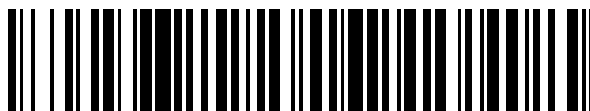


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 752 173**

51 Int. Cl.:

E04H 12/12	(2006.01)
B29C 70/02	(2006.01)
E04H 12/34	(2006.01)
F03D 13/20	(2006.01)
E04H 12/16	(2006.01)
E04H 12/02	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.03.2015 PCT/US2015/018256**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.09.2015 WO15131174**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.03.2015 E 15755461 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2019 EP 3111022**

54 Título: **Torre híbrida de hormigón-material compuesto para una turbina eólica**

30 Prioridad:

28.02.2014 US 201461945942 P

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

03.04.2020

73 Titular/es:

**UNIVERSITY OF MAINE SYSTEM BOARD OF TRUSTEES (100.0%)
15 Estabrooke Drive
Orono, ME 04469, US**

72 Inventor/es:

**VISELLI, ANTHONY M. y
DAGHER, HABIB J.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 752 173 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

Torre híbrida de hormigón-material compuesto para una turbina eólica.

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

5 Esta solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud Provisional de los Estados Unidos Num.61/945.942 presentada el 28 de febrero de 2014.

Antecedentes de la invención

Esta invención se refiere en general a torres de turbinas eólicas. En concreto, esta invención se refiere a una torre de turbina eólica mejorada que tiene una construcción híbrida de hormigón-material compuesto y un método para fabricar dicha torre híbrida de hormigón-material compuesto.

10 Se conocen una variedad de torres de turbinas eólicas convencionales, y cada una tiene limitaciones, incluyendo la dificultad para levantar torres más altas de aproximadamente 80m. Las torres de acero tubular, por ejemplo, también están limitadas normalmente a diámetros de aproximadamente 4,6m, de modo que se puedan trasladar en camión. Aunque se han construido torres que tienen alturas de buje mayores de aproximadamente 80m, dichas torres altas son caras y muy difíciles de construir y levantar utilizando métodos de construcción convencionales. Por ejemplo, la altura, el diámetro y el peso de las secciones de torre de acero tubular requeridas para torres de más de
15 aproximadamente 80m de altura, no solo son difíciles de fabricar, sino que también son muy difíciles o imposibles de trasladar de una localización de fabricación a un lugar de construcción de torres. Además, dichas secciones de torre de acero tubular serían difíciles o imposibles de elevar a su ubicación utilizando grúas convencionales a alturas de 80m y mayores.

20 Otros tipos convencionales de torres de turbinas eólicas incluyen torres de armazón espacial o de celosía, también formadas normalmente de acero, torres de hormigón postensado, normalmente ensambladas a partir de paneles y torres híbridas de acero-hormigón, aunque cada una tiene desventajas. Una torre de celosía requiere volver a apretar los elementos de sujeción a lo largo de su vida, requiere mucho trabajo levantar, crea una percha indeseada para las aves y es difícil de escalar. Los paneles de una torre de hormigón postensado son muy pesados y requieren una grúa pesada para levantarlos. Y las secciones de una torre híbrida de acero-hormigón requieren mucho trabajo para moldearse o fabricarse, y también son muy pesadas y requieren una grúa pesada para levantarlas. La
25 Publicación de Patente de Estados Unidos No. 2011/239564 proporciona una sección de material compuesto que incluye una disposición concéntrica de laminados interiores y exteriores que tienen un intersticio entre ellos. La Publicación de Patente Europea No. 1876316 proporciona una torre modular prefabricada del tipo utilizado como soporte para generadores eólicos y otras aplicaciones. La Publicación de Patente de Estados Unidos No. 2011/138704 proporciona una torre, que puede usarse para una turbina eólica, incluyendo la torre al menos una sección de torre de hormigón que tiene una pluralidad de cables tensores. La Publicación de Patente Europea No. 2199469 proporciona una cimentación para permitir el anclaje de una torre de turbina eólica a la misma por medio de pernos pasantes reemplazables.

35 Por lo tanto, sigue existiendo una necesidad de proporcionar una torre de turbina eólica mejorada que sea ligera, duradera, capaz de levantarse a alturas mayores que las torres de turbina eólica convencionales, y un método mejorado de fabricación de dicha torre.

Resumen de la invención

40 Esta invención se refiere a una torre de turbina eólica mejorada y a un método para fabricar dicha torre. En un modo de realización, la torre de turbina eólica incluye una pluralidad de secciones de torre alineadas axialmente y conectadas entre sí. Cada sección de torre incluye una pared interior que tiene una forma cilíndrica cónica colocada de manera concéntrica dentro de una pared exterior que tiene una forma cilíndrica cónica. Se define un espacio anular entre la pared interior y la pared exterior, y se dispone una capa de hormigón dentro del espacio anular. Una pluralidad de cables de postensado se extiende longitudinalmente dentro del espacio anular o fuera de la pared
45 exterior, de modo que una primera de las secciones de la torre está conectada a una segunda de las secciones de la torre por una pluralidad de los cables de postensado.

Un método para formar la torre de turbina eólica mejorada incluye formar una cimentación, formar una pluralidad de paredes exteriores que tengan una forma cilíndrica cónica, formar una pluralidad de paredes interiores que tengan una forma cilíndrica cónica y unir cada pared interior dentro de una de las paredes exteriores para definir una pluralidad de cubiertas de modo que se defina un espacio anular entre la pared interior y la pared exterior de cada cubierta, y cada cubierta tenga un primer extremo y un segundo extremo. El primer extremo de la primera de las cubiertas está montado en la cimentación. Los tubos alargados que definen los canales de cable están dispuestos longitudinalmente dentro del espacio anular. El hormigón húmedo se introduce en el espacio anular de la primera de las cubiertas. Después de la curación del hormigón, se extiende una pluralidad de cables de postensado a través de los tubos alargados y entre la cimentación y el segundo extremo de la primera de las cubiertas. Se aplica tensión a la pluralidad de cables de postensado para conectar la primera de las cubiertas a la cimentación.

Otras ventajas de la invención resultarán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la siguiente descripción detallada, cuando se lea teniendo en cuenta los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

- 5 La figura 1 es una vista en alzado, parcialmente en sección transversal, de un primer modo de realización de una torre de turbina eólica mejorada de acuerdo con esta invención.
- La figura 2 es una vista en sección transversal de una sección de torre tomada a lo largo de la línea 2-2 de la figura 1.
- La figura 3 es una vista en sección transversal de la sección de torre tomada a lo largo de la línea 3-3 de la figura 1.
- 10 La figura 4 es una vista en alzado de la superficie externa de la pared interior de la sección de torre ilustrada en la figura 3, que muestra miembros de transferencia de cizallamiento formados sobre la misma.
- La figura 5 es una vista en alzado en sección transversal de la superficie interna de la pared exterior de la sección de torre ilustrada en la figura 3, que muestra miembros de transferencia de cizallamiento formados sobre la misma.
- La figura 6 es una vista en planta de la cimentación ilustrada en la figura 1.
- La figura 7 es una vista en sección transversal de la cimentación tomada a lo largo de la línea 7-7 de la figura 6.
- 15 La figura 8 es una vista en alzado de un segundo modo de realización de la torre de turbina eólica mejorada de acuerdo con esta invención.
- La figura 9 es una vista en alzado de un tercer modo de realización de la torre de turbina eólica mejorada de acuerdo con esta invención.
- La figura 10 es una vista en planta de una sección de torre eólica achatada en una plataforma de camión.
- 20 La figura 11 es una vista en alzado, parcialmente en sección transversal, de la sección de torre más inferior de la torre de turbina eólica mejorada ilustrada en la figura 1, mostrada durante el proceso de fabricación.
- La figura 12 es una vista en alzado ampliada en sección transversal de una porción de la sección de torre más inferior ilustrada en la figura 11, mostrada de una forma completa.

Descripción detallada de la invención

- 25 La presente invención se describirá ahora haciendo referencia ocasional a los modos de realización específicos de la invención. Sin embargo, esta invención puede realizarse de diferentes formas y no ha de interpretarse como limitada a los modos de realización establecidos en el presente documento. Por el contrario, estos modos de realización se proporcionan de modo que esta divulgación sea exhaustiva y completa, y transmitirá completamente el alcance de la invención a los expertos en la técnica.
- 30 Como se utiliza en el presente documento, el término altura del buje se define como la altura de una torre de turbina eólica, como la torre 12 de turbina eólica, medida desde el suelo G hasta el eje A1 central del buje 18.
- Haciendo referencia ahora a las figuras 1 a 5, se muestra un primer modo de realización de una torre de turbina eólica mejorada en 12. La torre 12 de turbina eólica se muestra levantada, unida a una cimentación 14 construida en el suelo G, y que soporta una turbina 16 eólica. La torre 12 de turbina eólica y la turbina 16 eólica unida definen un conjunto 10 de torre de turbina eólica.
- 35 En los modos de realización ilustrados en el presente documento, la turbina 16 eólica es una turbina eólica de eje horizontal. Como alternativa, la turbina 16 eólica puede ser una turbina eólica de eje vertical (no mostrada). El tamaño de la turbina 16 eólica variará en función del tamaño y la resistencia de la torre 12 de turbina eólica, las condiciones del viento en el lugar donde se levanta la torre 12 de turbina eólica y la potencia de salida deseada. Por ejemplo, la turbina 16 eólica puede tener una salida de aproximadamente 5MW. Como alternativa, la turbina 16 eólica puede tener una salida dentro del intervalo de aproximadamente 1MW a aproximadamente 10MW.
- 40 La turbina 16 eólica ilustrada es convencional e incluye un buje 18 giratorio. Al menos una pala 20 de rotor está acoplada a y se extiende hacia afuera desde el buje 18. El buje 18 está acoplado de manera giratoria a un generador eléctrico (no mostrado). El generador eléctrico se puede acoplar a través de un transformador (no mostrado) y al cable de alimentación (no mostrado), y a una red eléctrica (no mostrada). En el modo de realización ilustrado, el buje 18 tiene tres palas 20 de rotor. En otros modos de realización, el buje 18 puede tener más o menos de tres palas 20 de rotor. Una góndola 22 está unida a la turbina 16 eólica opuesta al buje 18. La góndola 22 puede estar unida a la torre 12 de turbina eólica mediante un adaptador o conector 24, como un conector de cojinete de guiñada de góndola de acero.
- 45

