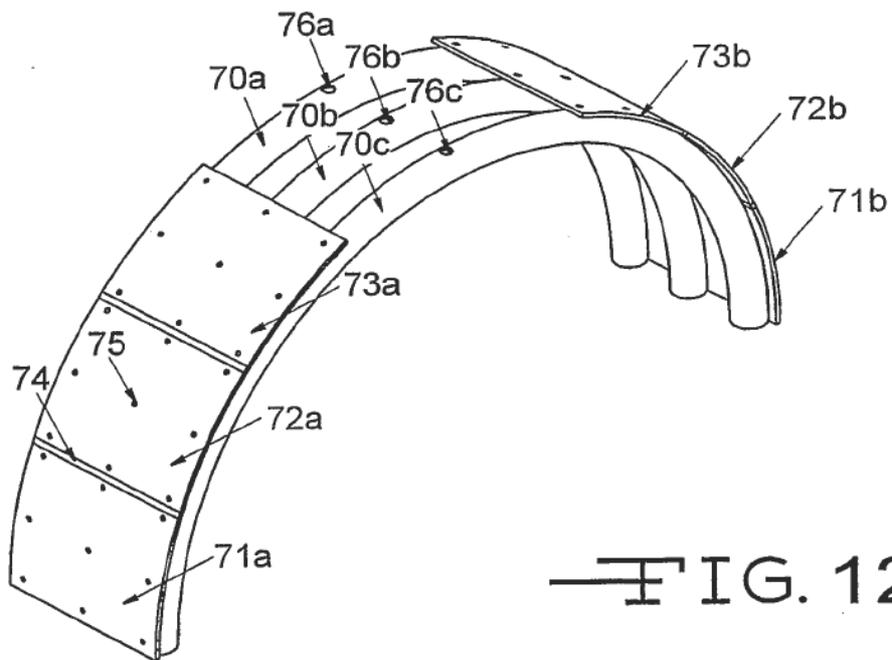


FIG. 12

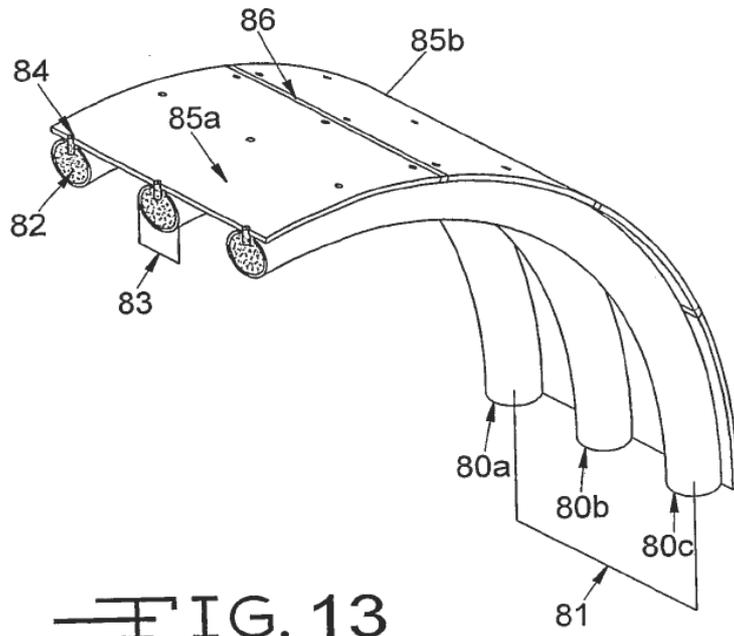


FIG. 13

