

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 933 267**

51 Int. Cl.:

E04H 12/34 (2006.01)

E04H 12/12 (2006.01)

B29C 64/00 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.03.2019** **PCT/US2019/023822**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.10.2019** **WO19190956**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.03.2019** **E 19715788 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.09.2022** **EP 3775438**

54 Título: **Estructura de torre fabricada de forma aditiva y procedimiento de fabricación**

30 Prioridad:

26.03.2018 US 201815935060

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.02.2023

73 Titular/es:

GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US

72 Inventor/es:

MEYER, PASCAL;
ROCK, JR., PETER JOSEPH;
SALAS NOBREGA, KEN IVCAR;
BELLUCCI, MATTEO;
FANG, BIAO;
COOPER, GREGORY EDWARD y
TURNQUIST, NORMAN ARNOLD

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 933 267 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

Estructura de torre fabricada de forma aditiva y procedimiento de fabricación

5 Antecedentes

[0001] La presente invención se refiere a turbinas eólicas y, más en particular, a una sección estructural de torre eólica fabricada de forma aditiva para una torre de turbina eólica y un procedimiento de fabricación.

10 **[0002]** En general, una turbina eólica incluye un rotor que incluye un conjunto de buje rotatorio que tiene múltiples palas. Las palas transforman la energía eólica en un par de torsión de rotación mecánico que acciona uno o más generadores por medio del rotor. Los generadores a veces, pero no siempre, están acoplados rotacionalmente al rotor a través de una caja de engranajes. La caja de engranajes eleva la velocidad de rotación inherentemente baja del rotor para que el generador convierta eficazmente la energía mecánica de rotación en energía eléctrica, que se
15 alimenta en una red de suministro por medio de al menos una conexión eléctrica. El rotor, el generador, la caja de engranajes y otros componentes típicamente se montan dentro de una carcasa o góndola que se sitúa sobre una base que incluye una armadura ("truss") o torre tubular.

20 **[0003]** Las torres de turbina eólica típicamente incluyen una serie de secciones cilíndricas acopladas entre sí. Las secciones de torre normalmente se atornillan entre sí a través de bridas horizontales colocadas internamente, que se sueldan a la parte superior e inferior de cada sección de torre. Se necesitan torres grandes para sostener las turbinas eólicas y las torres deben soportar fuertes fuerzas laterales provocadas por condiciones ambientales tales como el viento. Las secciones de torre requieren grandes grosores de pared para resistir estas fuerzas lo que genera altos costes de materiales, fabricación y transporte para la torre completa. Adicionalmente, se añaden toneladas de masa
25 requerida a la base de la torre para cumplir con los requisitos de rigidez para resistir las fuertes fuerzas laterales de viento. Por ejemplo, para algunas torres conocidas, se añaden aproximadamente 30 toneladas de masa a la base de torre para cumplir con los requisitos de rigidez.

30 **[0004]** Algunos de los procedimientos de fabricación de torres conocidos implican muchas etapas intensivas de mano de obra y equipo. En general, durante la fabricación, una lámina de metal extrudida se enrolla alrededor de una máquina de soldadura longitudinal en una localización externa. El soldador suelda longitudinalmente las láminas enrolladas a una longitud de torre, conocida como "módulo tubular". A continuación, los módulos tubulares se mueven y se montan en bloques en una configuración de extremo a extremo. Un soldador de costura procede a soldar una interfaz entre módulos tubulares contiguos para formar una sección de torre tubular. A continuación, cada sección se
35 mueve y se carga en un camión para su transporte individual al sitio de ensamblaje de torre.

40 **[0005]** Sin embargo, las normativas de transporte limitan los tamaños de carga de los productos enviados. Por ejemplo, las secciones de torre tienen un diámetro limitado a aproximadamente 4,3 metros (m) (14 pies (ft)), debido a las barreras de transporte por carretera, tales como los puentes que se extienden sobre una carretera. Para cumplir con las normativas de transporte, se restringe la longitud de cada sección de torre ensamblada. En consecuencia, un incremento en el número de longitudes de torre formadas da como resultado un incremento en los costes de fabricación, costes de transporte y costes de ensamblaje en el sitio.

45 **[0006]** En consecuencia, existe la necesidad en la técnica de proporcionar una torre de turbina eólica que proporcione fabricación en el sitio para abordar el problema de las crecientes dificultades de transporte que surgen con las secciones de torre de mayor diámetro. Adicionalmente, existe la necesidad de obtener diseños de pared de torre de turbina eólica personalizados que incrementen la resistencia o reduzcan la cantidad de refuerzo necesario, al mismo tiempo que proporcionan la fabricación en el sitio.

50 **[0007]** El documento WO 2017/181060 A1 se refiere a equipos, procedimientos y productos de fabricación aditiva y de forma libre, incluyendo edificios residenciales, comerciales y de otro tipo. Se describe que una extrusora móvil coloca extrudido que se solidifica en espacio abierto para crear una "estructura" o "armazones" de edificios y otros productos. Se describe además que los elementos extrudidos alargados se fusionan entre sí o se conectan por otros medios para formar una estructura celular. Aún se describe además que el material de relleno tal como la espuma
55 aislante polimérica, se puede colocar simultánea o posteriormente dentro de la estructura celular para contribuir a la resistencia, rigidez, aislamiento, barrera u otras propiedades deseadas.

60 **[0008]** El documento WO 2007/050972 A2 describe una boquilla para extrudir una superficie que puede incluir una primera salida configurada para extrudir de forma controlable un primer extrudido de material no endurecido, una segunda salida configurada para extrudir de forma controlable un segundo extrudido de material no endurecido que se separa del primer extrudido, una tercera salida configurada para extrudir un tercer extrudido de material no endurecido entre el primer y el segundo extrudidos, y un controlador. La tercera salida puede tener un ancho que sea sustancialmente menor que la distancia entre el primer y segundo extrudidos. El controlador se puede configurar para provocar que el tercer extrudido se atravesase repetidamente entre el primer y segundo extrudidos y/o para provocar
65 que el tercer extrudido deje una pluralidad de espacios sustanciales y separados entre el primer y segundo extrudidos.

Breve descripción

[0009] Estas y otras deficiencias de la técnica anterior se abordan en la presente divulgación.

