

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 016 632**

51 Int. Cl.:

B33Y 80/00 (2015.01)

E04H 12/16 (2006.01)

E04G 21/04 (2006.01)

E04H 12/34 (2006.01)

F03D 13/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.03.2020 PCT/US2020/025929**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.10.2021 WO21201840**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2020 E 20722026 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2024 EP 4126546**

54 Título: **Procedimiento para fabricar una estructura de torre de turbina eólica con elementos de refuerzo integrados**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.05.2025

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,
S.L. (100.00%)
Calle Roc Boronat 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**LI, XIAOPENG;
COOPER, GREGORY EDWARD;
TURNQUIST, NORMAN ARNOLD y
KENNY, CHRISTOPHER JAMES**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 3 016 632 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para fabricar una estructura de torre de turbina eólica con elementos de refuerzo integrados

5 **Campo**

[0001] La presente divulgación se refiere en general a torres de turbina eólica, y más en particular a procedimientos de fabricación de estructuras de torre de turbina eólica con elementos de refuerzo integrados ("embedded").

10

Antecedentes

[0002] La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medioambiente disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna típicamente incluye una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas de rotor capturan energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos. Las palas de rotor transmiten la energía cinética en forma de energía de rotación para girar un eje que acopla las palas de rotor a una caja de engranajes o, si no se usa una caja de engranajes, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica que se puede distribuir en una red de suministro.

15
20

[0003] La torre de turbina eólica en general se construye con tubos de acero, secciones de hormigón prefabricadas o combinaciones de los mismos. Además, los tubos y/o secciones de hormigón típicamente se forman fuera del emplazamiento, se envían al emplazamiento y a continuación se disponen conjuntamente para levantar la torre. Por ejemplo, un procedimiento de fabricación incluye formar anillos de hormigón prefabricado, enviar los anillos al emplazamiento, disponer los anillos uno encima del otro y a continuación asegurar los anillos conjuntamente. Sin embargo, a medida que las turbinas eólicas continúan creciendo en tamaño, los procedimientos de fabricación convencionales se limitan por las normas de transporte que prohíben el envío de secciones de torre que tengan un diámetro mayor de aproximadamente 4 a 5 metros. Por tanto, determinados procedimientos de fabricación de torre incluyen formar una pluralidad de segmentos de arco y asegurar los segmentos conjuntamente en el emplazamiento para formar el diámetro de la torre, por ejemplo, por medio de empernado. Dichos procedimientos, sin embargo, requieren mucho trabajo y pueden llevar mucho tiempo. El documento WO 2005/070657 A1 se refiere a construcción automatizada incluyendo sistemas robóticos. El documento US 2017/129153 A1 se refiere a un aparato y un procedimiento para construir un elemento de construcción o un edificio. El documento GB 2 525 400 A se refiere a productos y los aparatos para su fabricación y transporte.

25

30

35

[0004] En vista de lo anterior, la técnica busca continuamente procedimientos mejorados para fabricar torres de turbina eólica. En consecuencia, la presente divulgación se refiere a procedimientos para fabricar estructuras de torre de turbina eólica que abordan los problemas mencionados anteriormente. En particular, la presente divulgación se refiere a procedimientos para fabricar estructuras de torre de turbina eólica con elementos de refuerzo integrados.

40

Breve descripción

[0005] Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden ser obvios a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la invención.

45

[0006] En un aspecto, la presente divulgación se refiere a un sistema para fabricar una estructura, de acuerdo con la reivindicación 1, tal como una estructura de torre de una turbina eólica. El sistema incluye un conjunto de armazón de soporte móvil en la dirección vertical de la estructura. Además, el sistema incluye un conjunto de impresión aditiva asegurado al conjunto de armazón de soporte. El conjunto de impresión aditiva incluye al menos un cabezal de impresora configurado para distribuir un primer material cementoso. El sistema también incluye un conjunto distribuidor de refuerzo soportado por el conjunto de armazón de soporte. Por tanto, el conjunto distribuidor de refuerzo se configura para distribuir de forma automática y continua una pluralidad de miembros de refuerzo a medida que la estructura se imprime y construye por medio del al menos un cabezal de impresora y a medida que el conjunto de armazón de soporte se mueve en la dirección vertical.

50

55

[0007] En un modo de realización, el/los cabezal(es) de impresora del conjunto de impresión aditiva puede(n) incluir, al menos, un cabezal de impresora exterior para imprimir una pared exterior de la estructura y un cabezal de impresora interior para imprimir una pared interior de la estructura. Además, en otro modo de realización, el conjunto de impresión aditiva puede incluir un cabezal de impresora intermedio asegurado entre los cabezales de impresora exterior e interior para llenar un área entre las paredes de torre exterior e interior con un segundo material cementoso.

60

[0008] En determinados modos de realización, el segundo material cementoso puede ser diferente del primer material cementoso. En particular, en un modo de realización, el segundo material cementoso puede ser un material cementoso autocompactante.

5 **[0009]** Como se expone en la reivindicación 1, el conjunto de armazón de soporte comprende al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo soportado por una pluralidad de miembros de varilla.

10 **[0010]** Como se expone en la reivindicación 1, el conjunto de plataforma en forma de anillo comprende una plataforma que soporta un miembro de soporte de anillo exterior y un miembro de soporte de anillo interior dispuestos concéntricamente entre sí extendiéndose la pluralidad de miembros de varilla entre ellos. En modos de realización particulares, los miembros de soporte de anillo exterior e interior pueden tener cada uno un diámetro ajustable.

15 **[0011]** En modos de realización adicionales, el sistema puede incluir un gato elevador que es movable a lo largo de cada uno de la pluralidad de miembros de varilla para mover el conjunto de armazón de soporte en la dirección vertical elevando los miembros de soporte de anillo exterior e interior. En determinados modos de realización, los gatos elevadores se pueden accionar hidráulicamente, neumáticamente o mecánicamente, tal como por ejemplo por medio de un tornillo, y/o combinaciones de los mismos.

20 **[0012]** En otro modo de realización, el conjunto distribuidor de refuerzo también puede incluir una pluralidad de dispositivos de rodillo y la pluralidad de miembros de refuerzo pueden ser cables de refuerzo. En dichos modos de realización, los cables de refuerzo se pueden distribuir desde la pluralidad de dispositivos de rodillo enrollando de forma automática y continua los cables de refuerzo desde los mismos bajo tensión. Además, en un modo de realización, los dispositivos de rodillo se pueden disponer encima del miembro de soporte de anillo exterior o del miembro de soporte de anillo interior.

25 **[0013]** De forma alternativa, el conjunto distribuidor de refuerzo puede incluir una pluralidad de bloques de polea, estando dispuesto uno de la pluralidad de bloques de polea con cada uno de la pluralidad de dispositivos de rodillo, estando dispuesta la pluralidad de bloques de polea encima del al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo, estando dispuesta la pluralidad de dispositivos de rodillo más abajo que la pluralidad de bloques de polea.

30 **[0014]** Aún en otro modo de realización, el conjunto distribuidor de refuerzo puede incluir una pluralidad de dispositivos alimentadores dispuestos encima de al menos uno del miembro de soporte de anillo exterior o del miembro de soporte de anillo interior. En dichos modos de realización, los miembros de refuerzo pueden ser barras de refuerzo. En consecuencia, las barras de refuerzo se pueden distribuir desde la pluralidad de dispositivos alimentadores empujando las barras de refuerzo de forma automática y continua desde los mismos.

35 **[0015]** En otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un procedimiento para fabricar una estructura de acuerdo con la reivindicación 13. El procedimiento incluye (a) proporcionar un conjunto de armazón de soporte que tiene al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo soportado por una pluralidad de miembros de varilla. Además, el procedimiento incluye (b) disponer un conjunto de impresión aditiva y un conjunto distribuidor de refuerzo con el al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo. Además, el procedimiento incluye (c) elevar el al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo una determinada distancia en una dirección vertical moviendo el al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo a lo largo de la pluralidad de miembros de varilla. Además, el procedimiento incluye (d) distribuir una pluralidad de miembros de refuerzo desde el conjunto distribuidor de refuerzo bajo tensión. El procedimiento también incluye (e) imprimir, por medio de al menos un cabezal de impresora del conjunto de impresión aditiva, al menos una parte de la estructura por medio de al menos un material cementoso para integrar la pluralidad distribuida de miembros de refuerzo en la misma. Como se expone en la reivindicación 13, el al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo comprende una plataforma que soporta un miembro de soporte de anillo exterior y un miembro de soporte de anillo interior dispuestos concéntricamente entre sí extendiéndose la pluralidad de miembros de varilla entre ellos.

40 **[0016]** En un modo de realización, el procedimiento puede incluir repetir las etapas (c) a (d) para completar la estructura.

45 **[0017]** En otro modo de realización, mover el al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo a lo largo de la pluralidad de miembros de varilla en la dirección vertical puede incluir accionar hidráulicamente el al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo a lo largo de la pluralidad de miembros de varilla por medio de una pluralidad de gatos elevadores.