La torre 12 de turbina eólica tiene forma cilíndrica cónica. El diámetro de la torre 12 de turbina eólica se estrecha de un primer diámetro D1 en su base 25 a un segundo diámetro D2 más pequeño en su extremo 27 superior. Por ejemplo, la torre 12 de turbina eólica puede tener un primer diámetro D1 dentro del rango de aproximadamente 3m a aproximadamente 15m y un segundo diámetro D2 también dentro del intervalo de aproximadamente 3m a aproximadamente 15m. Se entenderá que la torre 12 de turbina eólica también puede tener diámetros D1 y D2 menores de aproximadamente 3m o mayores de aproximadamente 15m. Se entenderá que no se requiere la forma cilíndrica cónica ilustrada de la torre 12 de turbina eólica, y la torre 12 de turbina eólica puede tener otras formas. Por ejemplo, la torre 12 de turbina eólica puede no tener forma cónica; es decir, la torre 12 de turbina eólica puede tener una forma esencialmente cilíndrica. Además, la torre 12 de turbina eólica también puede tener un cono invertido de manera que el primer diámetro D1 sea más pequeño que el segundo diámetro D2; es decir, en donde la torre 12 de turbina eólica se estrecha desde el segundo diámetro D2 en su extremo 27 superior hasta el primer diámetro D1 más pequeño en su base 25.

La torre 12 de turbina eólica puede tener cualquier altura H1 deseada, como una altura dentro del intervalo de aproximadamente 117m a aproximadamente 197m, permitiendo de este modo que el conjunto 10 de torre de turbina eólica se construya a una altura H4 de buje mayor que la altura de buje de una torre de turbina eólica convencional; es decir, aproximadamente 80m. De manera significativa, el conjunto 10 de torre de turbina eólica puede construirse a una altura H4 de buje dentro del intervalo de aproximadamente 120m a aproximadamente 200m. Se entenderá que el conjunto 10 de torre de turbina eólica también puede tener una altura H4 de buje menor de aproximadamente 120m o mayor de aproximadamente 200m.

Como se describe en detalle a continuación, la torre 12 de turbina eólica se puede formar a partir de una o de múltiples secciones de torre. En el modo de realización ilustrado, la torre 12 de turbina eólica está formada a partir de cinco secciones 12a-12e de torre. Las primeras cuatro secciones de torre desde el suelo G hacia arriba, 12a-12d, respectivamente, tienen aproximadamente 30m de largo. La quinta sección 12e de torre tiene aproximadamente 27m de largo. Como alternativa, las secciones 12a-12e de torre pueden tener cualquier primer y segundo diámetros D1 y D2 deseados, y cualquier longitud o longitudes deseadas.

Como se muestra en la figura 1, cada una de las secciones 12b-12e de torre es más pequeña que la sección de torre inferior adyacente. El primer o diámetro de base de cada sección de la torre es igual al segundo o diámetro superior de la sección de torre sobre la cual está montada.

Como se muestra mejor en las figuras 2 a 5, cada sección 12b-12e de torre de la torre 12 de turbina eólica tiene forma cilíndrica cónica e incluye una pared o cubierta 26 de dos capas formada de un material compuesto. Las vistas en sección transversal de las figuras 2 y 3 están tomadas a través de la sección 12c de torre. Sin embargo, se entenderá que las otras secciones 12a, 12b, 12d y 12e de torre están construidas de manera idéntica. La cubierta 26 de dos capas incluye un primer revestimiento o pared 26a exterior y un segundo revestimiento o pared 26b interior. La pared 26b interior es más pequeña y está colocada concéntricamente dentro de la pared 26a exterior, de modo que se defina un espacio 28 anular entre una superficie externa de la pared 26b interior y una superficie interna de la pared 26a exterior. El espacio 28 anular puede tener cualquier anchura deseada, es decir, la distancia R radial entre la superficie externa de la pared 26b interior y la superficie interna de la pared 26a exterior. Por ejemplo, la distancia R radial puede ser cualquier distancia, como dentro del intervalo de aproximadamente 10cm a aproximadamente 30cm. Las paredes 26a y 26b exterior e interior, respectivamente, pueden formarse a partir de cualquier material compuesto deseado, como polímero reforzado con fibra (FRP). Se entenderá que la distancia R radial también puede ser menor de aproximadamente 10cm o mayor de aproximadamente 30cm.

Como se describe en detalle a continuación, las paredes 26a y 26b exterior e interior, se forman por separado. La pared 26b interior se inserta y se coloca concéntricamente dentro de la pared 26a exterior. Los elementos de fijación, como los elementos 30 de fijación roscados, uno de los cuales se muestra en la figura 2, se pueden usar para unir la pared interior 26b interior a la pared 26a exterior y para asegurar que la pared 26b interior esté uniformemente separada de la pared 26a exterior. Cuando se conectan por una pluralidad de elementos 30 de fijación, las paredes 26a y 26b exterior e interior definen la cubierta 26.

El hormigón 32 está dispuesto en el espacio 28 anular. El hormigón 32 incluye una pluralidad de tubos 34 que definen conductos o canales a través de los cuales se extienden barras o cables 36 de postensado.

La cubierta 26 funciona como el encofrado para el moldeado rápido de la capa de hormigón 32, como se describe en detalle a continuación. La cubierta 26 funciona como un exoesqueleto después de que la capa de hormigón 32 se ha curado, eliminando por tanto la necesidad de una armadura convencional para reforzar la capa de hormigón 32. Con la cubierta 26 como un exoesqueleto de refuerzo, y sin la necesidad de una armadura, no hay límite para el diámetro en el que se puede formar la cubierta 26. Las secciones 12a-12e de torre, y la torre 12 formada con ellas, requieren muy poco mantenimiento durante la vida útil de la torre, y no requieren pintado.

Como alternativa a los elementos 30 de fijación, los miembros 80 de separación pueden colocarse entre la pared 26b interior y la pared 26a exterior. En la figura 2 se muestra un miembro representativo de dicho miembro 80 de separación. El miembro 80 de separación se extiende entre la superficie externa de la pared 26b interior y la superficie interna de la pared 26b exterior para asegurar que la pared 26b interior esté uniformemente separada de