5 [0010] Un aspecto de la presente invención reside en una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación adjunta 1.

[0011] Aún otro aspecto de la invención reside en un procedimiento de fabricación de una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación adjunta 8.

10 [0012] Existen diversos refinamientos de los rasgos característicos indicados anteriormente en relación con los diversos aspectos de la presente divulgación. Además, también se pueden incorporar otros rasgos característicos en estos diversos aspectos.

Breve descripción de las figuras

15 [0013] Los anteriores y otros rasgos característicos, aspectos y ventajas de la presente divulgación se entenderán mejor cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que caracteres similares representan partes similares en todos los dibujos, en los que:

20 la FIG. 1 es una vista esquemática de una turbina eólica de ejemplo, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 2 es una vista isométrica esquemática de un modo de realización de ejemplo de una sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales para su uso para facilitar el ensamblaje de un mástil de torre, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

25

la FIG. 3 es una vista superior esquemática de la sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales de la FIG. 1, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

30 la FIG. 4 es una vista isométrica esquemática de otro modo de realización de una sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales para su uso para facilitar el ensamblaje de un mástil de torre, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

35 la FIG. 5 es una vista superior esquemática de la sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales de la FIG. 4, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 6 es una vista isométrica esquemática de otro modo de realización de una sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales para su uso para facilitar el ensamblaje de un mástil de torre, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

40

la FIG. 7 es una vista superior esquemática de la sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales de la FIG. 6, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

45 la FIG. 8 es una vista isométrica esquemática de otro modo de realización de una sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales para su uso para facilitar el ensamblaje de un mástil de torre, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

50 la FIG. 9 es una vista superior esquemática de la sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales de la FIG. 8, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 10 es una vista isométrica recortada de una parte de una sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

55 la FIG. 11 es una vista ortogonal parcial despiezada de una parte de una sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales y una brida de torre, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

60 la FIG. 12 es una sección transversal de una pluralidad de secciones de torre fabricadas de forma aditiva de múltiples materiales acopladas a una pluralidad de bridas, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 13 ilustra partes de brida mostradas en la FIG. 12 acopladas entre sí por un fijador, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 14 es una vista superior esquemática de un modo de realización de ejemplo de un procedimiento para formar la sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales de las FIGS. 2 y 3, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 15 es una vista superior esquemática de otro modo de realización de ejemplo de un procedimiento para formar la sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales de las FIGS. 2 y 3, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 16 es una vista superior esquemática de un modo de realización de ejemplo de un procedimiento para formar la sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales de las FIGS. 6 y 7, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 17 es una vista superior esquemática de otro modo de realización de ejemplo de un procedimiento para formar la sección de torre fabricada de forma aditiva de múltiples materiales de las FIGS. 6 y 7, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 18 es una vista isométrica esquemática de otro modo de realización de una pluralidad de secciones de torre fabricadas de forma aditiva de múltiples materiales en una configuración anidada para su uso para facilitar el ensamblaje de un mástil de torre, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 19 es una vista superior esquemática de la pluralidad de secciones de torre fabricadas de forma aditiva de múltiples materiales de la FIG. 18, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación.

Descripción detallada

[0014] La divulgación se describirá para los propósitos de ilustración solo en relación con determinados modos de realización; sin embargo, se debe entender que otros objetivos y ventajas de la presente divulgación se harán evidentes por la siguiente descripción de los dibujos de acuerdo con la divulgación. Aunque se divulgan modos de realización preferentes, no se pretende que sean limitantes. Más bien, los principios generales expuestos en el presente documento se consideran meramente ilustrativos del alcance de la presente divulgación y se debe entender además que se pueden realizar numerosos cambios sin desviarse del alcance de la presente invención como se define por las reivindicaciones adjuntas.

[0015] "Fabricación aditiva" es un término usado en el presente documento para describir un procedimiento que implica construcción capa por capa o fabricación aditiva (en lugar de la retirada de material como con los procedimientos de mecanización convencionales). Dichos procedimientos también se pueden denominar "procedimientos de fabricación rápida". Los procedimientos de fabricación aditiva incluyen, pero no se limitan a: fusión directa de metal por láser ("*Direct Metal Laser Melting*" o DMLM), fabricación de formas netas por láser ("*Lase Net Shape Manufacturing*" o LNSM), sinterización por haz de electrones ("*Electron Beam Sintering*" o EBS), sinterización selectiva por láser ("*Selective Laser Sintering*" o SLS), Impresión 3D, esterolitografía ("*Sterolithography*" o SLA), fusión por haz de electrones ("*Electron Beam Sintering*" o EBM), modelado de redes por ingeniería láser ("*Laser Engineered Net Shaping*" o LENS) y depósito directo de metal ("*Direct Metal Deposition*" o DMD). Además, los términos "impresión 3D" y "fabricación aditiva" tienen el mismo significado y se pueden usar de manera intercambiable. El dispositivo de impresión 3D usado en el contexto de los modos de realización de la invención se puede realizar para imprimir o depositar una capa de cualquier material que sea adecuado para construir una torre.

[0016] Los términos "primero", "segundo" y similares, en el presente documento no indican ningún orden, cantidad o importancia, sino que se usan para distinguir un elemento de otro. Los términos "un" y "una" en el presente documento no denotan una limitación de cantidad, sino más bien denotan la presencia de al menos uno de los artículos de referencia. El modificador "aproximadamente" usado en relación con una cantidad es inclusivo del valor establecido y tiene el significado dictado por el contexto (por ejemplo, incluye el grado de error asociado con la medición de la cantidad particular). Además, los términos "primero", "segundo" o similares están destinados al propósito de orientar al lector sobre las partes componentes específicas.

[0017] Como se usa en el presente documento, el término "múltiples materiales" indica el uso de múltiples materiales y pretende englobar el uso de cualquier número de materiales, tal como el uso de dos o más materiales.