50 **[0018]** En otros modos de realización, imprimir, por medio del al menos un cabezal de impresora del conjunto de impresión aditiva, al menos la parte de la estructura por medio del al menos un material cementoso puede incluir imprimir, por medio de los cabezales de impresora exterior e interior del conjunto de impresión aditiva, las paredes exterior e interior de la estructura con un primer material cementoso y el relleno, por medio de un cabezal de impresora intermedio asegurado entre los cabezales de impresora exterior e interior, un área entre las paredes exterior e interior de la estructura con un segundo material cementoso. Se debe entender que el procedimiento

puede incluir además cualquiera de las características y/o etapas adicionales como se describe en el presente documento.

5 [0019] Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

10 Breve descripción de los dibujos

[0020] Una divulgación completa y suficiente de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, se expone en la memoria descriptiva, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

15 la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

20 la FIG. 2 ilustra una vista en sección transversal de un modo de realización de una estructura de torre de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 3 ilustra una vista en perspectiva parcial de un modo de realización de un sistema para fabricar una estructura de torre de acuerdo con la presente divulgación;

25 la FIG. 4 ilustra una vista en sección transversal de un modo de realización de un sistema para fabricar una estructura de torre de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 5 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un conjunto distribuidor de refuerzo de un sistema para fabricar una estructura de torre de acuerdo con la presente divulgación;

30 la FIG. 6 ilustra un diagrama esquemático de otro modo de realización de un conjunto distribuidor de refuerzo de un sistema para fabricar una estructura de torre de acuerdo con la presente divulgación;

35 la FIG. 7 ilustra un diagrama esquemático de aún otro modo de realización de un conjunto distribuidor de refuerzo de un sistema para fabricar una estructura de torre de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 8 ilustra una vista superior de uno de los miembros de soporte de anillo exterior e interior de un sistema para fabricar una estructura de torre de acuerdo con la presente divulgación;

40 la FIG. 9 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para fabricar una estructura de torre de acuerdo con la presente divulgación; y

la FIG. 10 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un controlador de un dispositivo de impresión aditiva de acuerdo con la presente divulgación.

45 Descripción detallada

50 [0021] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, de los que uno o más ejemplos se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance de la invención como se expone por las reivindicaciones adjuntas.

55 [0022] Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de un modo de realización se pueden usar con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones como vienen dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

60 [0023] En general, la presente divulgación se refiere a sistemas y procedimientos para fabricar estructuras, tales como estructuras de torres, usando depósito automatizado de materiales cementosos por medio de tecnologías tales como fabricación aditiva, impresión 3D, depósito por pulverización, fabricación aditiva por extrusión, impresión de hormigón, depósito automatizado de fibras, así como otras técnicas que utilizan control numérico informático y múltiples grados de libertad para depositar material. Más específicamente, los sistemas y procedimientos de la presente divulgación incluyen un módulo de integración de refuerzo automatizado para alimentar gradualmente miembros de refuerzo en la estructura de torre durante el procedimiento de construcción, lo que permite la incorporación de miembros de refuerzo verticales continuos en la estructura de hormigón terminada.

[0024] Por tanto, los procedimientos descritos en el presente documento proporcionan muchas ventajas no presentes en la técnica anterior. Por ejemplo, los sistemas y procedimientos de la presente divulgación permiten la automatización de la integración de ambos miembros de refuerzo vertical y horizontal en una estructura de torre durante la construcción, permiten la automatización completa de la construcción de estructura de hormigón, simplifican el procedimiento de construcción con velocidades más rápidas, admiten tanto cable de acero como barra de refuerzo de acero convencional como refuerzo y forman directamente los conductos para barras o cables de postensado, que son necesarios para torres de hormigón.

[0025] En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra un modo de realización de una turbina eólica 10 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, la turbina eólica 10 incluye una torre 12 que se extiende desde una cimentación 15 o superficie de soporte con una góndola 14 montada encima de la torre 12. Una pluralidad de palas de rotor 16 se montan en un buje de rotor 18, que a su vez se conecta a una brida principal que gira un eje de rotor principal. Los componentes de generación y control de potencia de turbina eólica se alojan dentro de la góndola 14. La vista de la FIG. 1 se proporciona solo con propósitos ilustrativos para colocar la presente invención en un campo de uso ejemplar. Se debe apreciar que la invención no se limita a ningún tipo particular de configuración de turbina eólica. Además, la presente invención no se limita al uso con torres de turbina eólica, sino que se puede utilizar en cualquier aplicación que tenga construcciones de hormigón y/o torres altas además de torres eólicas, incluyendo, por ejemplo, casas, puentes, torres altas y otros aspectos de la industria del hormigón. Además, los procedimientos descritos en el presente documento también se pueden aplicar a fabricar cualquier estructura similar que se beneficie de las ventajas descritas en el presente documento.

[0026] En referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra una vista en sección transversal de una estructura de torre 12 de una turbina eólica 10 fabricada de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra en el modo de realización ilustrado, la estructura de torre 12 define una pared de torre circunferencial 20 que tiene una superficie exterior 22 y una superficie interior 24. Además, como se muestra, la pared de torre circunferencial 20 define en general un interior hueco 26 que se usa comúnmente para alojar diversos componentes de turbina (por ejemplo, un convertidor de potencia, un transformador, etc.). Además, como se describirá con más detalle a continuación, la estructura de torre 12 se forma usando fabricación aditiva. Además, como se muestra, la estructura de torre 12 se forma de un material cementoso 28 que se refuerza con uno o más elementos de refuerzo 30. En modos de realización particulares, el/los elemento(s) de refuerzo 30 puede(n) incluir, por ejemplo, cables o alambres de refuerzo alargados, barras de refuerzo (también denominadas en inglés *rebar*), (huecas o sólidas), fibras (tales como fibras de metal, vidrio o carbono) y/o cualquiera de dicha estructura o material que pueda ser conocido en la técnica para reforzar estructuras de hormigón. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 2, la estructura de torre 12 puede incluir una pluralidad de cables lineales pretensados 32 integrados en el material cementoso 28.

[0027] Además, el material cementoso 28 descrito en el presente documento puede incluir cualquier pasta trabajable adecuada que se configura para unirse conjuntamente después del curado para formar una estructura. Como ejemplos, un material cementoso puede incluir materiales de fraguado hidráulico basados en cal o silicato de calcio tales como cemento Portland, hormigón con cenizas volantes, escoria de alto horno, puzolana, finos de piedra caliza, yeso o humo de sílice, así como combinaciones de estos. En algunos modos de realización, el material cementoso 28 puede incluir adicionalmente o de forma alternativa material de fraguado no hidráulico, tal como cal apagada y/u otros materiales que se endurecen a través de carbonatación. Los materiales cementosos se pueden combinar con agregados finos (por ejemplo, arena) para formar mortero, o con agregados gruesos (arena y grava) para formar hormigón, incluyendo hormigones tanto basados en cemento como no basados en cemento. Por ejemplo, en determinados modos de realización, el material cementoso puede incluir hormigón geopolimérico, hormigón biopolimérico o cualquier otro hormigón adecuado. Un material cementoso se puede proporcionar en forma de una suspensión, que se puede formar combinando uno cualquiera o más materiales cementosos con agua, así como otros aditivos conocidos, incluyendo aceleradores, retardadores, diluyentes, agentes espesantes, dispersantes, agentes de control de pérdida de fluidos, agentes de pérdida de circulación, agentes de prevención de retroceso de resistencia, agentes de control de agua libre/fluido libre, agentes de expansión, plastificantes (por ejemplo, superplastificantes tales como superplastificante de policarboxilato o superplastificante de sulfonato de polinaftaleno), etc. Las cantidades relativas de los respectivos materiales que se van a proporcionar en un material cementoso se pueden variar de cualquier manera para obtener el efecto deseado.

[0028] En referencia ahora a la FIGS. 3-9, la presente divulgación se refiere a sistemas y procedimientos para fabricar estructuras de torre, tales como torres de turbina eólica, por medio de fabricación aditiva. La fabricación aditiva, como se usa en el presente documento, se entiende en general que engloba procedimientos usados para sintetizar objetos tridimensionales en los que se forman sucesivas capas de material bajo control informático para crear los objetos. Como tal, se pueden producir objetos de casi cualquier tamaño y/o conformación a partir de datos de modelos digitales. Se debe entender además que los procedimientos de fabricación aditiva de la presente divulgación pueden englobar tres grados de libertad, así como más de tres grados de libertad de modo que las técnicas de impresión no se limitan a imprimir capas bidimensionales apiladas, sino también pueden imprimir conformaciones curvadas y/o irregulares.