- la pared 26a exterior. Si se desea, el miembro 80 de separación puede estar unido a una o ambas de la pared 26b interior y la pared 26a exterior por cualquier medio deseado, tal como con adhesivo o elementos de fijación, como elementos de fijación roscados. En el modo de realización ilustrado, el miembro 80 de separación está formado de FRP pultrusionado y tiene una forma rectangular de sección transversal. Como alternativa, el miembro 80 de separación puede formarse a partir de cualquier material deseado por cualquier método de fabricación deseado, y puede tener otras formas.
- Haciendo referencia a la figura 3, una pluralidad de espárragos de transferencia 38 de cizallamiento, descritos a continuación en detalle, pueden extenderse longitudinalmente entre las secciones 12a-12e de torre adyacentes, y entre la cimentación 14 y la primera sección 12a de torre.
- La cimentación 14 se forma en el suelo G en una ubicación en la que se levantará la torre 12 de turbina eólica, como se muestra en las figuras 1, 6 y 7. La cimentación 14 está formada de hormigón armado que es moldeado en su lugar. Como se muestra en las figuras 6 y 7, la cimentación 14 incluye una base 40 anular. Un cuerpo 42 de cimentación esencialmente cilíndrico se extiende hacia arriba desde la cimentación 40 hasta una brida 44 de montaje que se extiende radialmente hacia dentro. La brida 44 de montaje define una superficie en la que se montará la sección 12a de torre más baja.
- En el modo de realización ilustrado, solo la brida 44 de montaje se extiende hacia arriba por encima del nivel del suelo. Al igual que las secciones 12a-12e de torre, la brida 44 de montaje incluye una pluralidad de canales 34a a través de los cuales se extenderán las barras o cables 36 de postensado. Una pluralidad de espárragos 38 de transferencia de cizallamiento están integrados en la brida 44 de montaje y se extienden hacia afuera (hacia arriba cuando se observa la figura 7), y perpendicularmente a una superficie superior de la brida 44 de montaje.
- El cuerpo 42 de cimentación puede tener una altura H2 dentro del intervalo de aproximadamente 1,2m a aproximadamente 3,5m. Se entenderá que la altura H2 del cuerpo 42 de cimentación también puede ser menor de aproximadamente 1,2m o mayor de aproximadamente 3,5m.
- El espacio definido por el cuerpo 42 de cimentación entre la base 40 y la brida 44 de montaje define un espacio o fosa 46 de acceso, y proporciona acceso a los canales 34a y los extremos terminales de los cables 36 de postensado que se extienden a través de ellos. La fosa 46 de acceso es lo suficientemente grande como para ubicar y operar equipos de elevación, y lo suficientemente grande como para que una persona entre y realice funciones de mantenimiento y reparación, como inspeccionar y supervisar la salud estructural de la cimentación 14, los canales 34a, los cables 36, la torre 12 de turbina eólica, y para ajustar la tensión de los cables 36 según se requiera.
- Haciendo referencia ahora a la figura 8, se muestra un segundo modo de realización de la torre de turbina eólica mejorada en 50. La torre 50 de turbina eólica es similar a la torre 12 de turbina eólica, está unida a la cimentación y soporta la turbina 16 eólica. El tamaño de la torre 50 de turbina eólica y sus partes componentes pueden ser los mismos que los descritos anteriormente para la torre 12 de turbina eólica.
- La torre 50 de turbina eólica ilustrada incluye una primera o porción 50a inferior y una segunda o porción 50b superior. La porción 50a inferior comprende aproximadamente 2/3 de la altura total de la torre 50 de turbina eólica y la porción 50b superior comprende aproximadamente 1/3 de la altura total de la torre 50 de turbina eólica. Como alternativa, la porción 50a inferior puede comprender más o menos de aproximadamente 2/3 de la altura de la torre 50 de turbina eólica y la porción 50b superior puede comprender más o menos de aproximadamente 1/3 de la altura de la torre 50 de turbina eólica.
- La porción 50a inferior se puede formar a partir de las secciones de torre 52a, 52b y 52c, de forma similar a las secciones 12a-12e de torre. Aunque la porción 50a inferior ilustrada tiene tres secciones 52a, 52b y 52c de torre, se entenderá que la porción 50a inferior puede construirse a partir de una sección de torre o más de tres secciones de torre.
- Para reducir su peso, la porción 50b superior puede formarse a partir de una cubierta 54 de sección de torre. La cubierta 54 de sección de torre es similar a las cubiertas 26 de sección de torre e incluye el espacio 28 anular. Cuando las cubiertas 26 o 54 de sección de torre se utilizan sin el hormigón 32, el espacio 28 anular puede rellenarse con un material de relleno ligero, como espuma de polímero o madera. Se puede formar una pluralidad de canales (no mostrados) en el material de relleno de espuma de polímero o madera a través de los cuales se pueden extender los cables 36 de postensado. Si la cubierta 54 de sección de torre se utiliza sin dicho material de relleno en el espacio 28 anular, se entenderá que se pueden montar miembros de guía adecuados (no mostrados) dentro del espacio 28 anular para colocar y guiar los cables 36 de postensado en el mismo. Aunque solo se muestra una cubierta 54 de sección de torre en el modo de realización ilustrado de la torre 50 de turbina eólica, se entenderá que la porción 50b superior puede estar formada por dos o más cubiertas 54 de sección de torre. Como alternativa, la porción 50b superior puede estar formada a partir de una sección de torre (no mostrada), similar a la cubierta 54 de sección de torre, pero que tenga solo una pared. En dicha sección de torre, los canales, como los definidos por los tubos 34 rígidos descritos a continuación, se extienden a lo largo y están unidos a una superficie interna de las secciones de torre que tienen una sola pared.

Haciendo referencia ahora a la figura 9, se muestra un tercer modo de realización de la torre de turbina eólica mejorada en 60. La torre 60 es similar a la torre 50 de turbina eólica y soporta la turbina 16 eólica. El tamaño de la torre 60 y sus partes componentes pueden ser los mismos que los descritos anteriormente para las torres 12 y 50.

5 La torre 60 ilustrada incluye una primera o porción 60a inferior, una segunda o porción 60b superior, pero difiere de la torre 50 de turbina eólica en su base. Como se muestra en la figura 9, se puede proporcionar un segundo modo de realización de la cimentación 70. La cimentación 70 es similar a la cimentación 14, está formada por hormigón armado que es moldeado en su lugar e incluye una base 72 anular. El cuerpo 74 de cimentación es cónico y se extiende hacia arriba desde la base 72. El cuerpo 74 de cimentación se estrecha desde un primer, diámetro mayor en la base 72 anular a un segundo, diámetro menor en su extremo 74a superior. Una superficie 76 superior del
10 cuerpo 74 de cimentación define una superficie de montaje en la que se montará la sección de torre más inferior de la porción 60a inferior. Un interior del cuerpo 74 de cimentación define una fosa 78 de acceso.

15 La porción 60a inferior se puede formar a partir de las secciones 62a y 62b de torre, similares a las secciones 52a, 52b y 52c de torre. Aunque la porción 60a inferior ilustrada tiene solo dos secciones 62a y 62b de torre, se entenderá que la porción 60a inferior puede construirse a partir de una sección de torre o más de dos secciones de torre. Para reducir su peso, la porción 60b superior puede formarse a partir de una o más cubiertas 64 de sección de torre, que pueden ser idénticas a la cubierta 54 de sección de torre de la torre 50 de turbina eólica.

20 El cuerpo 74 de cimentación puede tener una altura H3 dentro del intervalo de aproximadamente 3m a aproximadamente 15m. Se entenderá que la altura H3 del cuerpo 74 de cimentación también puede ser menor de aproximadamente 3m o mayor de aproximadamente 15m. Al formar el cuerpo 74 de cimentación a la altura H3, la sección 62a de torre más inferior de la porción 60a inferior será mucho más ligera que la sección 52a de torre más inferior de la torre 50 de turbina eólica en la figura 8.

Como alternativa, la torre 60 puede levantarse sobre la cimentación 14, pero incluye una sección de torre inferior, similar a la sección 50a inferior, pero formada de hormigón armado premoldeado.

25 Se describirá ahora un método de fabricación de la torre 12 de turbina eólica. En una primera etapa del método de fabricación de la torre 12 de turbina eólica, la cimentación 14, como se muestra en las figuras 1, 6 y 7 y se describió anteriormente, se forma a partir de hormigón armado que se moldea en su lugar utilizando encofrado convencional (no mostrado).

30 En una segunda etapa del método de fabricación de la torre 12 de turbina eólica, las paredes 26a exteriores y las paredes 26b interiores de cada sección 12b-12e de torre se forman y se unen entre sí con los elementos 30 de fijación para definir las cubiertas 26 mostradas en las figuras 2 a 5. La segunda etapa del método de fabricación de la torre 12 de turbina eólica puede realizarse antes, durante o después de la finalización de la primera etapa en donde se forma la cimentación 14.

35 Las paredes 26a exteriores y las paredes 26b interiores pueden formarse a partir de FRP en el lugar usando cualquier método deseado. Un método adecuado para formar las paredes 26a exteriores y las paredes 26b interiores es un proceso de fabricación de bobinado circunferencial de campo, como se describe en la página web de la Corporación Ershings: <http://www.ershigs.com>. Una vez formadas, cada pared 26b interior se coloca concéntricamente dentro de su pared 26a exterior correspondiente y las paredes 26a y 26b se unen entre sí con los elementos 30 de fijación para definir las cubiertas 26. Se entenderá que las paredes 26a y 26b se pueden formar en tamaños muy grandes, incluso con diámetros de 30m o más, y longitudes de 60m o más.

40 Los miembros de transferencia de cizallamiento pueden formarse en una o ambas de una superficie externa de la pared 26b interior, como se muestra en la figura 4, y una superficie interna de la pared 26a exterior, como se muestra en la figura 5. Como se muestra, los miembros de transferencia de cizallamiento pueden ser uno o ambos nervios o rebordes 82 y surcos 84 formados en la superficie externa de la pared 26b interior. Los miembros de transferencia de cizallamiento también pueden ser uno o ambos nervios o rebordes 88 y surcos 86 formados en la
45 superficie interna de la pared 26a exterior. Estos miembros de transferencia de cizallamiento promueven la transferencia de cizallamiento entre el hormigón 32 y cada una de la pared 26b interior y la pared 26a exterior, y eliminan la necesidad de un refuerzo de armadura de acero convencional en el hormigón 32, reduciendo de este modo el peso y el coste.

50 En los modos de realización ilustrados, los rebordes 82 y 88, y los surcos 84 y 86, se muestran esencialmente perpendiculares a un eje A2 de la pared 26b interior y de la pared 26a exterior. Como alternativa, los rebordes 82 y 88 y/o los surcos 84 y 86 pueden configurarse en un patrón repetitivo o disposición irregular de cualquier forma geométrica o combinación de formas deseadas (no mostradas), por ejemplo, un patrón hexagonal repetitivo (no mostrado), forma geométrica o combinación de formas (no mostrado), por ejemplo, un patrón hexagonal repetitivo (no mostrado).

55 Las paredes 26a exteriores y las paredes 26b interiores también pueden formarse en un lugar de fabricación alejado del lugar donde se levantará la torre 12 de turbina eólica. Dichas paredes 26a exteriores y paredes 26b interiores formadas de forma remota pueden transportarse al lugar donde se levantará la torre 12 de turbina eólica. Para transportar las paredes 26a y 26b exteriores e interiores, representadas por la pared 26a exterior en la figura 10, que

5 pueden tener diámetros dentro del intervalo de aproximadamente 3m a aproximadamente 15m o mayor, la pared 26a exterior puede achatarse; es decir, aplanarse en un achatamiento que tiene una forma de sección transversal elipsoide, de modo que pueda caber en una plataforma 90 de camión. La pared 26a exterior achatada puede estar asegurada a la plataforma 90 de camión en su estado achatado por cualquier medio, como con estacas 92 y/o correas 94. Se entenderá que el proceso de achatamiento temporal de la pared 26a exterior durante el transporte no dañará la pared 26a exterior, y que la pared 26a exterior volverá a su forma cilíndrica cuando se quiten las estacas 92 y/o las correas 94. Por tanto, al aplanar la pared 26a exterior de gran diámetro en forma achatada, puede caber en la plataforma 90 de camión y transportarse de forma segura al lugar donde se levantará la torre 12 de turbina eólica.