[0018] Además, en esta memoria descriptiva, el sufijo "(s)" normalmente pretende incluir tanto el singular como el plural del término que modifica, incluyendo de este modo uno o más de ese término (por ejemplo, "la abertura" puede incluir uno o más aberturas, a menos que se especifique de otro modo). La referencia a lo largo de la memoria descriptiva a "un modo de realización", "otro modo de realización", "un modo de realización", etc., quiere decir que un elemento particular (por ejemplo, rasgo característico, estructura y/o característica) descrito en relación con el modo de realización está incluido en al menos un modo de realización descrito en el presente documento, y puede estar presente o no en otros modos de realización. De forma similar, la referencia a "una configuración particular" quiere

decir que un elemento particular (por ejemplo, rasgo característico, estructura y/o característica) descrito en relación con la configuración está incluido en al menos una configuración descrita en el presente documento, y puede estar presente o no en otras configuraciones. Además, se debe entender que los rasgos característicos según la invención descritos se pueden combinar de cualquier manera adecuada en los diversos modos de realización y configuraciones.

[0019] Como se analiza en detalle a continuación, los modos de realización de la presente divulgación proporcionan una estructura de torre eólica fabricada de forma aditiva bimaterial y un procedimiento de fabricación. El uso de tecnologías de fabricación aditiva, tales como impresión 3D, permite la fabricación en el sitio de la estructura de torre, también denominada en el presente documento mástil de torre.

[0020] La FIG. 1 es una vista esquemática de una turbina eólica de ejemplo 100. En el modo de realización de ejemplo, la turbina eólica 100 es una turbina eólica de eje horizontal. De forma alternativa, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica de eje vertical. En el modo de realización de ejemplo, la turbina eólica 100 incluye un mástil de torre 102 que se extiende desde y está acoplado a una superficie de soporte 104. El mástil de torre 102 está compuesto de una pluralidad de secciones de torre cilíndricas (descritas actualmente). El mástil de torre 102 se puede acoplar a la superficie de soporte 104 con una pluralidad de pernos de anclaje o por medio de una pieza de montaje de cimentación (ninguno mostrado), por ejemplo. Una góndola 106 está acoplada al mástil de torre 102, y un rotor 108 está acoplado a la góndola 106. El rotor 108 incluye un buje rotatorio 110 y una pluralidad de palas de rotor 112 acopladas al buje 110. En el modo de realización de ejemplo, el rotor 108 incluye tres palas de rotor 112. De forma alternativa, el rotor 108 puede tener cualquier número adecuado de palas de rotor 112 que permita que la turbina eólica 100 funcione como se describe en el presente documento. El mástil de torre 102 puede tener cualquier altura y/o construcción adecuada que permita que la turbina eólica 100 funcione como se describe en el presente documento.

[0021] Las palas de rotor 112 están espaciadas alrededor del buje rotatorio 110 para facilitar la rotación del rotor 108, transfiriendo de este modo la energía cinética de la fuerza del viento 114 a energía mecánica usable, y posteriormente, energía eléctrica. El rotor 108 y la góndola 106 rotan alrededor del mástil de torre 102 en un eje de orientación ("yaw axis") 116 para controlar una perspectiva, o ángulo azimutal, de las palas de rotor 112 con respecto a la dirección del viento 114. Las palas de rotor 112 se acoplan al buje 110 acoplando una parte de raíz de pala 118 al buje 110 en una pluralidad de regiones de transferencia de carga 120. Cada región de transferencia de carga 120 tiene una región de transferencia de carga de buje y una región de transferencia de carga de pala (ambas no mostradas en la FIG. 1). Las cargas inducidas a las palas de rotor 112 se transfieren al buje 110 por medio de la carga de las regiones de transferencia 120. Cada pala de rotor 112 también incluye una punta de pala 122.

[0022] En el modo de realización de ejemplo, las palas de rotor 112 tienen una longitud de entre aproximadamente 30 metros (m) (99 pies (ft)) y aproximadamente 120 m (394 ft). De forma alternativa, las palas de rotor 112 pueden tener cualquier longitud adecuada que permita que la turbina eólica 100 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, las palas de rotor 112 pueden tener una longitud adecuada menor de 30 m o mayor de 120 m. A medida que el viento 114 entra en contacto con la pala de rotor 112, se inducen fuerzas de elevación de pala en la pala de rotor 112 y se induce la rotación del rotor 108 alrededor de un eje de rotación 124 a medida que se acelera la punta de pala 122.

[0023] Un ángulo de *pitch* (no mostrado) de las palas de rotor 112, es decir, un ángulo que determina la perspectiva de la pala de rotor 112 con respecto a la dirección del viento 114, se puede cambiar mediante un conjunto de *pitch* (no mostrado en la figura 1). El incremento del ángulo de *pitch* de la pala de rotor 112 disminuye la desviación de pala reduciendo las cargas aerodinámicas en la pala de rotor 112 e incrementando la rigidez fuera del plano del cambio en la orientación geométrica. Los ángulos de *pitch* de las palas de rotor 112 se ajustan alrededor de un eje de *pitch* 126 en cada pala de rotor 112. En el modo de realización de ejemplo, los ángulos de *pitch* de las palas de rotor 112 se controlan individualmente. De forma alternativa, los ángulos de *pitch* de las palas de rotor 112 se controlan como un grupo.

[0024] Las FIGS. 2 y 3 son vistas esquemáticas de un modo de realización de ejemplo de una sección de torre de múltiples materiales como se divulga en el presente documento. En una vista isométrica esquemática (FIG. 2) y una vista esquemática superior (FIG. 3) se ilustra una sección de torre de múltiples materiales 130 para su uso para facilitar el ensamblaje del mástil de torre 102 (mostrado en la FIG. 1). En el modo de realización de ejemplo, la sección de torre de múltiples materiales 130 se define por una estructura de pared 132 y se orienta en una conformación tubular alrededor de un eje longitudinal "X" 134. La sección de torre de múltiples materiales 130, sin embargo, puede incluir cualquier configuración que facilite el ensamblaje del mástil de torre 102. La sección de torre de múltiples materiales 130 tiene una longitud L_1 , como se mide entre los extremos 136, 138, en un intervalo de entre aproximadamente 1 m y aproximadamente 60 m. Además, la sección de torre de múltiples materiales 130 tiene un diámetro D_1 en un intervalo de entre aproximadamente 4,3 m y aproximadamente 10,0 m y un diámetro interior D_2 en un intervalo de entre aproximadamente 3,7 m y aproximadamente 9,4 m, cada uno dependiendo de la colocación de la sección de torre de múltiples materiales 130 dentro de la estructura de mástil de torre 102. La sección de torre de múltiples materiales 130 puede tener diámetros constantes en toda la longitud, L_1 , o estrecharse del extremo 136 al extremo 138, dando como resultado un mástil de torre ahusado. En el modo de realización de ejemplo, la sección 130 incluye una configuración sustancialmente recta para facilitar la formación de un mástil de torre, tal como el mástil de torre 102 (FIG. 1) que tiene una conformación cilíndrica sustancialmente recta. En un modo de realización alternativo, la sección de torre de