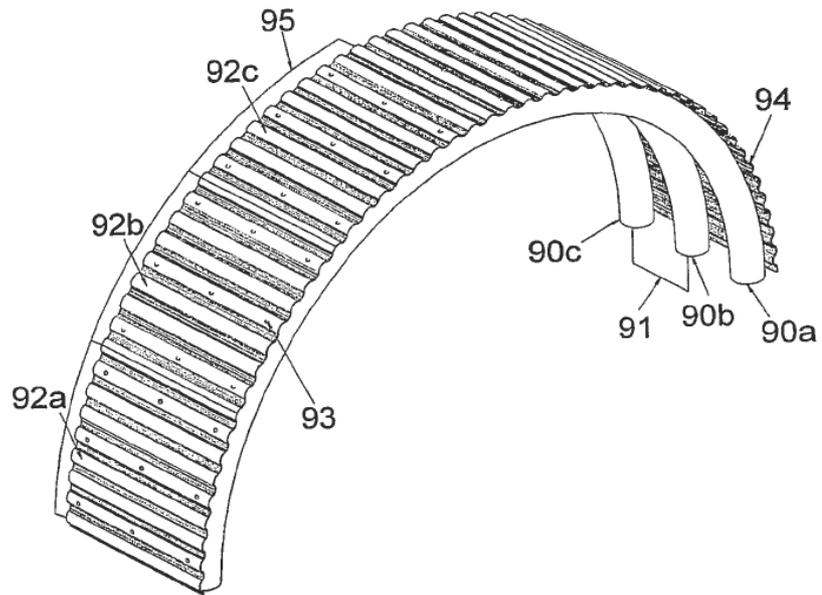


FIG. 14

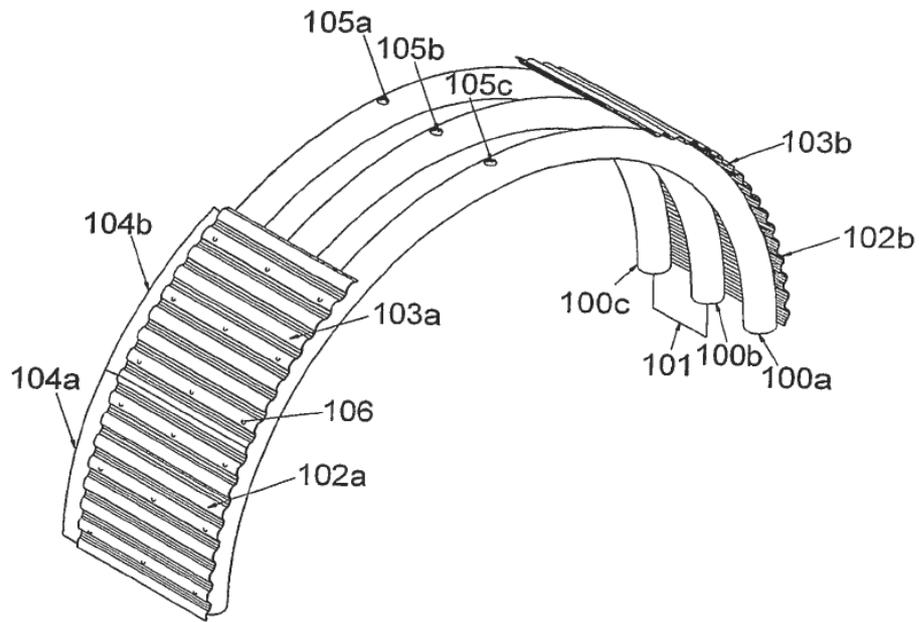


FIG. 15

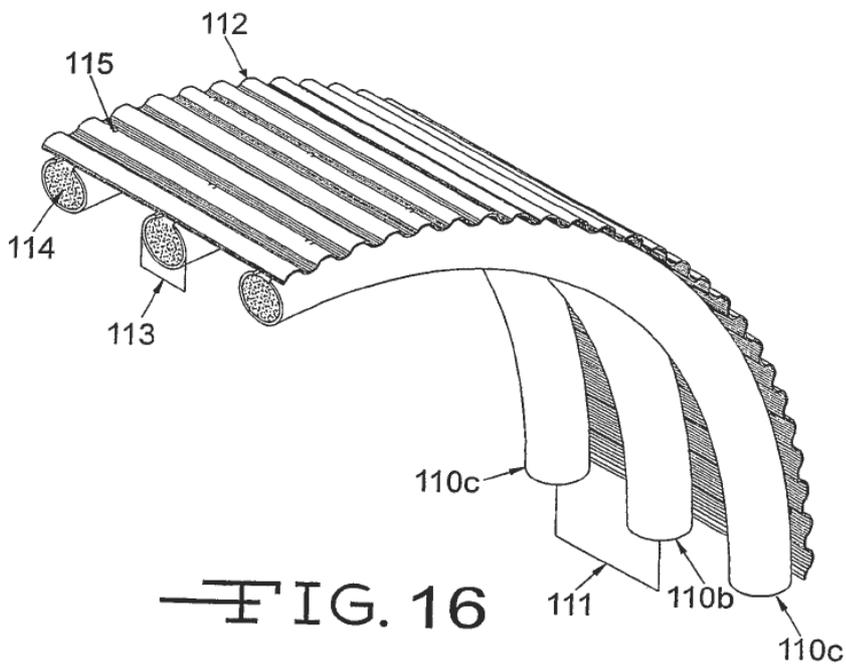