10 En una tercera etapa del método de fabricación de la torre 12 de turbina eólica, la cubierta 26 que define la sección 12a de torre más inferior se colocará sobre la cimentación 14, como se muestra en la figura 11. Como se muestra, la sección 12a de torre es colocada, como, por ejemplo, con una grúa (no mostrada), en la brida 44 de modo que los espárragos 38 de transferencia de cizallamiento se extiendan dentro del espacio 28 anular. Se puede usar cualquier grúa adecuada. De manera ventajosa, las secciones 12a-12e de torre relativamente ligeras pueden elevarse y colocarse con una grúa de torre automontante (no mostrada). Debido a que las secciones 12a-12e de torre todavía no incluyen la capa de hormigón 32, son relativamente ligeras, y no se necesita una grúa pesada para elevar y colocar las secciones 12a-12e de torre.

20 El interior de la sección 12a de torre puede estar arriostrado con un material de arriostramiento o apuntalamiento temporal, como se muestra en 96 en la figura 11. El material 96 de apuntalamiento puede ser cualquier material de apuntalamiento adecuado, como madera. Si se desea, el material 96 de apuntalamiento puede ser expansible. De manera adicional o como alternativa, la sección 12a de torre puede estar arriostrada y unida temporalmente a la cimentación 14 por una pluralidad de barras 98 de tensión temporales dispuestas dentro del espacio 28 anular.

25 Tubos 34 rígidos, como tubos de acero pueden estar dispuestos dentro del espacio 28 anular para definir los canales a través de los cuales se extenderán los cables 36 de postensado y las barras 98 de tensión temporales. Los tubos 34 rígidos que definen los canales pueden estar unidos tanto a la pared 26b interior como a la pared 26a exterior, uniendo de este modo la pared 26b interior a la pared 26a exterior. Como alternativa, los tubos 34 rígidos que definen los canales pueden montarse en la superficie externa de la pared 26a exterior antes de, o después de colocar la sección 12a de torre en la cimentación 14. También, los tubos 34 rígidos que definen los canales pueden montarse en la superficie interna de la pared 26b interior.

30 Una pluralidad de espárragos 38 de transferencia de cizallamiento se colocan en el espacio 28 anular en un extremo superior de la sección 12a de torre, de modo que una porción de los espárragos 38 se moldeará en el hormigón 32 que posteriormente se depositará en el espacio 28 anular.

35 En una cuarta etapa del método de fabricación de la torre 12 de turbina eólica, se deposita hormigón húmedo en el espacio 28 anular, como mediante bombeo. Como se muestra en la figura 11, el hormigón húmedo se puede bombear desde una fuente de hormigón, ilustrada de manera esquemática en 100, a través de una manguera 102 al espacio 28 anular hasta que el espacio 28 anular esté lleno de hormigón húmedo. Se deja curar el hormigón húmedo, definiendo así la capa de hormigón 32.

40 Cuando la capa de hormigón 32 en la sección 12a más inferior de la torre está curada, como se muestra mejor en la figura 12, se extiende una pluralidad de los cables 36 de postensado, como dos o más cables 36 de postensado, a través de algunos de los canales 34 entre un extremo superior de la sección 12a de torre y la brida 44 de la cimentación 14. Luego se aplica tensión a los cables 36, aplicando por tanto una fuerza de compresión entre la cimentación 14 y la sección 12a de torre.

45 Una vez que la capa de hormigón 32 está curada, la tercera etapa del método de fabricación de la torre 12 de turbina eólica se repetirá para cada una de las secciones restantes de la torre, como las secciones 12b-12e de torre. Si se desea, se puede aplicar sellador (no mostrado) entre la cimentación 14 y la sección 12a de torre, y entre las secciones 12b-12e de torre adyacentes.

50 Cuando la capa de hormigón 32 en cada una de las secciones 12b-12e de torre está curada, una pluralidad de los cables 36 de postensado, como dos o más cables 36 de postensado, se extienden a través de algunos de los canales 34 entre un extremo superior de la sección 12b-12e de torre curada y la brida 44 de la cimentación 14, y más allá a través de cada una de las secciones de torre entre la cimentación 14 y la sección de torre recién terminada. Luego se aplica tensión a los cables 36, aplicando por tanto una fuerza de compresión entre la cimentación 14 y la sección 12a de torre.

55 Después de que la porción de los cables 36 de postensado se extienda a través de los canales 34 de cada sección de torre 12a-12e, se puede quitar cualquier barra 98 de tensión temporal utilizada en la misma. Además, puede retirarse el material 96 de apuntalamiento.

Del mismo modo, cuando la capa de hormigón 32 en la sección 12a superior de la torre está curada, una porción de los cables 36 de postensado se extiende a través de los canales 34 abiertos restantes entre la brida 44 de la cimentación 14 y un extremo superior de la sección 12e de torre. Se aplica entonces tensión a los cables 36,

aplicando por tanto una fuerza de compresión entre la cimentación 14 y la sección 12e de torre, y completando el postensado de la torre 12 de turbina eólica.

5 El conector 24 se puede entonces unir a la torre 12 de turbina eólica, y la turbina 16 eólica, incluyendo el buje 18, las palas 20 del rotor y la góndola 22, se pueden unir al conector 24. Si se desea, las palas 20 del rotor pueden formarse en secciones, lo que las hace más fáciles de elevar y colocar. El conector 24 y los componentes de la turbina 16 eólica también se pueden elevar y colocar mediante la grúa de torre automontante descrita anteriormente.

10 Se describirá ahora un método de fabricación de la torre 50 de turbina eólica. La porción 50a inferior de la torre 50 de turbina eólica se puede formar de la misma manera que la torre 12 de turbina eólica, descrita anteriormente. Una vez que se forman las secciones 52a, 52b y 52c de torre de la porción 50a inferior, definiendo por tanto la porción 50a inferior, la cubierta 54 de la sección de torre puede colocarse en la porción 50a inferior completada y postensarse como se describió anteriormente. El conector 24 y la turbina 16 eólica pueden unirse entonces a la torre 50 de turbina eólica como se describió anteriormente.

15 Se describirá ahora un método de fabricación de la torre 60 de turbina eólica. En una primera etapa del método de fabricación de la torre 60 de turbina eólica, la cimentación 70, mostrada en la figura 9 y descrita anteriormente, se forma a partir de hormigón armado que se moldea en su lugar utilizando encofrado convencional (no mostrado) de la misma manera que la cimentación 14. La porción 60a inferior de la torre 60 de turbina eólica puede formarse de la misma manera que la porción 50a inferior de la torre 50 de turbina eólica, descrita anteriormente y montada en la cimentación 70. Una vez que las secciones 62a, 62b, y 62c de torre de la porción 60a inferior están formadas, definiendo de este modo la porción 60a inferior, la cubierta 64 de la sección de torre puede colocarse en la porción 60a inferior completa y postensarse como se describió anteriormente. El conector 24 y la turbina 16 eólica se pueden unir entonces a la torre 60 de turbina eólica como se describió anteriormente.

25 Los modos de realización de los métodos de fabricación de las torres 12, 50 y 60 de turbina eólica descritas en el presente documento proporcionan ventajas sobre los métodos convencionales de fabricación de torres de turbina eólica convencionales, y proporcionan una reducción del coste normalizado de la energía (LCOE). Dichas ventajas incluyen la eliminación de las limitaciones del transporte por carretera de las secciones 12a-12e de torre muy grandes, porque las secciones 12a-12e de torre pueden formarse en el lugar o de forma remota, aplanarse en forma achatada y transportarse en una plataforma de camión. La necesidad de grúas de elevación de carga pesada se elimina porque las secciones 12a-12e de torre se elevan primero y se colocan mientras están en forma de cubierta 26 relativamente ligera. Además, las secciones 12a-12e de torre relativamente ligeras se pueden elevar y colocar con la grúa de torre automontante descrita anteriormente. Las torres 12, 50 y 60 de turbina eólica requieren muy poco mantenimiento y tienen una vida útil más larga que las torres de acero convencionales. El uso de la combinación de los espárragos 38 de transferencia de cizallamiento y de los cables 36 de postensado elimina el requisito de pernos utilizados en torres de turbinas eólicas convencionales, y el mantenimiento y apretado periódico requerido de dichos pernos. Debido a que las paredes 26a exteriores y las paredes 26b interiores pueden formarse a partir de FRP en el lugar, se pueden crear trabajos en los lugares donde se levantarán las torres 12, 50 y 60 de turbina eólica. Además, el material compuesto utilizado para formar la cubierta 26 es mayor del acero en su capacidad para amortiguar las vibraciones, y se ha demostrado que las torres de turbina eólica construidas como se describió anteriormente en las descripciones de las torres 12, 50 y 60 de turbina eólica, tienen excelentes propiedades dinámicas de amortiguación estructural.

40 El principio y modo de funcionamiento de la invención se han descrito en sus modos de realización preferidos. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que la invención descrita en el presente documento puede llevarse a la práctica de forma diferente a la ilustrada y descrita específicamente sin apartarse de su alcance.