múltiples materiales 130 se puede configurar para proporcionar un mástil de torre que tiene una conformación alternativa, tal como, pero sin limitarse a, conformaciones triangular, ovalada, cuadrada, poligonal, hexagonal, octagonal, panal de abeja ("honeycomb") y cualquier otra sección transversal que se considere óptima para las condiciones eólicas en el sitio de turbina.

[0025] La sección de torre de múltiples materiales 130 de las FIGS. 2 y 3 se forma en el sitio por técnicas de fabricación aditiva (descritas actualmente), tales como impresión 3D. La sección de torre de múltiples materiales 130 se forma por un material de hormigón 140 que tiene al menos una estructura de refuerzo interna 142 formada en el material de hormigón 140. En este modo de realización particular, la al menos una estructura de refuerzo interna 142 comprende una pluralidad de refuerzos de acero embebidos, y más específicamente una pluralidad de barras de refuerzo de acero embebidas 144, a menudo denominadas "barra de refuerzo" ("rebar"). En consecuencia, este modo de realización particular se puede describir como una sección de torre de múltiples materiales 130, y más en particular comprender como una estructura de torre bimaternal. En un modo de realización alternativo, la al menos una estructura de refuerzo interna 142 comprende una pluralidad de refuerzos embebidos compuestos de un material compuesto o cualquier otro material aplicable para proporcionar la resistencia requerida a la estructura global. Aún en otro modo de realización alternativo, la sección de torre de múltiples materiales 103 puede estar compuesta de más de los dos materiales mencionados.

[0026] En el modo de realización de las FIGS. 2 y 3, la al menos una estructura de refuerzo interna 142 se forma por hilos metálicos continuos que se forman fácilmente durante el procedimiento de fabricación aditiva (descrito actualmente) a lo largo de toda la longitud L_1 de la sección de torre de múltiples materiales 130. La al menos una estructura de refuerzo interna 142 estabiliza el material de hormigón 140 y mejora las propiedades de resistencia al agrietamiento del material de hormigón 140. En un modo de realización, la al menos una estructura de refuerzo interna 142 fabricada de forma aditiva se diseña y se construye en localizaciones específicas dentro de la estructura de pared 132 formando la sección de torre de múltiples materiales 130 de modo que se reduce el peso global de la sección de torre de múltiples materiales 130 y el mástil de torre resultante, formado por una o más de las secciones de torre de múltiples materiales 130.

[0027] En referencia ahora a las FIGS. 4 y 5, se ilustran vistas esquemáticas de otro modo de realización de ejemplo de una sección de torre de múltiples materiales como se divulga en el presente documento. Se debe entender que elementos similares tienen números similares en todos los modos de realización descritos en el presente documento. En una vista isométrica esquemática (FIG. 4) y una vista esquemática superior (FIG. 5) se ilustra una sección de torre de múltiples materiales 150 para su uso para facilitar el ensamblaje del mástil de torre 102 (mostrado en la FIG. 1). En el modo de realización de ejemplo, la sección de torre de múltiples materiales 150 se define por una estructura de pared 132 y se orienta en una conformación tubular alrededor de un eje longitudinal "X" 134. Como se describe previamente con respecto al modo de realización de las FIGS. 2 y 3, la sección de torre de múltiples materiales 150 puede incluir cualquier configuración que facilite el ensamblaje del mástil de torre 102. La sección de torre de múltiples materiales 150 tiene una longitud L_1 , como se mide entre los extremos 136, 138, en un intervalo de entre aproximadamente 1 m y aproximadamente 60 m. Además, la sección de torre de múltiples materiales 150 tiene un diámetro exterior D_1 en un intervalo de entre aproximadamente 4,3 m y aproximadamente 10,0 m y un diámetro interior D_2 en un intervalo de aproximadamente 3,7 m y aproximadamente 9,4 m, cada uno dependiendo de la colocación de la sección de torre de múltiples materiales 150 dentro de la estructura de mástil de torre. La sección de torre de múltiples materiales 150 puede tener un diámetro constante en toda la longitud, L_1 , o estrecharse del extremo 136 al extremo 138, dando como resultado un mástil de torre ahusado 102. En el modo de realización de ejemplo, la sección de torre de múltiples materiales 150 incluye una configuración sustancialmente recta para facilitar la formación de un mástil de torre, tal como un mástil de torre 102 (FIG. 1) que tiene una conformación cilíndrica sustancialmente recta. En un modo de realización alternativo, la sección de torre de múltiples materiales 150 se puede configurar para proporcionar un mástil de torre que tiene una conformación alternativa, tal como, pero sin limitarse a, conformaciones triangular, ovalada, cuadrada, poligonal, hexagonal, octagonal, panal de abeja y cualquier otra sección transversal que se considere óptima para las condiciones eólicas en el sitio de turbina.