- 5 **[0029]** En referencia en particular a la FIG. 3, se ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de un sistema 100 para fabricar una estructura de torre 102 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, el sistema 100 incluye un conjunto de armazón de soporte 104 movible en una dirección vertical de la estructura de torre 102. Más específicamente, como se muestra en las FIGS. 3 y 4, el conjunto de armazón de soporte 104 incluye un conjunto de plataforma en forma de anillo 106 soportado por una pluralidad de miembros de varilla 108. El conjunto de plataforma en forma de anillo incluye una plataforma 110 que soporta un miembro de soporte de anillo exterior 112 y un miembro de soporte de anillo interior 114 dispuestos concéntricamente entre sí extendiéndose la pluralidad de miembros de varilla entre ellos 108.
- 10 **[0030]** En modos de realización particulares, los miembros de soporte de anillo exterior e interior 112, 114 pueden tener cada uno un diámetro ajustable. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 8, los miembros de soporte de anillo exterior e interior 112, 114 se pueden segmentar, con los segmentos 115 unidos entre sí por medio de manguitos huecos deslizables 117. Por tanto, como se muestra, los manguitos huecos deslizables 117 se configuran para recibir longitudes variables de los segmentos 115 para ajustar el diámetro de los miembros de soporte de anillo exterior e interior 112, 114. En determinados modos de realización, los manguitos huecos 117 y/o los segmentos 115 pueden ser suficientemente flexibles para permitir que el radio de curvatura cambie en el intervalo de diámetros de torre. En consecuencia, los miembros de soporte de anillo exterior e interior 112, 114 se pueden ajustar para admitir estructuras de torre de tamaños variables.
- 15 **[0031]** En referencia, ahora en particular a las FIGS. 3 y 4, el sistema 100 puede incluir un gato elevador 116 que es movible a lo largo de cada uno de la pluralidad de miembros de varilla 108 para mover el conjunto de armazón de soporte 104 en la dirección vertical V, es decir, elevando los miembros de soporte de anillo exterior e interior 112, 114 de forma continua o incremental. En determinados modos de realización, los gatos elevadores 116 pueden ser gatos de tornillo accionados hidráulicamente. En otros modos de realización, los gatos elevadores 116 se pueden accionar usando cualquier medio adecuado, tal como neumático, mecánico, etc. Por tanto, al elevar el/los gato(s) elevador(es) 116, el conjunto de armazón de soporte 104 se puede elevar a cualquier altura deseada.
- 20 **[0032]** En referencia en particular a la FIG. 3, el sistema 100 también incluye un conjunto de impresión aditiva 118 asegurado al conjunto de armazón de soporte 104. Se debe entender que el conjunto de impresión aditiva 118 descrito en el presente documento en general se refiere a cualquier dispositivo de impresión aditiva adecuado que tiene una o más boquillas o cabezales de impresora para depositar material (tal como el material cementoso descrito en el presente documento) sobre una superficie que se controla automáticamente por un controlador para formar un objeto programado dentro del ordenador (tal como un archivo CAD). Más específicamente, como se muestra, el conjunto de impresión aditiva 118 puede incluir al menos un cabezal de impresora 120, 122 configurado para distribuir un primer material cementoso 124. Por ejemplo, en un modo de realización, como se muestra en la FIG. 3, el/los cabezal(es) de impresora 120, 122 del conjunto de impresión aditiva 118 pueden incluir, al menos, un cabezal de impresora exterior 120 para imprimir una pared exterior 126 de la estructura de torre 102 y un cabezal de impresora interior 122 para imprimir una pared interior 128 de la estructura de torre 102.
- 25 **[0033]** Además, como se muestra, el conjunto de impresión aditiva 118 también puede incluir un cabezal de impresora intermedio 130 asegurado entre los cabezales de impresora exterior e interior 120, 122. Como tal, en determinados modos de realización, el cabezal de impresora intermedio 130 puede ser una bomba para llenar un área 132 entre las paredes de torre exterior e interior 126, 128 con un segundo material cementoso 134 que puede ser diferente del primer material cementoso 124. En particular, en un modo de realización, el primer material cementoso 124 puede ser un hormigón de fraguado rápido. Por lo tanto, las paredes exterior e interior impresas se pueden endurecer muy rápidamente y soportar por tanto la presión hidrostática del hormigón vertido. En consecuencia, el segundo material cementoso 134 puede ser un material cementoso autocompactante. En otros modos de realización, el conjunto de impresión aditiva 118 puede incluir cualquier número adecuado de cabezales de impresora incluyendo más de tres cabezales de impresora o menos de tres cabezales de impresora.
- 30 **[0034]** En referencia ahora a la FIGS. 3-7, el sistema 100 también incluye un conjunto distribuidor de refuerzo 136 soportado por el conjunto de armazón de soporte 104. Por tanto, el conjunto distribuidor de refuerzo 136 se configura para distribuir de forma automática y continua una pluralidad de miembros de refuerzo 138 a medida que la estructura de torre 102 se imprime y construye por medio del/de los cabezal(es) de impresora 120, 122, 130 y a medida que el conjunto de armazón de soporte 104 se mueve en la dirección vertical V. Por ejemplo, como se muestra en las FIGS. 3-5 y 7, el conjunto distribuidor de refuerzo 136 puede incluir una pluralidad de dispositivos de rodillo 140. En dichos modos de realización, los miembros de refuerzo 138 pueden ser alambres o cables o de refuerzo 142. En dichos modos de realización, los cables de refuerzo 40 se pueden distribuir desde los dispositivos de rodillo 140, por ejemplo, enrollando de forma automática y continua los cables de refuerzo 142 desde los mismos bajo tensión. Además, en un modo de realización, como se muestra en las FIGS. 3-5, los dispositivos de rodillo 140 se pueden disponer encima de los miembros de soporte de anillo exterior o interior 112, 114.
- 35 **[0035]** De forma alternativa, como se muestra en la FIG. 7, el conjunto distribuidor de refuerzo 136 puede incluir una pluralidad de bloques de polea 144, estando dispuesto uno de la pluralidad de bloques de polea 144 con cada uno de la pluralidad de dispositivos de rodillo 140. En consecuencia, como se muestra, los bloques de polea 144
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

se pueden disponer encima de los miembros de soporte de anillo exterior o interior 112, 114 y los dispositivos de rodillo 140 se pueden disponer más abajo que los bloques de polea 144, tal como por ejemplo en el suelo.

[0036] En referencia a la FIG. 6, en modos de realización alternativos, el conjunto distribuidor de refuerzo 136 puede incluir una pluralidad de dispositivos alimentadores 146 dispuestos encima de los miembros de soporte de anillo exterior o interior 112, 114. En dichos modos de realización, los miembros de refuerzo 138 pueden ser barras de refuerzo 148. En consecuencia, como se muestra, las barras de refuerzo 148 se pueden distribuir desde los dispositivos alimentadores 146 empujando de forma automática y continua las barras de refuerzo 148 desde los mismos.

[0037] En referencia en particular a la FIG. 9, se ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 200 para fabricar una estructura de torre 102 de acuerdo con la presente divulgación. En general, el procedimiento 200 se describirá en el presente documento con referencia a la estructura de torre 102, tal como una torre de turbina eólica, formada usando el sistema 100 mostrado en las FIGS. 3-8. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento divulgado 200 se puede implementar para formar otras estructuras de torre similares que tengan otras configuraciones adecuadas. Además, aunque la FIG. 9 representa las etapas realizadas en un orden particular para propósitos de ilustración y análisis, los procedimientos analizados en el presente documento no se limitan a ningún orden o disposición particular.

[0038] Como se muestra en (202), el procedimiento 200 incluye proporcionar el conjunto de armazón de soporte 104 descrito en el presente documento. Como se muestra en (204), el procedimiento 200 incluye disponer el conjunto de impresión aditiva 118 y el conjunto distribuidor de refuerzo 136 con el conjunto de plataforma en forma de anillo 106 del conjunto de armazón de soporte 104. Como se muestra en (206), el procedimiento 200 incluye elevar el conjunto de plataforma en forma de anillo 106 a una determinada distancia en la dirección vertical V moviendo el conjunto de plataforma en forma de anillo 106 a lo largo de la pluralidad de miembros de varilla 108, por ejemplo por medio de una pluralidad de gatos elevadores 116.

[0039] Mientras se eleva el conjunto de plataforma en forma de anillo 106 o después, como se muestra en (208), el procedimiento 200 incluye distribuir una pluralidad de miembros de refuerzo 138 desde el conjunto distribuidor de refuerzo 136. Por ejemplo, como se menciona, en un modo de realización, el/los miembro(s) de refuerzo 138 puede(n) ser un cable de refuerzo 142 que se desenrolla de un dispositivo de enrollamiento 140 bajo tensión. Como alternativa, como se menciona, el/los miembro(s) de refuerzo 138 puede(n) ser barras de refuerzo 148 que se empujan hacia abajo y dentro de un espacio que finalmente se llenará o imprimirá con material cementoso.