REIVINDICACIONES

1. Una torre (12) de turbina eólica que comprende:
una pluralidad de secciones (12a-12e) de torre axialmente alineadas y conectadas entre sí;
5 cada sección (12a-12e) de torre que incluye una pared (26b) interior colocada concéntricamente dentro de una pared (26a) exterior y que define un espacio (28) anular entre la pared (26b) interior y la pared (26a) exterior, y una capa de hormigón (32) dentro del espacio (28) anular; y
una pluralidad de cables (36) de postensado, los cables (36) de postensado que se extienden longitudinalmente uno dentro del espacio (28) anular y fuera de la pared (26a) exterior, de modo que una primera de las secciones (12a-12e) de torre está conectada a una segunda de las secciones (12a-12e) de torre por una pluralidad de cables (36) de postensado;
10 de postensado;
caracterizado porque:
los miembros (82, 84, 86, 88) de transferencia de cizallamiento se forman dentro del espacio (28) anular en una de, una superficie interna que se extiende longitudinalmente de la pared (26a) exterior y una superficie externa que se extiende longitudinalmente de la pared (26b) interior.
- 15 2. La torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en donde los miembros (82, 84, 86, 88) de transferencia de cizallamiento son uno de los rebordes y surcos.
3. La torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, que además incluye:
una tercera de las secciones (12a-12e) de torre que incluye una pared interior que tiene una forma cilíndrica cónica colocada concéntricamente dentro y unida a una pared (26a) exterior que tiene una forma cilíndrica cónica y que define un espacio (28) anular entre la pared interior y la pared (26a) exterior, no teniendo la tercera de las secciones (12a-12e) de torre material de relleno dentro del espacio (28) anular;
20 en donde los cables (36) de postensado se extienden longitudinalmente uno dentro del espacio (28) anular y fuera de la pared (26a) exterior de la tercera de las secciones (12a-12e) de torre, de modo que la tercera de las secciones (12a-12e) de torre está conectada a la primera y segunda de las secciones (12a-12e) de torre por la pluralidad de los cables (36) de postensado.
- 25 4. La torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye además una cimentación (14) formada en el suelo, en donde la primera de las secciones (12a-12e) de torre está colocada sobre la cimentación (14), la tercera de las secciones (12a-12e) de torre está conectada a la segunda de las secciones (12a-12e) de torre, y la pluralidad de los cables (36) de postensado conectan la cimentación (14), y la primera, la segunda y tercera secciones (12a-12e) de torre juntas, y en donde la cimentación (14) está formada de hormigón armado e incluye una base, un cuerpo esencialmente cilíndrico que se extiende hacia afuera desde la base y que define un espacio de acceso en el mismo, y una brida de montaje que se extiende hacia dentro radialmente formada en el cuerpo, definiendo la brida de montaje una superficie a la que está montada la primera de las secciones (12a-12e) de torre.
- 30 5. Un método para formar una torre (12) de turbina eólica, que comprende las etapas de:
- 35 formar una cimentación (14);
formar una pluralidad de paredes (26a) exteriores que tienen una forma cilíndrica cónica; y
formar una pluralidad de paredes (26b) interiores que tienen una forma cilíndrica cónica; caracterizado porque el método comprende, además:
40 unir cada pared (26b) interior dentro de una de las paredes (26a) exteriores con una pluralidad de elementos (30) de fijación que se extienden radialmente para definir una pluralidad de cubiertas (26) de modo que se defina un espacio (28) anular entre la pared (26b) interior y la pared (26a) exterior de cada cubierta (26), teniendo cada cubierta (26) un primer extremo y un segundo extremo; y
formar miembros (82, 84, 86, 88) de transferencia de cizallamiento dentro del espacio (28) anular en una de, una superficie interna que se extiende longitudinalmente de la pared (26a) exterior y una superficie externa que se extiende longitudinalmente de la pared (26b) interior;
45 montar el primer extremo de una primera de las cubiertas (26) en la cimentación (14);
disponer tubos (34) alargados que definen canales de cable longitudinalmente dentro del espacio (28) anular;
introducir hormigón húmedo en el espacio (28) anular de la primera de las cubiertas (26); y

- después de que el hormigón (32) está curado, extender una pluralidad de cables (36) de postensado a través de los tubos (34) alargados y entre la cimentación (14) y el segundo extremo de la primera de las cubiertas (26) y aplicar tensión a la pluralidad de cables (36) de postensado para conectar la primera de las cubiertas (26) a la cimentación (14).
- 5 6. El método para formar una torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 5, que incluye además:
 montar el primer extremo de una segunda de las cubiertas (26) en el segundo extremo de la primera de las cubiertas (26);
 disponer tubos alargados que definan canales de cable longitudinalmente dentro del espacio (28) anular de la segunda de las cubiertas (26);
- 10 introducir hormigón húmedo en el espacio (28) anular de la segunda de las cubiertas (26); y
 después de que el hormigón en el espacio (28) anular de la segunda de las cubiertas (26) está curado, extender una pluralidad de cables (36) de postensado a través de los tubos alargados y entre la cimentación (14) y el segundo extremo de la segunda de las cubiertas (26) y aplicar tensión a la pluralidad de cables (36) de postensado para conectar la segunda de las cubiertas (26) a la primera de las cubiertas (26) y a la cimentación (14).
- 15 7. El método para formar una torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 6, que incluye además:
 montar el primer extremo de una tercera de las cubiertas (26) en el segundo extremo de la segunda de las cubiertas (26), no teniendo la tercera de las cubiertas material de relleno dentro del espacio (28) anular;
 disponer tubos alargados que definan canales de cable longitudinalmente dentro del espacio (28) anular de la tercera de las cubiertas (26); y
- 20 extender una pluralidad de cables (36) de postensado entre la cimentación (14) y el segundo extremo de la tercera de las cubiertas (26) y aplicar tensión a la pluralidad de cables (36) de postensado para conectar la tercera de las cubiertas (26) a la primera y segunda de las cubiertas (26) y a la cimentación (14).
8. El método para formar una torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 7, que incluye además montar una turbina eólica en el segundo extremo de la tercera de las cubiertas (26).
- 25 9. El método para formar una torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el material de relleno no se introduce en el espacio (28) anular de la tercera de las cubiertas (26).
10. El método para formar una torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 5, que incluye además:
 formar la pluralidad de paredes (26a) exteriores y la pluralidad de paredes (26b) interiores en una ubicación remota de una ubicación donde la cimentación (14) está formada;
- 30 aplanar las paredes (26a) exteriores y las paredes (26b) interiores en una forma achatada;
 colocar una de las paredes (26a) exteriores y las paredes (26b) interiores que se han aplanado en forma achatada en una plataforma de camión;
 trasladar la plataforma de camión y una de las paredes (26a) exteriores y las paredes (26b) interiores que se han aplanado en una forma achatada colocada sobre ella al lugar donde la cimentación (14) está formada.
- 35 11. El método para formar una torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 5, en donde la cimentación (14) está formada de hormigón armado e incluye una base, un cuerpo esencialmente cilíndrico que se extiende hacia el exterior desde la base y que define un espacio de acceso en el mismo, y una brida de montaje que se extiende radialmente hacia dentro formada en el cuerpo, definiendo la brida de montaje una superficie a la que está montada la primera de las secciones (12a-12e) de torre.
- 40 12. El método para formar una torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 11, en donde el cuerpo esencialmente cilíndrico se extiende longitudinalmente hacia fuera de la cimentación (14) de modo que define una sección de torre inferior de la torre (12) de turbina eólica.
13. El método para formar una torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 5, en donde antes de la etapa de introducir hormigón húmedo en el espacio (28) anular de la primera de las cubiertas (26), incluye además la inserción de barras de postensado temporales dentro de los tubos alargados para asegurar temporalmente la primera de las cubiertas (26) a la cimentación (14).
- 45 14. El método para formar una torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 6, en donde antes de la etapa de introducir hormigón húmedo en el espacio (28) anular de la segunda de las cubiertas (26), incluye además la inserción de barras de postensado temporales dentro de los tubos alargados para asegurar temporalmente la segunda de las cubiertas (26) a la primera de las cubiertas (26).
- 50

15. La torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la pared (26b) interior tiene una forma cilíndrica cónica y la pared (26a) exterior tiene una forma cilíndrica cónica.

16. La torre (12) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la pared (26b) interior tiene una forma cilíndrica y la pared (26a) exterior tiene una forma cilíndrica.