[0028] Similar al modo de realización de las FIGS. 2 y 3, la sección de torre de múltiples materiales 150 de las FIGS. 4 y 5 se forma en el sitio por técnicas de fabricación aditiva (descritas actualmente), tales como impresión 3D. La sección de torre de múltiples materiales 150 se forma por un material de hormigón 140 que tiene al menos una estructura de refuerzo interna 142 formada en el material de hormigón 140. En este modo de realización particular, la al menos una estructura de refuerzo interna 142 comprende una pluralidad de espárragos en T de acero embebidos 152. La pluralidad de espárragos en T ("t-studs") de acero embebidos 152 se orientan para extenderse radialmente desde al menos uno del diámetro exterior D_1 o el diámetro interior D_2 de la sección de torre de múltiples materiales 150. En el modo de realización ilustrado de las FIGS. 3 y 4, la pluralidad de espárragos en T de acero embebidos 152 se extienden radialmente tanto desde el diámetro interior D_1 como desde el diámetro exterior D_2 de la sección de torre de múltiples materiales 150. En el modo de realización de las FIGS. 4 y 5, la al menos una estructura de refuerzo interna 142 se forma durante el procedimiento de fabricación aditiva (descrito actualmente) dispersa a lo largo de toda la longitud L_1 de la sección de torre de múltiples materiales 150. La al menos una estructura de refuerzo interna 142, y más en particular, la pluralidad de espárragos en T embebidos 152 estabilizan el material de hormigón 140 y mejoran las propiedades de resistencia al agrietamiento del material de hormigón 140. En un modo de realización, la al menos una estructura de refuerzo interna 142 fabricada de forma aditiva se diseña y se construye en localizaciones

específicas dentro de la estructura de pared 132 formando la sección de torre de múltiples materiales 150 de modo que se reduce el peso total de la sección de torre de múltiples materiales 150 y el mástil de torre resultante, formado por una o más de las secciones de torre de múltiples materiales 150.

- 5 **[0029]** En referencia ahora a las FIGS. 6-9, se ilustran vistas esquemáticas de modos de realización de ejemplo adicionales de una sección de torre de múltiples materiales como se divulga en el presente documento. En una vista isométrica esquemática (FIG. 6) y una vista esquemática superior (FIG. 7) se ilustra una sección de torre de múltiples materiales 160 para su uso para facilitar el ensamblaje del mástil de torre 102 (mostrado en la FIG. 1). Además, se ilustra en una vista isométrica esquemática (FIG. 8) y una vista esquemática superior (FIG. 9) una sección de torre de múltiples materiales 170 para su uso para facilitar el ensamblaje del mástil de torre 102 (mostrado en la FIG. 1). Como en los modos de realización divulgados previamente, en los modos de realización de ejemplo de las FIGS. 6-9, las secciones de torre de múltiples materiales 160 y 170 se definen cada una por una estructura de pared 132 y se orientan en una conformación tubular alrededor de un eje longitudinal "X" 134.
- 10
- 15 **[0030]** En contraste con los modos de realización previos, la sección de torre de múltiples materiales 170 se ilustra como formada por múltiples subcomponentes 172, 174 que se unen entre sí después de la fabricación (descrita actualmente), pero se puede formar como una sola pieza de manera similar a la sección de torre de múltiples materiales 160. Como se ilustra, la sección de torre de múltiples materiales 170 se ilustra formada en dos piezas, pero se anticipa que la sección de torre de múltiples materiales 170 se podría formar por cualquier número de piezas de subcomponentes. Además, se debe entender que, adicionalmente, las secciones de torre de múltiples materiales 130, 150 y 160, aunque se ilustran como formadas por una sola pieza, se pueden fabricar incluyendo subcomponentes que se unen entre sí después de la fabricación.
- 20
- 25 **[0031]** Como se describe previamente con respecto al modo de realización de las FIGS. 2 y 3, las secciones de torre de múltiples materiales 160 y 170 pueden incluir cualquier configuración que facilite el ensamblaje del mástil de torre 102. Las secciones de torre de múltiples materiales 160 y 170 tienen una longitud L_1 , como se mide entre los extremos 136, 138, similar a los modos de realización previos divulgados. Además, cada una de las secciones de torre de múltiples materiales 160 y 170 tiene un diámetro exterior D_1 y un diámetro interior D_2 similar a los modos de realización previos divulgados, cada una dependiendo de la colocación de la sección de torre de múltiples materiales 160 y 170 dentro de la estructura de mástil de torre. Las secciones de torre de múltiples materiales 160 y 170 pueden tener diámetros constantes en toda la longitud, L_1 , o estrecharse del extremo 136 al extremo 138, dando como resultado un mástil de torre ahusado. En los modos de realización de ejemplo, las secciones de torre de múltiples materiales 160 y 170 incluyen una configuración sustancialmente recta para facilitar la formación de un mástil de torre, tal como un mástil de torre 102 (FIG. 1) que tiene una conformación cilíndrica sustancialmente recta. En modos de realización alternativos, las secciones de torre de múltiples materiales 160 y 170 se pueden configurar para proporcionar un mástil de torre que tiene una conformación alternativa, tal como, pero sin limitarse a, conformaciones triangular, ovalada, cuadrada, poligonal, hexagonal, octogonal, panal de abeja y cualquier otra sección transversal que se considere óptima para las condiciones eólicas en el sitio de turbina.
- 30
- 35
- 40 **[0032]** Similar al modo de realización de las FIGS. 2 y 3, la sección de torre de múltiples materiales 160 de las FIGS. 6 y 7 y la sección de torre de múltiples materiales 170 de las FIGS. 8 y 9 se forman en el sitio por técnicas de fabricación aditiva (descritas actualmente), tales como impresión 3D. En contraste con los modos de realización divulgados previamente, las secciones de torre de múltiples materiales 160 y 170, y más en particular la estructura de pared 132 de cada una, se forma por una concha tubular interior 162 y una concha tubular exterior 164. En un modo de realización, la concha tubular interior 162 y la concha tubular exterior 164 se forman por acero. En otro modo de realización, la concha tubular interior 162 y la concha tubular exterior 164 se forman por un material compuesto. Las secciones de torre de múltiples materiales 160 y 170 se forman además por al menos una estructura de refuerzo interna 142. En los modos de realización de las FIGS. 6-9, la al menos una estructura de refuerzo interna 142 comprende una estructura de armadura interna 166 que se extiende una distancia entre la concha tubular interior 162 y la concha tubular exterior 164. En un modo de realización, la estructura de armadura 166 puede comprender cualquier número de configuraciones de armadura, tales como, pero sin limitarse a, una configuración sinusoidal, como se ilustra mejor en las FIGS. 6 y 7, una configuración recta, como se ilustra mejor en las FIGS. 8 y 9, una configuración trapezoidal (no mostrada), en panal de abeja, o similar.
- 45
- 50
- 55 **[0033]** En los modos de realización ilustrados de las FIGS. 6-9, la estructura de armadura interna 166 se extiende de forma sustancialmente radial entre un diámetro interior D_3 de la concha tubular exterior 164 y un diámetro exterior D_4 de la concha tubular interior 162. En un modo de realización alternativo, la estructura de armadura interna 166 puede solapar al menos una parte de la concha tubular exterior 164 y la concha tubular interior 162. En el modo de realización de las FIGS. 6-9, la concha tubular interior 162, la concha tubular exterior 164 y la estructura de refuerzo interna 142, y más en particular la estructura de armadura 166 se forman durante el procedimiento de fabricación aditiva (descrito actualmente) a lo largo de toda la longitud L_1 de cada una de las secciones de torre de múltiples materiales 160 y 170. En un modo de realización, cada una de la concha tubular interior 162, la concha tubular exterior 164 y la estructura de refuerzo interna 142 fabricadas de forma aditiva, se diseñan y se construyen en localizaciones específicas dentro de la estructura de pared 132 formando las secciones de torre de múltiples materiales 160 y 170 de modo que se reduce el peso global de cada una de las secciones de torre de múltiples materiales 160 y 170 y el mástil de torre resultante, formado por una o más de las secciones de torre de múltiples materiales 160 y 170. Además,
- 60
- 65