[0040] Se debe entender que el/los miembro(s) de refuerzo 138 se puede(n) extender a lo largo de toda la altura de la estructura de torre 102 o solo a lo largo de una parte de la altura de torre. Además, en dichos modos de realización, el conjunto de impresión aditiva 118 se configura para imprimir el material cementoso alrededor del/de los miembro(s) de refuerzo 138. En modos de realización alternativos, el conjunto distribuidor de refuerzo 136 se puede configurar para proporcionar tensión al/a los miembro(s) de refuerzo 138, tal como cuando el/los miembro(s) es/son cables, durante la impresión de la estructura de torre 102 y/o durante la elevación del conjunto de armazón de soporte 104. En dichos modos de realización, el procedimiento 200 también puede incluir variar una tensión del uno o más miembros de refuerzo 138 en función de una sección transversal de la estructura de torre 102 durante el procedimiento de impresión. Por tanto, dicho(s) miembro(s) de refuerzo 138 se configuran para gestionar tensiones de tracción de la estructura de torre 102.

[0041] Todavía en referencia a la FIG. 9, como se muestra en (210), el procedimiento 200 incluye imprimir, por medio de al menos un cabezal de impresora del conjunto de impresión aditiva 118, al menos una parte de la estructura de torre 102 por medio de al menos un material cementoso para integrar la pluralidad distribuida de miembros de refuerzo 138 en la misma. Por ejemplo, en un modo de realización, como se muestra en la FIG. 4, el procedimiento 200 puede incluir imprimir, por medio de los cabezales de impresora exterior e interior 120, 122 del conjunto de impresión aditiva 118, las paredes exterior e interior 126, 128 de la estructura de torre 102 del primer material cementoso 124. Dichas paredes 126, 128 se pueden imprimir simultáneamente para ahorrar tiempo o por separado, si es necesario. A continuación, el procedimiento 200 puede incluir llenar, por medio del cabezal de impresora intermedio 130 asegurado entre los cabezales de impresora exterior e interior 120, 122, el área 132 entre las paredes exterior e interior 126, 128 con el segundo material cementoso 134 para moldear completamente la estructura de torre 102. Este procedimiento (es decir, las etapas 206, 208 y 210) se puede repetir para completar la estructura de torre 102 hasta cualquier altura adecuada. Además, en determinados modos de realización, los miembros de varilla 108 del conjunto de armazón de soporte 104 se pueden retirar después de la construcción de la estructura de torre 102, creando de este modo orificios o canales que se pueden usar como conductos para barras o cables de postensado.

[0042] Además, en determinados modos de realización, el conjunto de impresión aditiva 118 se configura para imprimir el material cementoso de una manera que represente la tasa de curado del mismo de modo que la estructura de torre 102, a medida que se forma, se pueda unir a sí misma. Además, el conjunto de impresión aditiva 118 se configura para imprimir la estructura de torre 102 de manera tal que pueda soportar el peso de las paredes 126, 128, ya que el material cementoso formado de forma aditiva puede ser débil durante la impresión. Por tanto,

el/los elemento(s) de refuerzo 138 de la estructura de torre 12 se proporciona(n) para permitir que la torre resista cargas de viento que pueden provocar que la torre 12 sea susceptible al agrietamiento.

5 **[0043]** En referencia ahora a la FIG. 10, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un controlador 300 configurado para controlar el conjunto de impresión aditiva 118 descrito en el presente documento. Como se muestra, el controlador 300 puede incluir uno o más procesadores 302 y dispositivo(s) de memoria asociado(s) 304 configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares y almacenar datos pertinentes como se divulga en el presente documento). Adicionalmente, el controlador 300 también puede incluir un módulo de comunicaciones 306 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 300 y los diversos componentes del conjunto de impresión aditiva 118. Además, el módulo de comunicaciones 306 puede incluir una interfaz de sensor 308 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores 310, 312 se conviertan en señales que se pueden entender y procesar por el/los procesador(es) 302. Se debe apreciar que los sensores se pueden acoplar de forma comunicativa al módulo de comunicaciones 306 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 10, los sensores 310, 312 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 308 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, los sensores 310, 312 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 308 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Como tal, el/los procesador(es) 302 se puede(n) configurar para recibir una o más señales desde los sensores.

20 **[0044]** Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como incluidos en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de aplicación y otros circuitos programables. El/Los procesador(es) 302 también se configura(n) para calcular algoritmos de control avanzados y comunicarse con una variedad de protocolos basados en Ethernet o en serie (Modbus, OPC, CAN, etc.). Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 304 puede(n) comprender en general elemento(s) de memoria incluyendo, pero sin limitarse a, medio legible por ordenador (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM)), medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disquete, una memoria de solo lectura en disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 304 se puede(n) configurar en general para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 302, configuran el controlador 300 para realizar las diversas funciones como se describe en el presente documento.

35 **[0045]** Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para permitir que cualquier experto en la técnica practique la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para fabricar una estructura, comprendiendo el sistema:
- 5 un conjunto de armazón de soporte (104) movable en una dirección vertical de la estructura;
- un conjunto de impresión aditiva (118) asegurado al conjunto de armazón de soporte, comprendiendo el conjunto de impresión aditiva al menos un cabezal de impresora (120, 122) configurado para distribuir un primer material cementoso (124); y,
- 10 un conjunto distribuidor de refuerzo (136) soportado por el conjunto de armazón de soporte, estando configurado el conjunto distribuidor de refuerzo para distribuir de forma automática y continua una pluralidad de miembros de refuerzo (138) a medida que la estructura se imprime y construye por medio del al menos un cabezal de impresora y a medida que el conjunto de armazón de soporte se mueve en la dirección vertical;
- 15 en el que el conjunto de armazón de soporte comprende al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo (106) soportado por una pluralidad de miembros de varilla (108); y
- 20 en el que el al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo comprende una plataforma (110) que soporta un miembro de soporte de anillo exterior (112) y un miembro de soporte de anillo interior (114) dispuestos concéntricamente entre sí extendiéndose la pluralidad de miembros de varilla entre ellos.
2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el al menos un cabezal de impresora del conjunto de impresión aditiva comprende además, al menos, un cabezal de impresora exterior (120) para imprimir una pared exterior (126) de la estructura y un cabezal de impresora interior (122) para imprimir una pared interior (128) de la estructura.
- 25 3. El sistema de la reivindicación 2, en el que el conjunto de impresión aditiva comprende además un cabezal de impresora intermedio (130) asegurado entre los cabezales de impresora exterior e interior para llenar un área (132) entre las paredes de torre exterior e interior con un segundo material cementoso (134).
- 30 4. El sistema de la reivindicación 3, en el que el segundo material cementoso es diferente del primer material cementoso.
- 35 5. El sistema de la reivindicación 4, en el que el segundo material cementoso es un material cementoso autocompactante.
6. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los miembros de soporte de anillo exterior e interior comprenden cada uno un diámetro ajustable.
- 40 7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además un gato elevador (116) dispuesto con cada uno de la pluralidad de miembros de varilla y movable a lo largo de cada uno de la pluralidad de miembros de varilla para mover el conjunto de armazón de soporte en la dirección vertical elevando los miembros de soporte de anillo exterior e interior.
- 45 8. El sistema de la reivindicación 7, en el que los gatos elevadores se accionan por medio de al menos uno de sistema hidráulico, neumático o mecánico.
- 50 9. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el conjunto distribuidor de refuerzo comprende además una pluralidad de dispositivos de rodillo (140), comprendiendo la pluralidad de miembros de refuerzo cables de refuerzo (142), siendo distribuidos los cables de refuerzo desde la pluralidad de dispositivos de rodillo por enrollando de forma automática y continua los cables de refuerzo desde los mismos bajo tensión.
- 55 10. El sistema de la reivindicación 9, en el que la pluralidad de dispositivos de rodillo se disponen encima de al menos uno del miembro de soporte de anillo exterior o del miembro de soporte de anillo interior.
- 60 11. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 9-10, en el que el conjunto distribuidor de refuerzo comprende una pluralidad de bloques de polea, estando dispuesto uno de la pluralidad de bloques de polea (144) con cada uno de la pluralidad de dispositivos de rodillo, estando dispuesta la pluralidad de bloques de polea encima del al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo, estando dispuesta la pluralidad de dispositivos de rodillo más abajo que la pluralidad de bloques de polea.
- 65 12. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el conjunto distribuidor de refuerzo comprende además una pluralidad de dispositivos alimentadores (146) dispuestos encima de al menos uno

del miembro de soporte de anillo exterior o del miembro de soporte de anillo interior, comprendiendo la pluralidad de miembros de refuerzo barras de refuerzo (148), en el que las barras de refuerzo se distribuyen desde la pluralidad de dispositivos alimentadores empujando de forma automática y continua las barras de refuerzo desde los mismos.