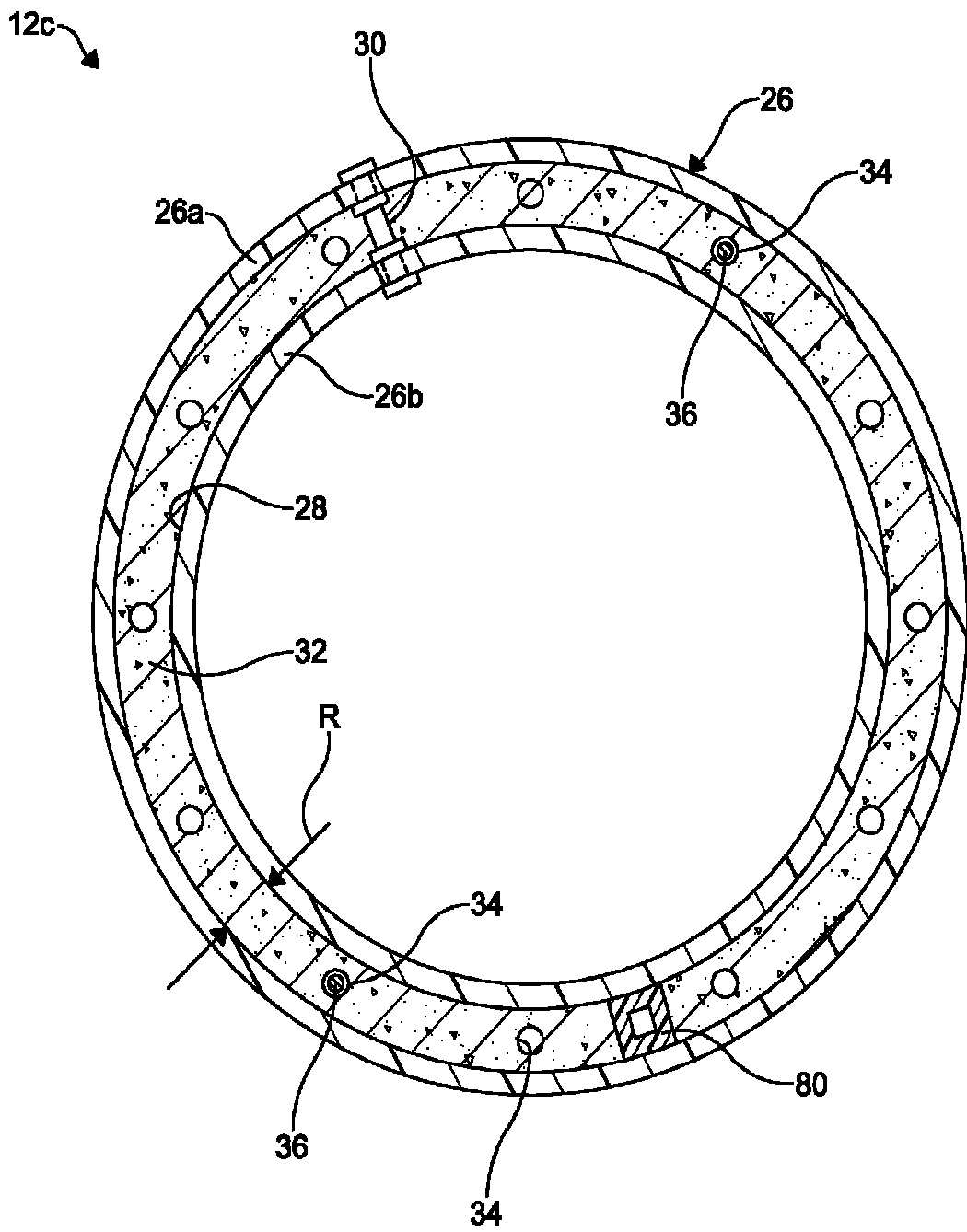


FIG. 2

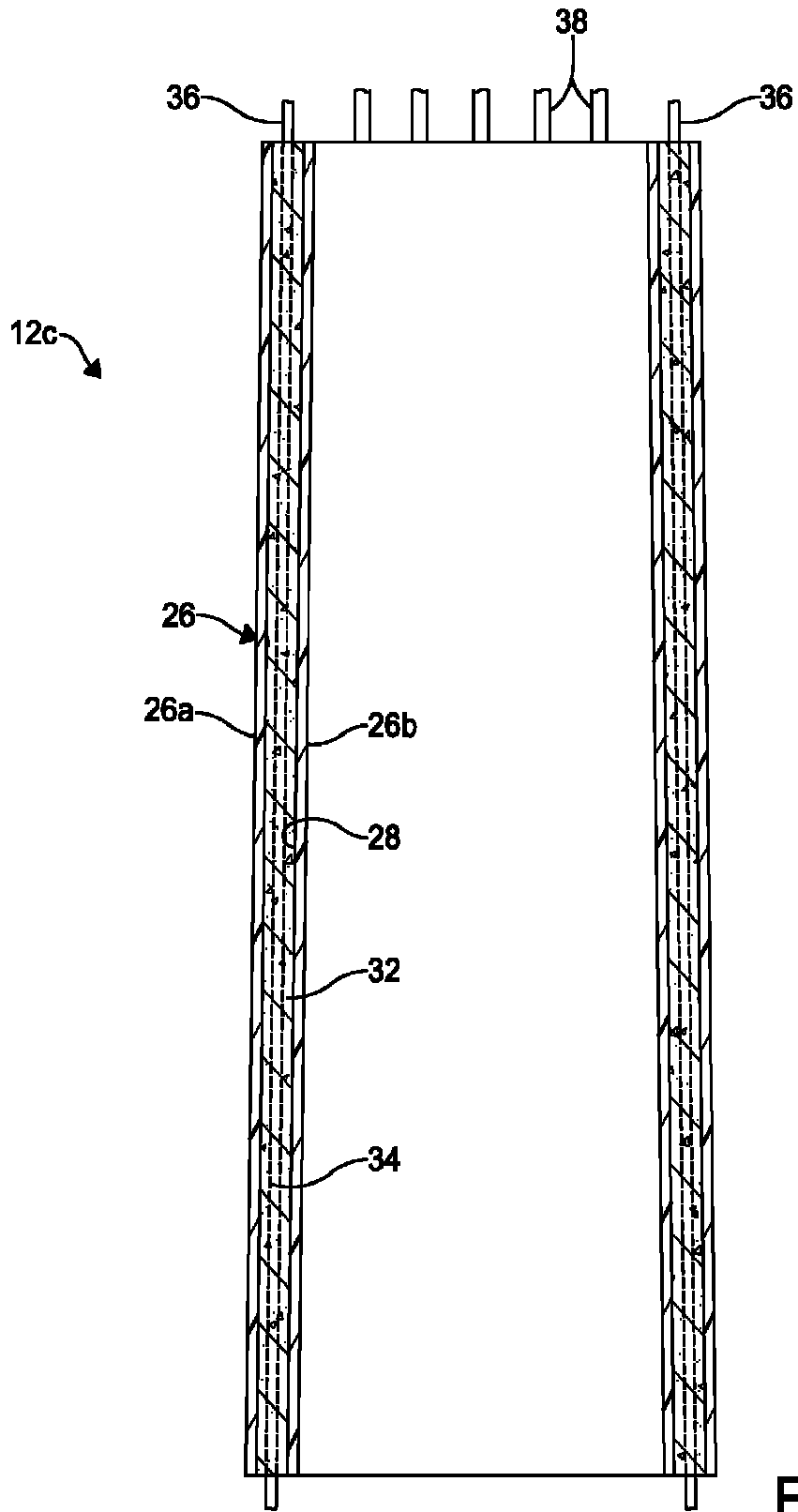


FIG. 3

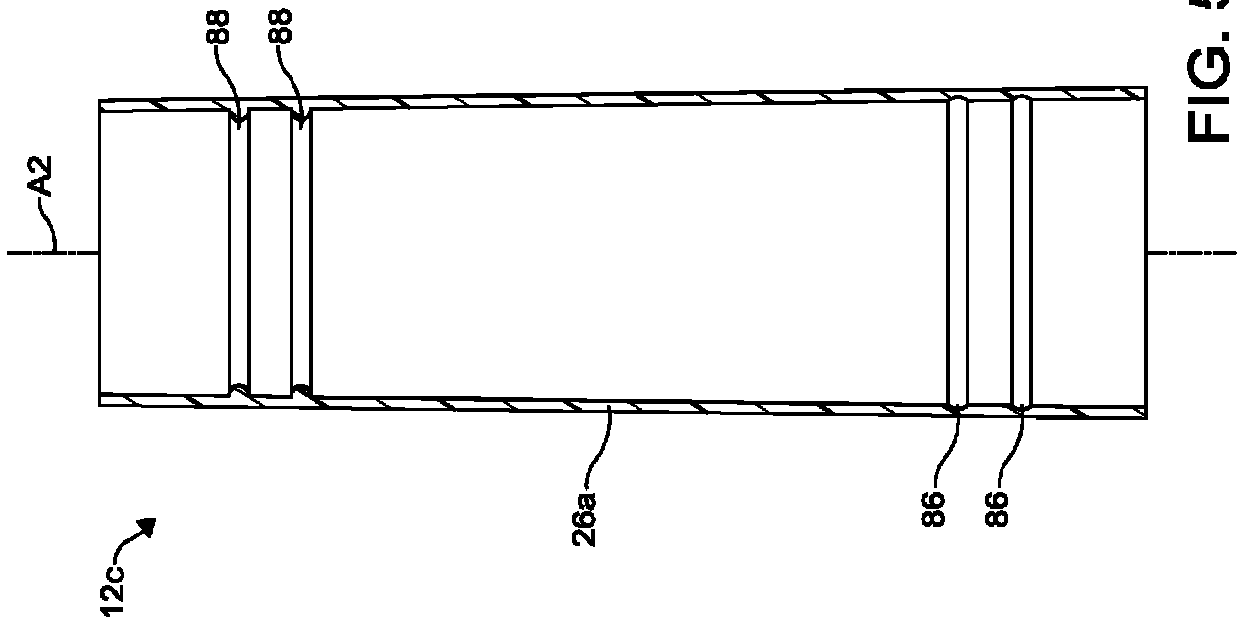


FIG. 5

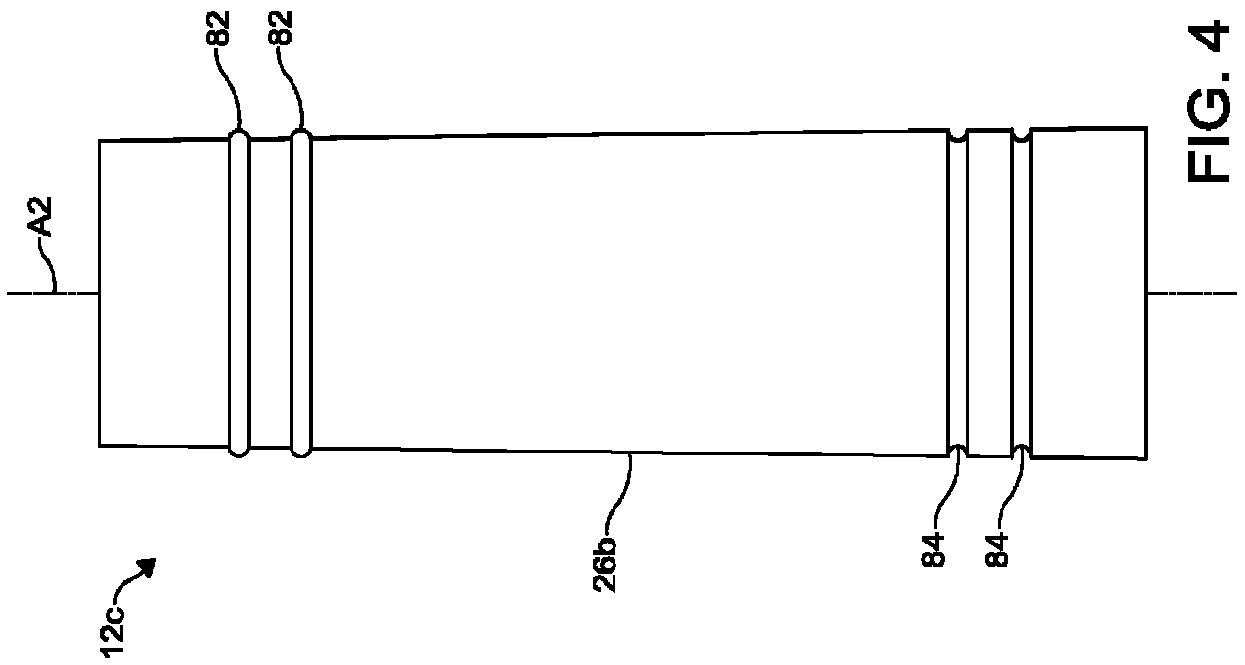