separando la concha tubular interior 162 y la concha tubular exterior 164, el momento de inercia del mástil de torre, tal como un mástil de torre 102 de la FIG. 1, se puede incrementar dando como resultado mayores cargas sostenidas, tensiones minimizadas y una resistencia mejorada al pandeo.

[0034] La FIG. 10 ilustra un procedimiento de unión de la pluralidad de los múltiples subcomponentes 172 y 174 de la sección de torre de múltiples materiales 170 de las FIGS. 8 y 9 y unión de la sección de torre de múltiples materiales 170 a otra sección de torre del mástil de torre 102. Se debe entender que el procedimiento de unión es adicionalmente aplicable a la unión de las secciones de torre de múltiples materiales 130, 150 y 160 cuando se forman por múltiples subcomponentes, cada uno de menos de 360 grados y/o la unión de las secciones de torre de múltiples materiales 130, 150 y 160 a otra sección de torre del mástil de torre 102. En el procedimiento descrito, la sección de torre de múltiples materiales 170 se ilustra como formada por los múltiples subcomponentes 172, 174. En este modo de realización particular, los múltiples subcomponentes 172, 174 se unen en una unión de empalme vertical 176 formada por la parte superpuesta de los múltiples subcomponentes 172, 174. En el modo de realización ilustrado de la FIG. 10, se proporciona una sección de unión interior 178 para unir los múltiples subcomponentes 172, 174 en la unión de empalme vertical 176. La sección de unión interior 178 se puede formar por acero, un material compuesto impreso o similar. Se puede formar una pluralidad de orificios pasantes 180 en cada uno de los múltiples subcomponentes 172, 174 y la sección de unión interior 178, facilitando la inserción en los mismos de un fijador 182 y bloqueando los múltiples subcomponentes 172, 174 para formar la unión de empalme vertical 176. Además, como se ilustra en la FIG. 10, la sección de torre de múltiples materiales 170 se configura para acoplarse a otra sección del mástil de torre 102, en general similar a la sección de torre de múltiples materiales 170 (no mostrada) en una unión de empalme circunferencial 184.

[0035] La unión de empalme circunferencial 184 se forma en general de la misma manera que la unión de empalme vertical 176 y puede incluir una sección de unión interior 186 y una pluralidad de orificios pasantes 188 formados en cada una de las secciones de torre de múltiples materiales 170 y la sección de unión interior 186. La pluralidad de orificios pasantes 188 facilitan la inserción en los mismos de un fijador 190 y el bloqueo de las secciones de torre de múltiples materiales 170 para formar la unión de empalme circunferencial 184. Similar a la sección de unión interior 178, la sección de unión interior 186 se puede formar por acero, un material compuesto impreso o similar.

[0036] En un modo de realización alternativa, una pluralidad de las secciones de torre de múltiples materiales 170 se pueden unir por una o más partes de brida, como se ilustra mejor en las FIGS. 11-13. Se debe entender que el procedimiento de unión es adicionalmente aplicable a la unión de las secciones de torre de múltiples materiales 130, 150 y 160 a otra sección de torre del mástil de torre 102. En base a la altura de torre, una sección de torre de múltiples materiales 170 se puede soldar a una parte de brida 192 y otra sección 170 se puede soldar a otra parte de brida 194.

[0037] La FIG. 13 ilustra la parte de brida 192 acoplada a la parte de brida 194 por un fijador 196. Las partes de brida 192, 194 pueden tener cualquier configuración para facilitar el acoplamiento de una sección de torre de múltiples materiales 170 a otra sección de torre de múltiples materiales 170. En un modo de realización adecuado, la sección de torre de múltiples materiales 170 está soldada a una parte macho de la brida 194 que tiene un saliente 198. Otra sección de torre de múltiples materiales 170 está soldada a una parte hembra de la brida 192 que tiene una ranura 200. Se puede usar cualquier procedimiento de soldadura tal como, pero sin limitarse a, soldadura HLAW, EBW y FSW para unir la sección de torre de múltiples materiales 170 con las partes de brida 192, 194. El saliente 198 se inserta en la ranura 200 y el fijador 196 acopla la parte de brida 192 a la parte de brida 194.

[0038] Las FIGS. 14 y 15 ilustran procedimientos para la fabricación de la estructura de torre de múltiples materiales divulgada en el presente documento. Más en particular, se ilustra en la FIG. 14 un primer modo de realización de un procedimiento de fabricación de una estructura de torre de múltiples materiales, tal como cualquiera de la estructura de torre 130 y 150. Para los propósitos de ilustración, el procedimiento se muestra junto con la estructura de torre de múltiples materiales 130. Durante la fabricación, la impresión de metal y, más en particular, la fabricación aditiva de la estructura de refuerzo interna 142 se produce a altas temperaturas que pueden dar lugar a daño del material de hormigón circundante 140. En consecuencia, en un modo de realización, durante el procedimiento de fabricación aditiva, las estructuras de refuerzo internas 142 se imprimen primero. A continuación, el material de hormigón 140 se puede imprimir alrededor del metal enfriado y, más en particular, alrededor de las estructuras de refuerzo internas 142. Para lograr esto, como se ilustra mejor en la FIG. 14, en un sistema de fabricación aditiva 200, se ilustra un cabezal de impresión 202 incluyendo una boquilla de hormigón 204 y una boquilla de metal 206. Durante la rotación, como se indica por la flecha direccional, la boquilla de metal 206 imprime metal para formar las estructuras de refuerzo internas 142, simultáneamente con la boquilla de hormigón 204 que imprime el material de hormigón 140. En un modo de realización alternativo como se ilustra mejor en la FIG. 15, se ilustra un sistema de fabricación aditiva 210, que incluye un cabezal de impresión 212 que incluye una sola boquilla 214 para imprimir un metal para formar las estructuras de refuerzo internas 142 durante una primera rotación, seguido del material de hormigón 140 durante una rotación posterior, como se indica por la flecha direccional.