5

13. Un procedimiento para fabricar una estructura, comprendiendo el procedimiento:

(a) proporcionar un conjunto de armazón de soporte (104) que tiene al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo (106) soportado por una pluralidad de miembros de varilla;

10

(b) disponer un conjunto de impresión aditiva (118) y un conjunto distribuidor de refuerzo (136) con el al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo;

15

(c) elevar el al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo una determinada distancia en una dirección vertical moviendo el al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo a lo largo de la pluralidad de miembros de varilla;

(d) distribuir una pluralidad de miembros de refuerzo desde el conjunto distribuidor de refuerzo;

20

(e) imprimir, por medio de al menos un cabezal de impresora del conjunto de impresión aditiva, al menos una parte de la estructura por medio de al menos un material cementoso para integrar la pluralidad distribuida de miembros de refuerzo en la misma;

25

en el que el al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo comprende una plataforma que soporta un miembro de soporte de anillo exterior (112) y un miembro de soporte de anillo interior (114) dispuestos concéntricamente entre sí extendiéndose la pluralidad de miembros de varilla entre ellos.

14. El procedimiento de la reivindicación 13, que comprende además repetir las etapas (c) a (d) para completar la estructura.

30

15. El procedimiento de las reivindicaciones 13-14, en el que mover el al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo a lo largo de la pluralidad de miembros de varilla en la dirección vertical comprende además accionar hidráulicamente el al menos un conjunto de plataforma en forma de anillo a lo largo de la pluralidad de miembros de varilla por medio de una pluralidad de gatos elevadores.