FIG. 4

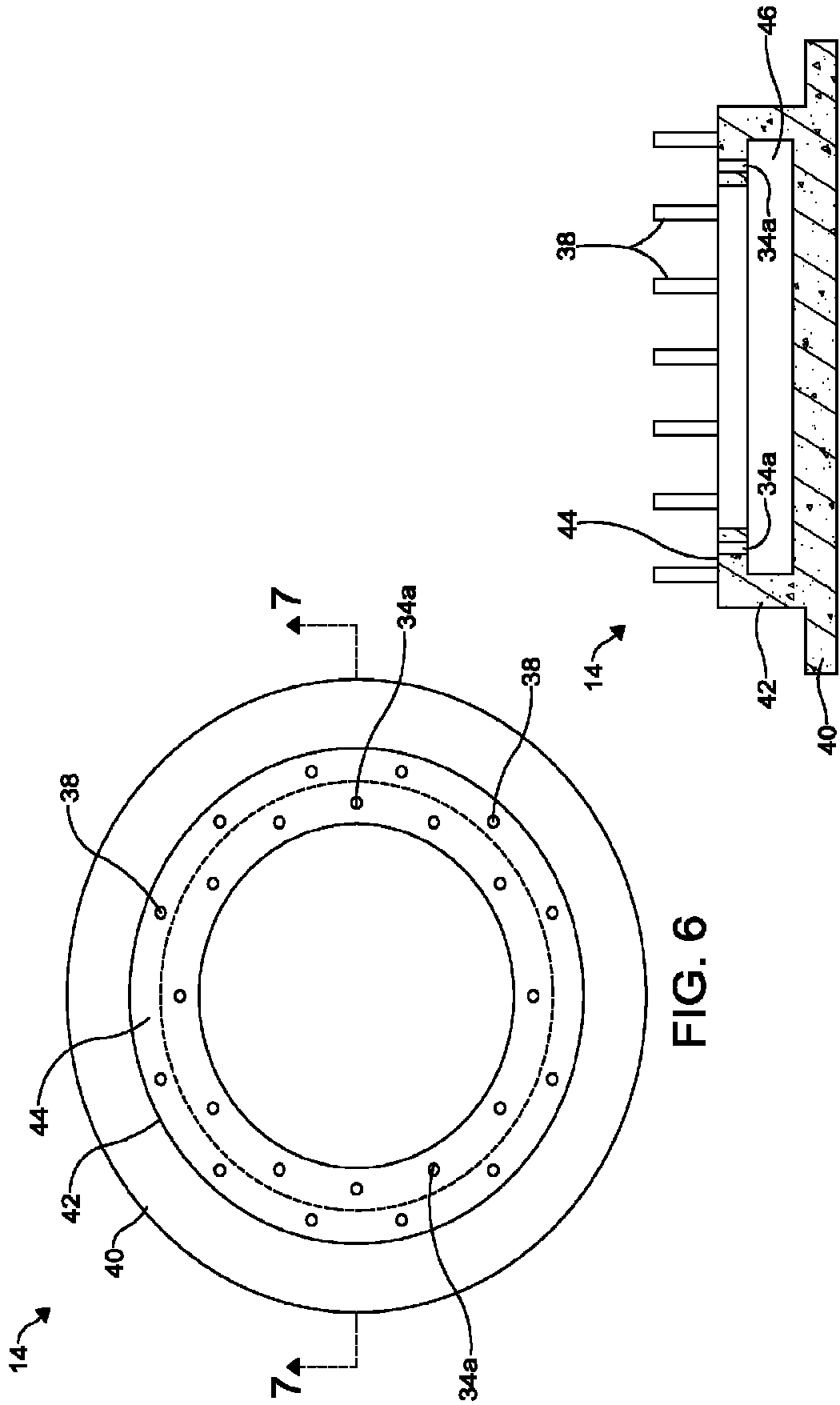


FIG. 6

FIG. 7

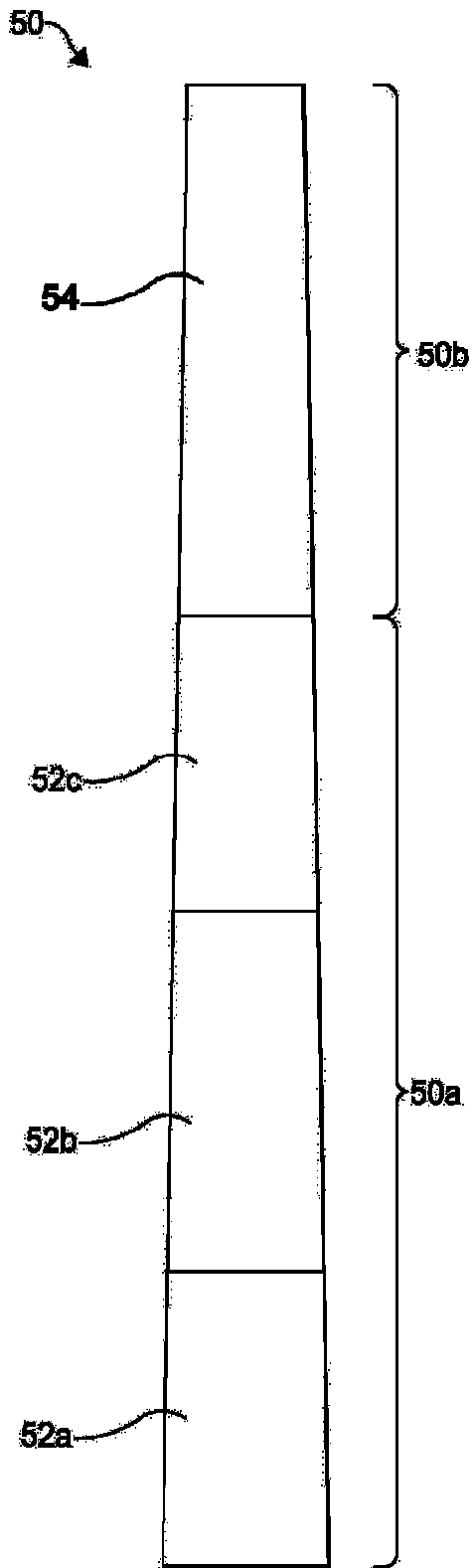


FIG. 8

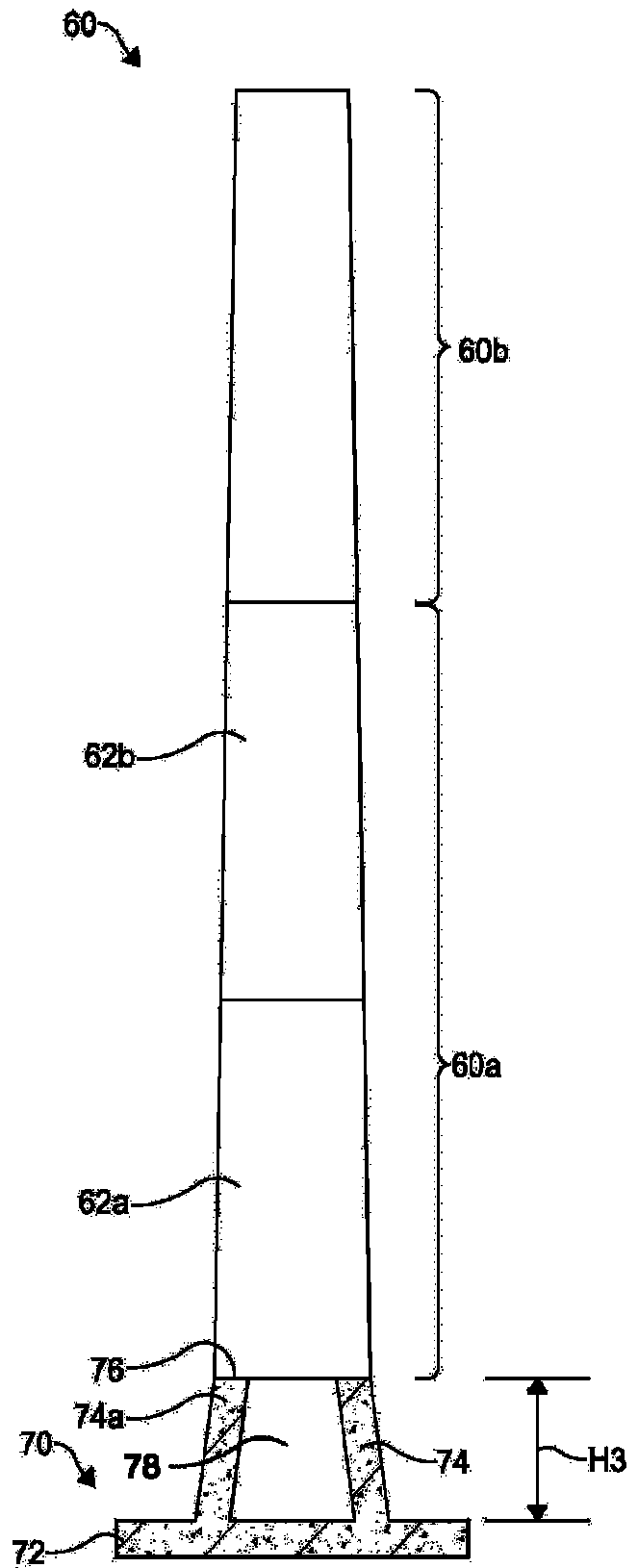


FIG. 9