[0039] Las FIGS. 16 y 17 ilustran procedimientos adicionales para la fabricación de la estructura de torre de múltiples materiales divulgada en el presente documento. Más en particular, se ilustra en la FIG. 16 un primer modo de realización de un procedimiento de fabricación de una estructura de torre de múltiples materiales, tal como las secciones de torre 160 y 170. Se anticipa que las secciones de torre de múltiples materiales 160, 170 se pueden

imprimir de un material de hormigón o un material metálico, tal como acero, o cualquier combinación de los dos, tal como estructuras de pared 132 de hormigón con estructura de refuerzo interna 142 de metal, y más específicamente la estructura de armadura interna 166 o estructuras de pared 132 de hormigón con estructura de refuerzo interna 142 de hormigón, y más específicamente la estructura de armadura interna 166. Para los propósitos de ilustración, el procedimiento se muestra junto con la estructura de torre de múltiples materiales 160. En consecuencia, en un modo de realización, durante el procedimiento de fabricación aditiva, las estructuras de refuerzo internas 142 se pueden imprimir simultáneamente o por separado de la impresión de las estructuras de pared 132. Para lograr esto, como se ilustra mejor en la FIG. 16, en un sistema de fabricación aditiva 300, las estructuras de pared 132 y las estructuras de refuerzo internas 142, y más específicamente la estructura de armadura interna 166, se pueden imprimir simultáneamente durante una sola rotación. En un modo de realización alternativo, como se ilustra mejor en la FIG. 17, las estructuras de pared 132 se pueden imprimir durante una primera rotación, seguido de las estructuras de refuerzo internas 142, y más específicamente la estructura de armadura interna 166, durante una rotación posterior, en una etapa siguiente.

[0040] En referencia ahora a las FIGS. 18 y 19, se ilustra otro procedimiento para la fabricación de las estructuras de torre de múltiples materiales divulgadas en el presente documento. En este modo de realización particular, se anticipa que las secciones de torre de múltiples materiales 130, 150, 160, 170 se pueden imprimir de un material de hormigón o un material metálico o cualquier combinación de los dos, tal como estructuras de pared 132 de hormigón con estructura de refuerzo interna 142 de metal o estructuras de pared 132 de hormigón con estructura de refuerzo interna 142 de hormigón. Para los propósitos de ilustración, el procedimiento se muestra junto con la estructura de torre de múltiples materiales 130, divulgada previamente. En consecuencia, en un modo de realización, durante el procedimiento de fabricación aditiva, una pluralidad de secciones de torre de múltiples materiales 130 se imprimen simultáneamente y de manera concéntrica anidada. Por tanto, la estructura de torre tiene un diámetro ahusado sobre toda la longitud del mástil de torre 102, pero puede tener un diámetro constante o ahusado sobre cada sección de torre de múltiples materiales 130.

[0041] Usando tecnología de fabricación aditiva, las secciones de torre de múltiples materiales 130 se imprimen en dichas secciones de torre concéntricas "anidadas" en su lugar, de modo que después de que se imprima la estructura de mástil de torre completa, o la parte deseada de la estructura de mástil de torre global, las secciones de torre de múltiples materiales anidadas 130 se pueden condensar ("*telescoped*") y a continuación unir utilizando cualquiera de los procedimientos divulgados previamente, o además, a través del uso de lechada o adhesivos adicionales durante el procedimiento de impresión, o similar, para mantener la extensión del mástil de torre 102 en toda su altura.

[0042] En consecuencia, utilizando tecnologías de fabricación aditiva, tales como impresión 3D, se permite la fabricación de torres de turbinas eólicas "en el sitio". Además, utilizando tecnologías de fabricación aditiva, tales como impresión 3D, se pueden desarrollar estructuras de mástil de torre optimizadas para torres de turbinas eólicas que facilitan reducir el grosor de pared y el peso del mástil de torre mientras se incrementa la rigidez del mástil de torre. Además, al utilizar tecnologías de fabricación aditiva, tales como impresión 3D, se pueden desarrollar estructuras de mástil de torre optimizadas para torres de turbinas eólicas que facilitan la fabricación y el ensamblaje del mástil de torre mientras se reducen los costes de material, transporte y ensamblaje. Además, utilizando tecnologías de fabricación aditiva, tales como impresión 3D, se pueden desarrollar estructuras de mástil de torre optimizadas para torres de turbinas eólicas que facilitan el cumplimiento de las normativas de transporte.

[0043] Además, las tecnologías de fabricación aditiva proporcionan estructuras de refuerzo internas impresas en 3D que se pueden diseñar y construir en localizaciones específicas dentro de una estructura de pared, de modo que se pueda reducir el peso global de la torre de turbina eólica. Las estructuras de torre de múltiples materiales divulgadas en el presente documento pueden incluir adicionalmente estabilización por cable de sujeción.

[0044] La sección de torre se puede usar para la fabricación nueva de turbinas eólicas o para su integración con turbinas eólicas existentes. En un modo de realización, la sección de torre de múltiples materiales incluye una estructura ahusada que facilita la disminución del grosor de pared del mástil de torre y la reducción de la masa del mástil de torre. La estructura ahusada también incrementa la rigidez del mástil de torre para potenciar la proporción resistencia/peso de la torre. Adicionalmente, las secciones de torre potencian además el momento de inercia de la torre, ya que la inercia es proporcional a la rigidez. La rigidez incrementada y la menor masa del mástil de torre reducen la masa base requerida para soportar el mástil de torre en el suelo.