35

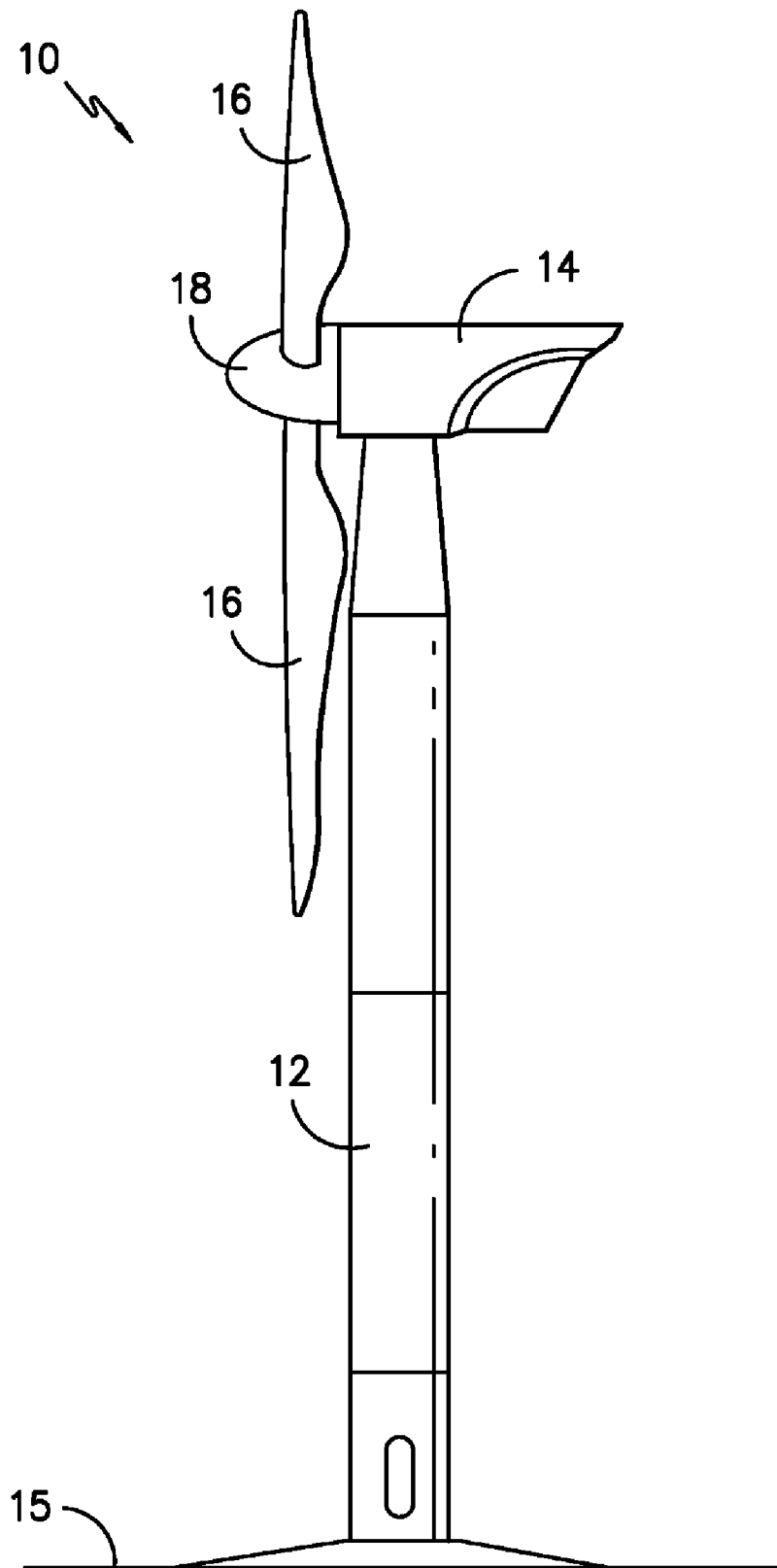


FIG. -1-

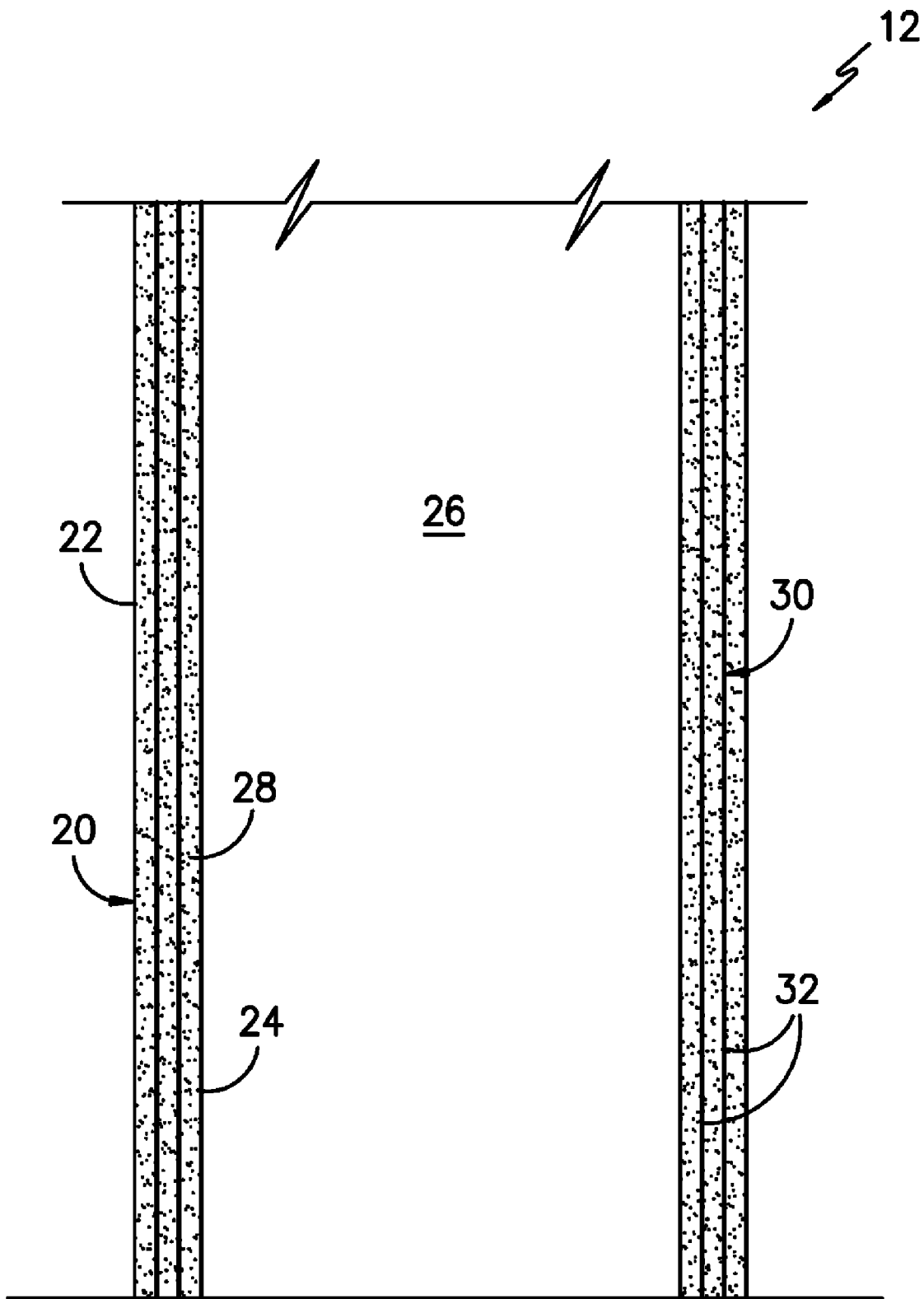


FIG. -2-

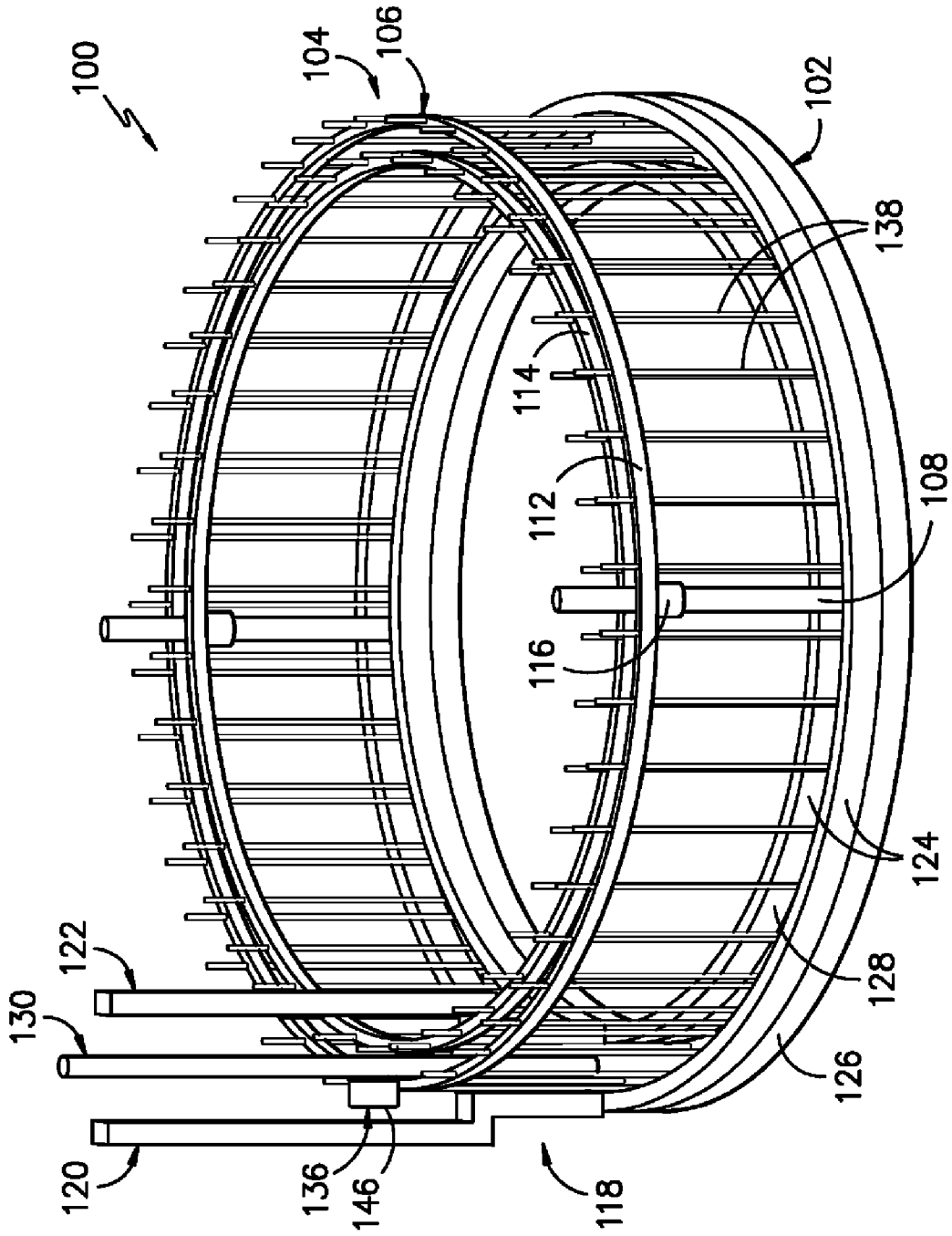


FIG. -3-