FIG. 16

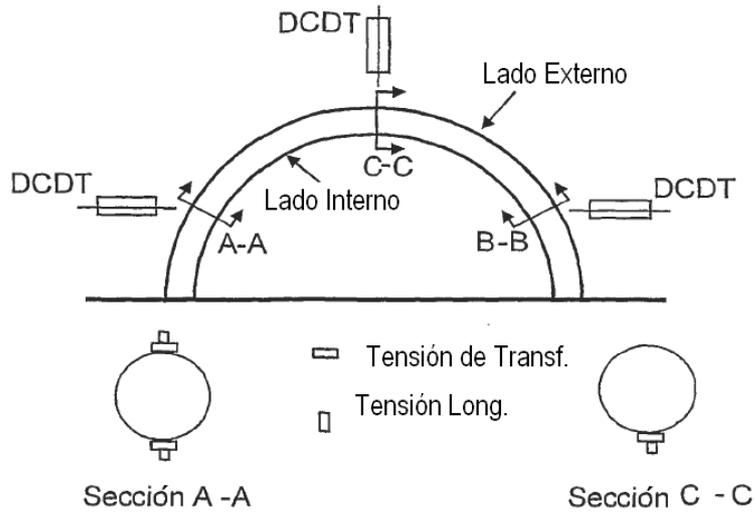


FIG. 17

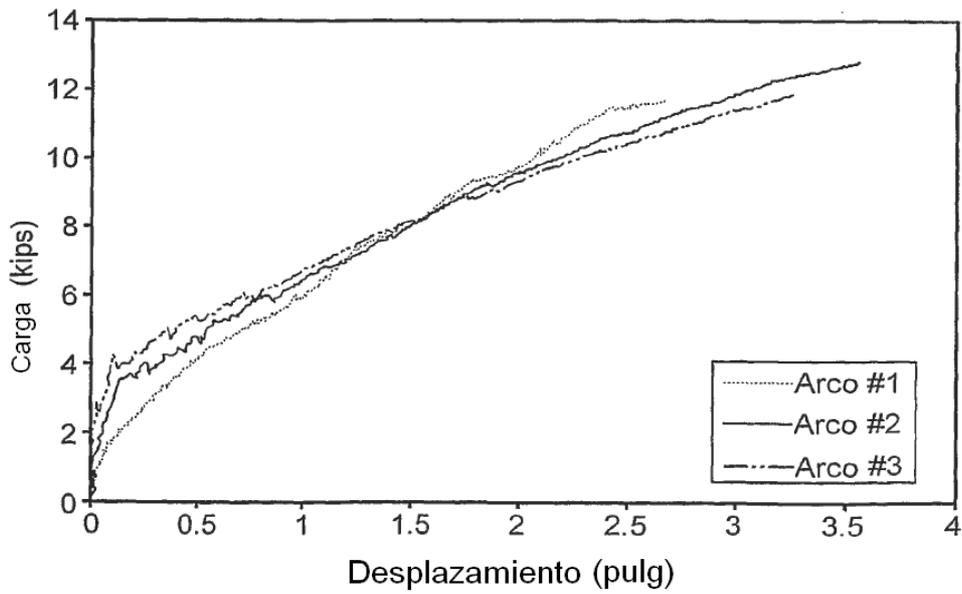


FIG. 18