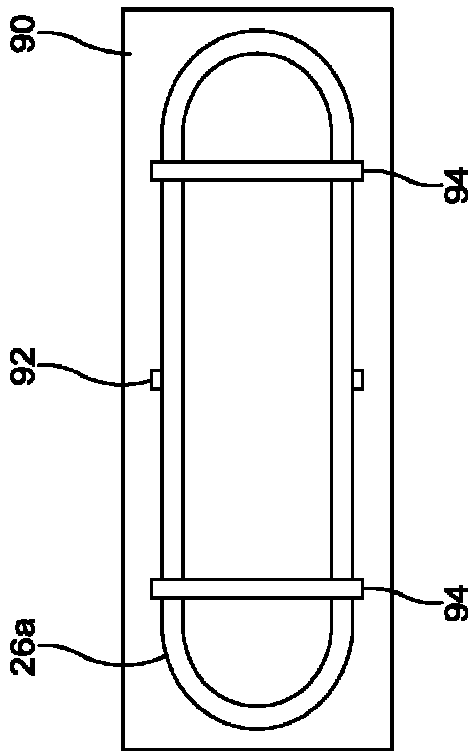
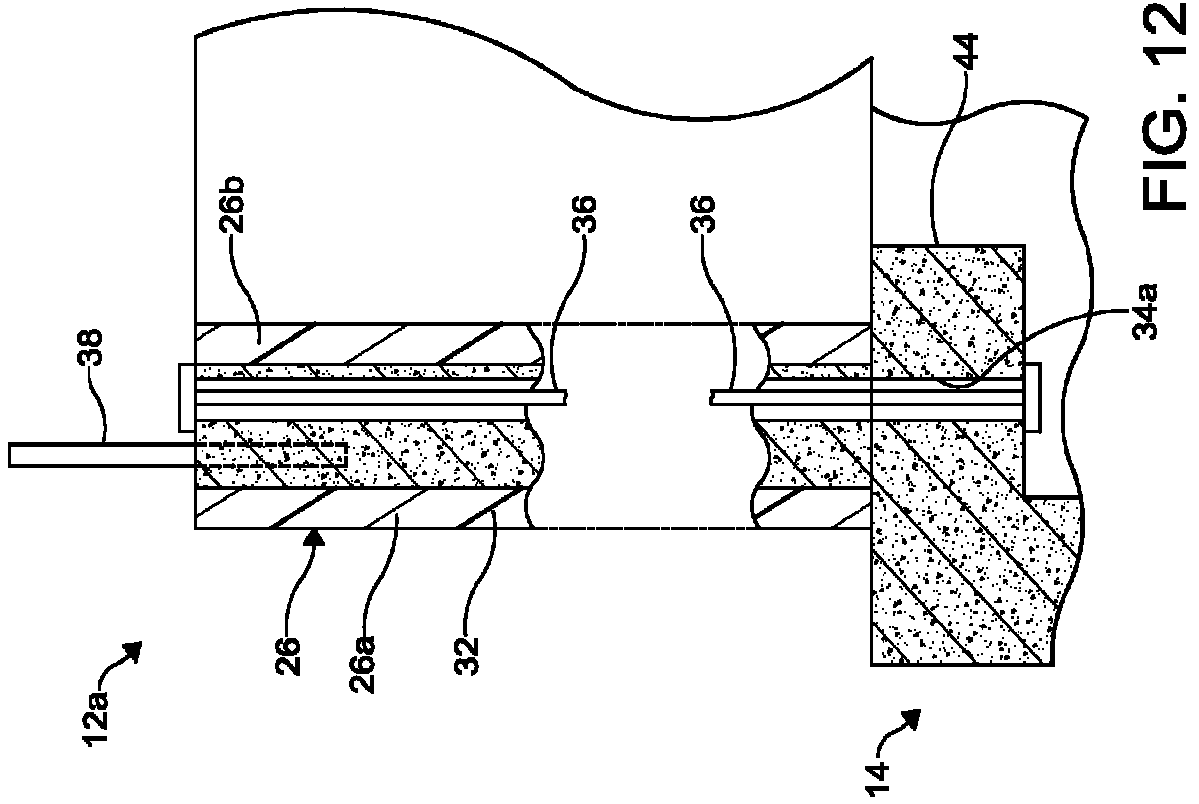


FIG. 10

FIG. 12

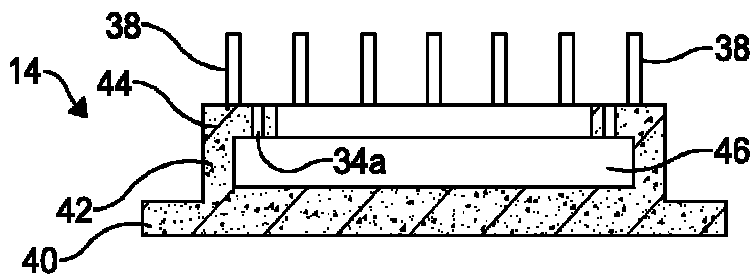
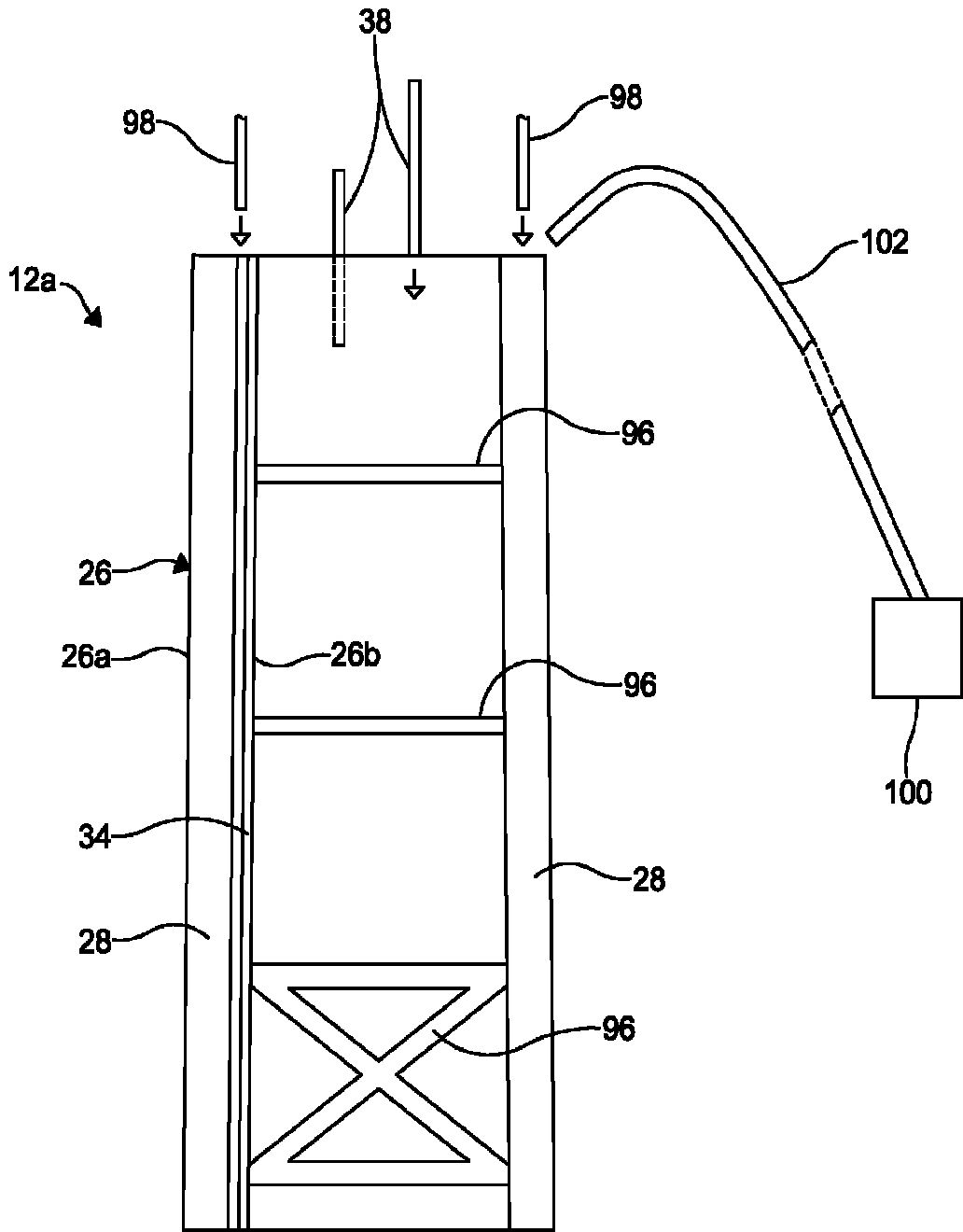


FIG. 11