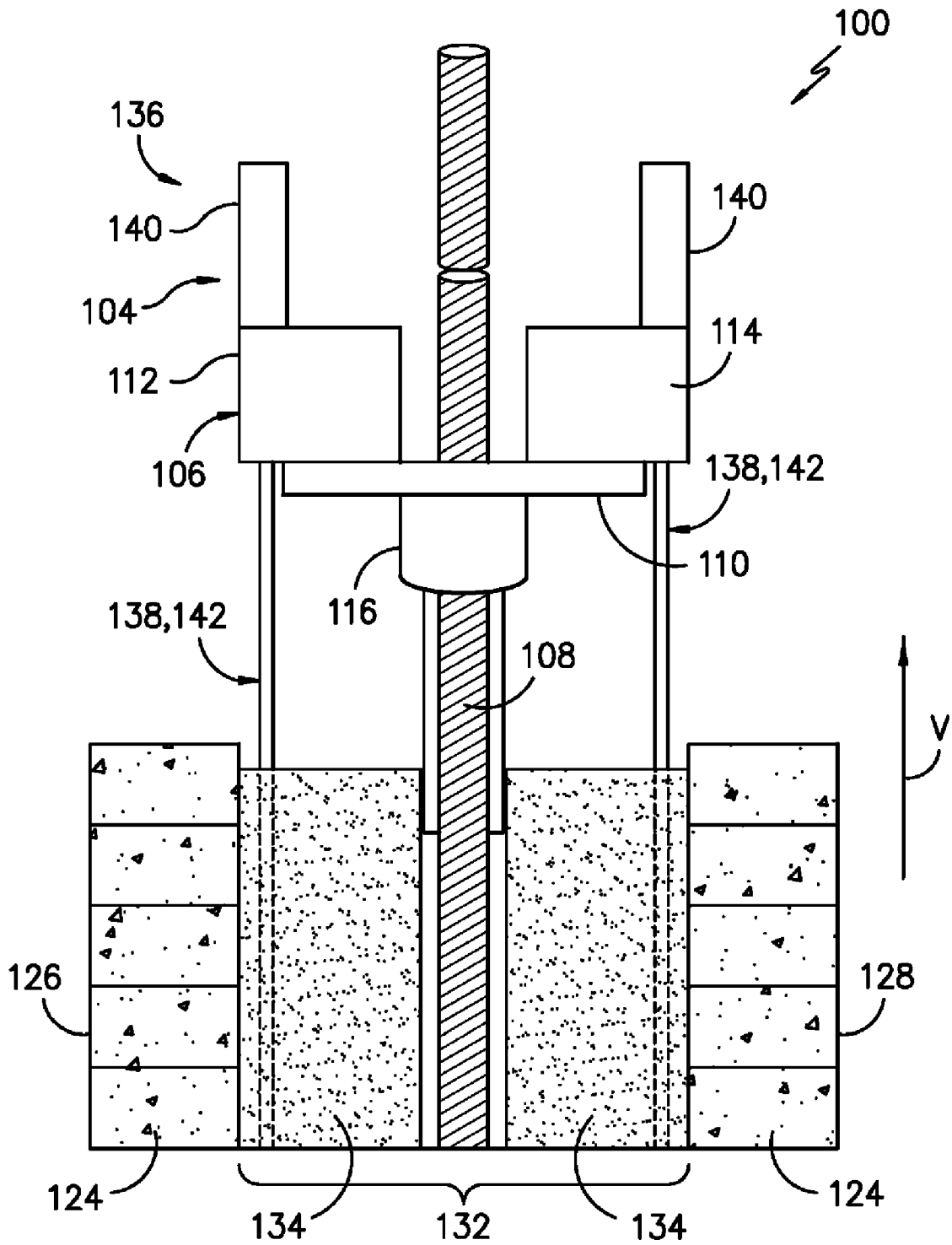


FIG. -4-

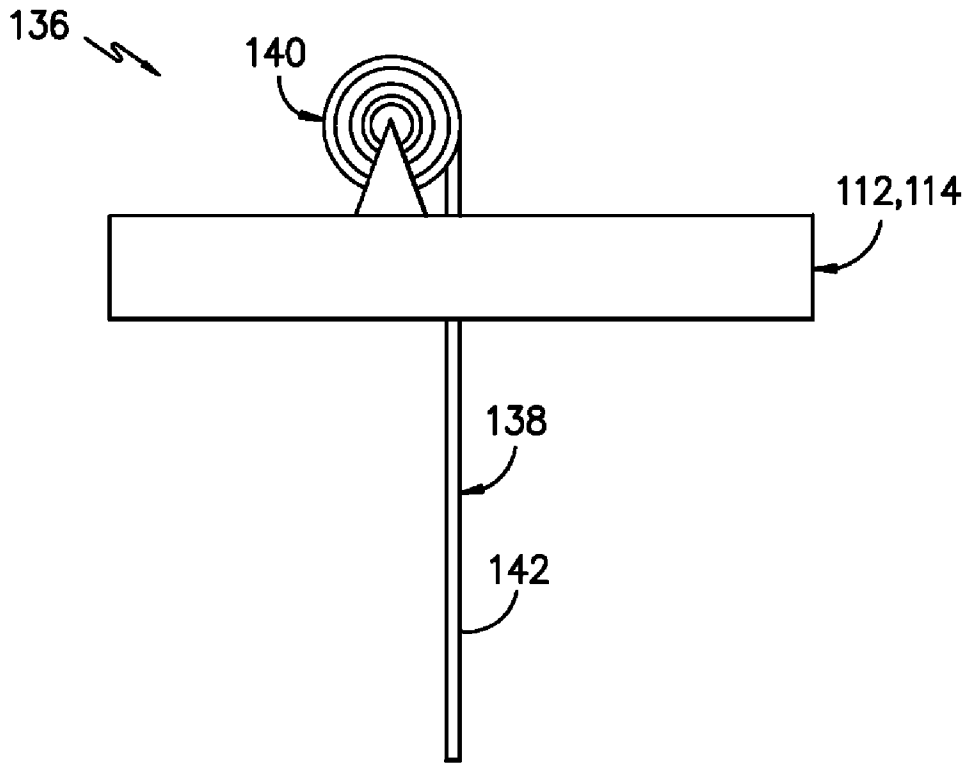


FIG. -5-

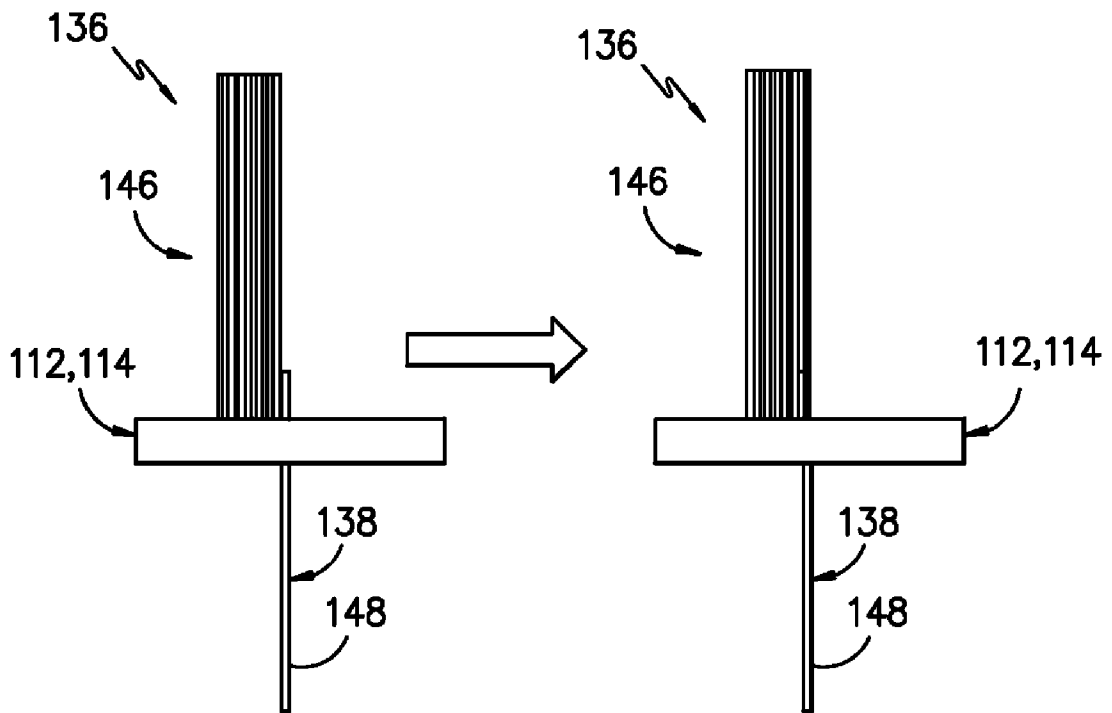


FIG. -6-

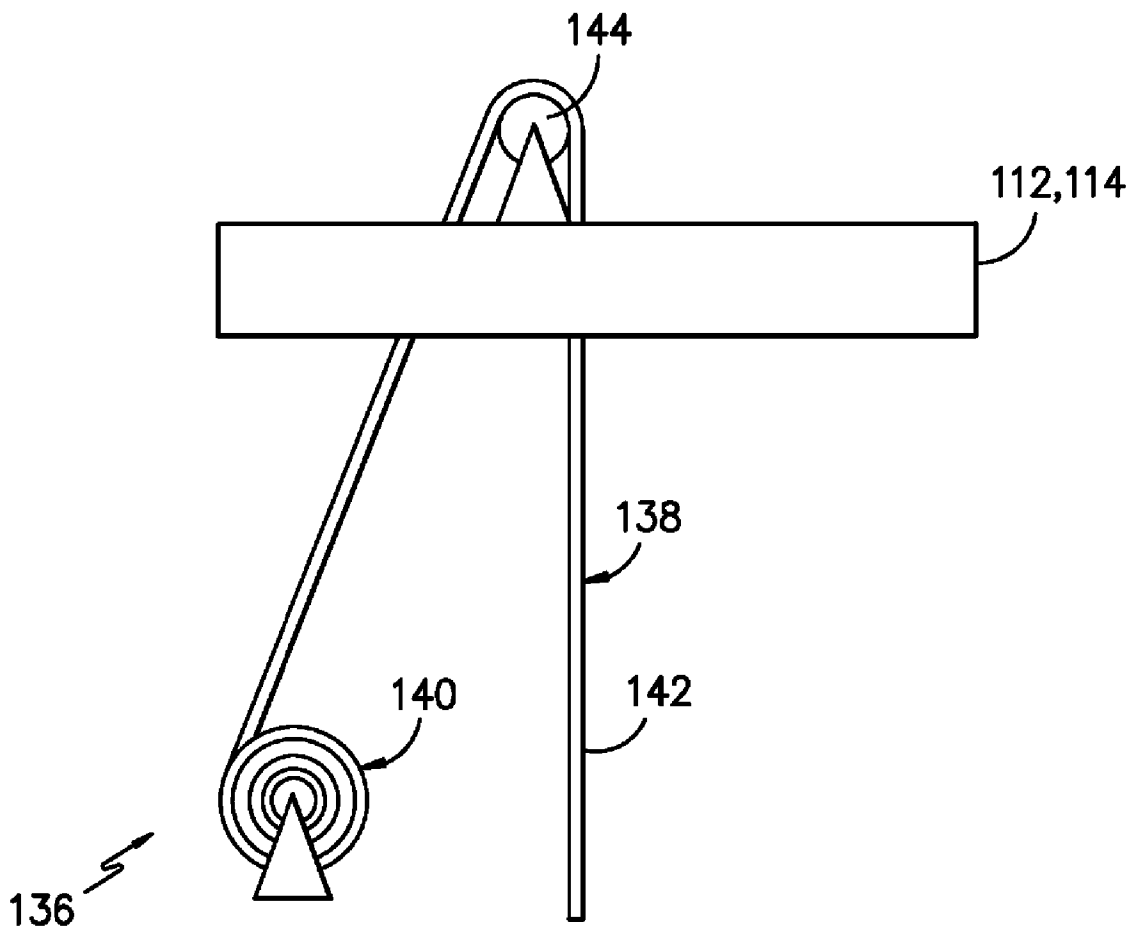


FIG. -7-

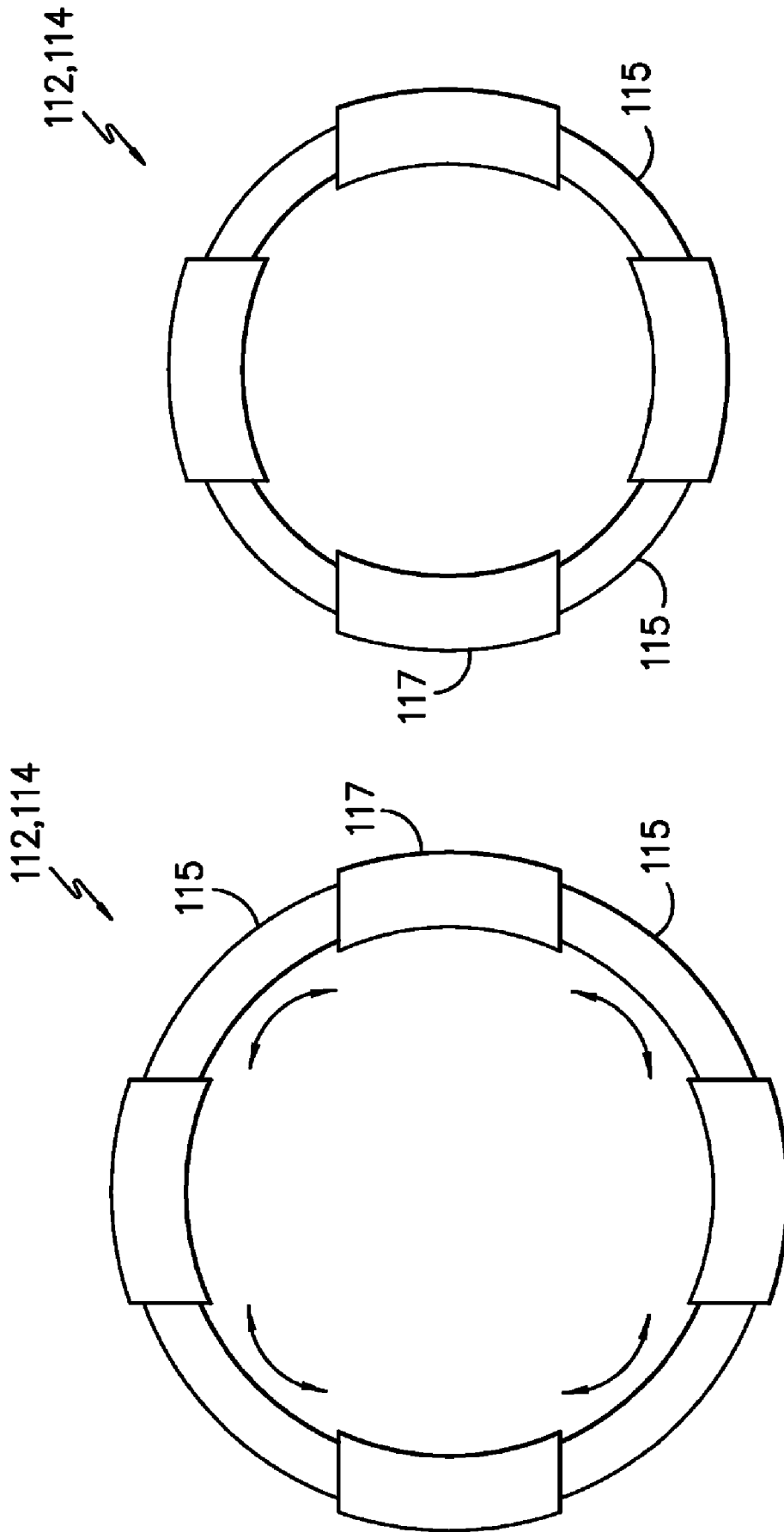


FIG. -8-

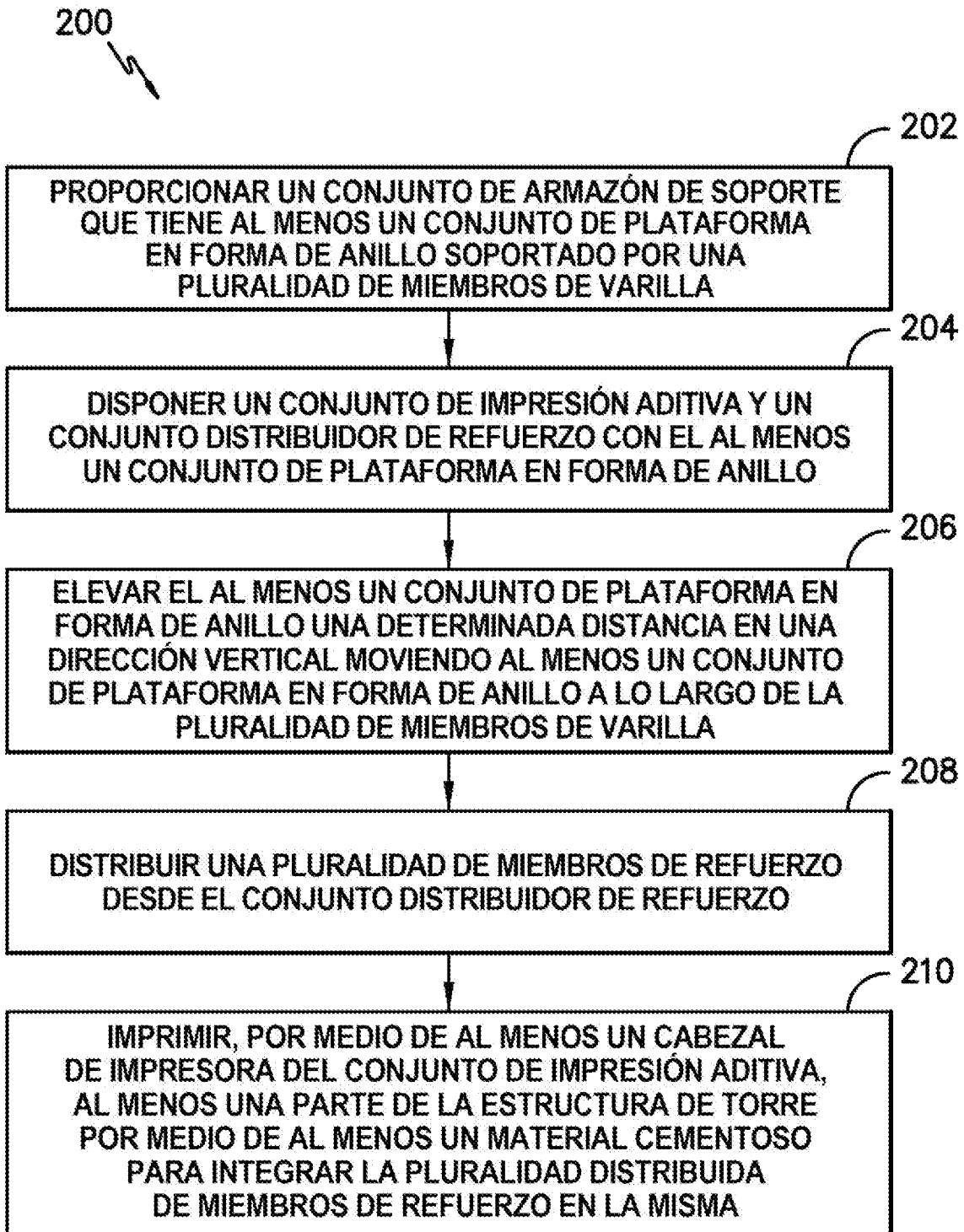


FIG. -9-

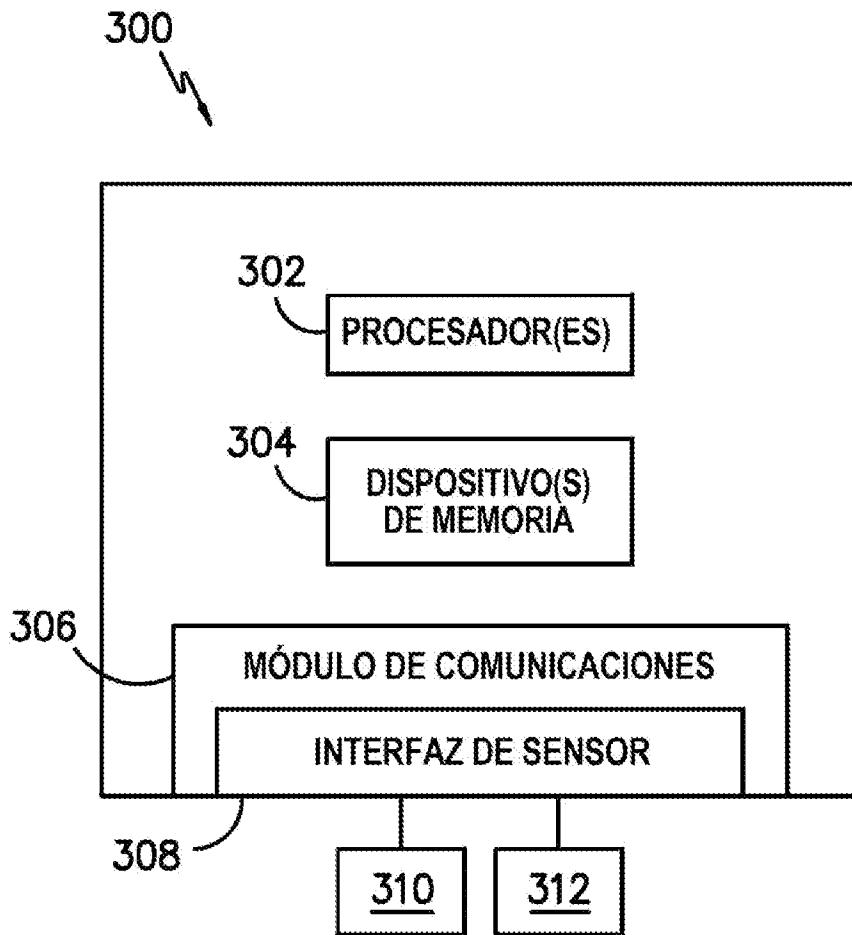


FIG. -10-