[0045] Un efecto técnico de las secciones de torre de múltiples materiales descritas en el presente documento incluye la capacidad de optimizar el perfil y los materiales dentro de las secciones, lo que facilita la reducción del grosor de pared y el peso del mástil de torre. Otro efecto técnico de optimizar el perfil y los materiales incluye incrementar la rigidez del mástil de torre. Optimizando el perfil y los materiales, se pueden construir grandes turbinas de megavatios con alturas de mástil de torre mayores. Otro efecto técnico de las secciones de torre de múltiples materiales incluye el acoplamiento entre sí de secciones de torre en el sitio de ensamblaje. Las secciones de torre de múltiples materiales disminuyen el coste global de la torre reduciendo los costes de materiales directos, los costes de transporte y los costes de ensamblaje.

[0046] Los modos de realización de ejemplo de una sección de torre de múltiples materiales y los procedimientos de fabricación y ensamblaje de un mástil de torre se describen anteriormente en detalle. La sección de torre de múltiples materiales y los procedimientos no se limitan a los modos de realización específicos descritos en el presente documento.

5 **[0047]** Aunque los rasgos característicos específicos de diversos modos de realización de la invención se pueden mostrar en algunos dibujos y no en otros, esto se hace solo por conveniencia.

10 **[0048]** Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para permitir que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier capa o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos concebidos que se producen para los expertos en la técnica. Dichos otros ejemplos pretenden estar dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica (100) que tiene un mástil de torre (102) que tiene un eje longitudinal, comprendiendo dicho mástil de torre (102):
una pluralidad de secciones de torre de múltiples materiales (130, 150, 160, 170) para el mástil de torre (102), comprendiendo dicha pluralidad de secciones de torre de múltiples materiales (130):
al menos una estructura de pared (132) fabricada de forma aditiva compuesta de al menos un material; y
una pluralidad de estructuras de refuerzo internas (142) fabricadas de forma aditiva compuestas de al menos un material adicional y dispuestas junto con la al menos una estructura de pared (132) fabricada de forma aditiva,
en la que la pluralidad de secciones de torre de múltiples materiales (130) se configuran para ser extensibles desde una configuración anidada para formar al menos una parte del mástil de torre (102).
2. La sección de torre de múltiples materiales (130, 150) de la reivindicación 1, en la que la al menos una estructura de pared (132) fabricada de forma aditiva incluye una estructura de pared compuesta de un material de hormigón (140) y en la que la pluralidad de estructuras de refuerzo internas (142) fabricadas de forma aditiva comprenden al menos uno de una pluralidad de refuerzos de metal (144) embebidos en el material de hormigón (140) durante la fabricación aditiva, una pluralidad de refuerzos de material compuesto (144) embebidos en el material de hormigón (140) durante la fabricación aditiva y una pluralidad de espárragos en T (152) embebidos en el material de hormigón (140) durante la fabricación aditiva
3. La sección de torre de múltiples materiales (160, 170) de las reivindicaciones 1-2, en la que la al menos una estructura de pared (132) fabricada de forma aditiva incluye una concha tubular interior (162) y una concha tubular exterior (164) y en la que la pluralidad de estructuras de refuerzo internas (142) fabricadas de forma aditiva comprenden una estructura de armadura (166) que se extiende entre la concha tubular interior (162) y la concha tubular exterior (164).
4. La sección de torre de múltiples materiales (160, 170) de la reivindicación 3, en la que la concha tubular interior (162) y la concha tubular exterior (164) están compuestas de uno de al menos uno de un material metálico, un material compuesto y un material de hormigón y la estructura de armadura (166) está compuesta de al menos uno de un material metálico, un material compuesto y un material de hormigón.
5. La sección de torre de múltiples materiales (160, 170) de la reivindicación 4, en la que la estructura de armadura (166) incluye una de una configuración sinusoidal, una configuración recta, una configuración trapezoidal y una configuración de panal de abeja.
6. La sección de torre de múltiples materiales (130, 150, 160, 170) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además una brida de acoplamiento (192, 194) dispuesta en extremos opuestos de la sección de torre de múltiples materiales (130, 150, 160, 170).
7. La sección de torre de múltiples materiales (130, 150, 160, 170) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la al menos una sección de torre de múltiples materiales (130, 150, 160, 170) se forma como una de una estructura de una pieza o incluye múltiples estructuras de subcomponentes acopladas entre sí para formar la al menos una sección de torre de múltiples materiales (130, 150, 160, 170).
8. Un procedimiento de fabricación de una turbina eólica (100) que tiene un mástil de torre (102) que tiene un eje longitudinal, comprendiendo el procedimiento:
depositar al menos un primer material por fabricación aditiva para formar una primera parte de una sección de torre de múltiples materiales (130, 150, 160, 170); y depositar al menos un material adicional por fabricación aditiva para formar una parte adicional de la sección de torre de múltiples materiales (130, 150, 160, 170),
en el que el al menos un primer material y el al menos un material adicional no son iguales,
en el que depositar el al menos un primer material por fabricación aditiva para formar la primera parte de la sección de torre de múltiples materiales (130, 150, 160, 170) y depositar al menos un material adicional por fabricación aditiva para formar la parte adicional de la sección de torre de múltiples materiales (130, 150, 160, 170) incluye depositar el al menos un primer material y el al menos un material adicional para formar una pluralidad de secciones de torre de múltiples materiales en una configuración anidada que cuando se extiende forma al menos una parte del mástil de torre (102).

- 5 9. El procedimiento de la reivindicación 8, que comprende además repetir el procedimiento para formar una pluralidad de secciones de torre de múltiples materiales (130, 150, 160, 170) y acoplar la pluralidad de secciones de torre de múltiples materiales (130, 150, 160, 170) en una manera de extremo a extremo para formar al menos una parte del mástil de torre.
- 10 10. El procedimiento de las reivindicaciones 8-9, en el que la primera parte comprende una de una estructura de pared (132) o una estructura de refuerzo interna (142) y la parte adicional es la otra de una estructura de pared (132) o una estructura de refuerzo interna (142).

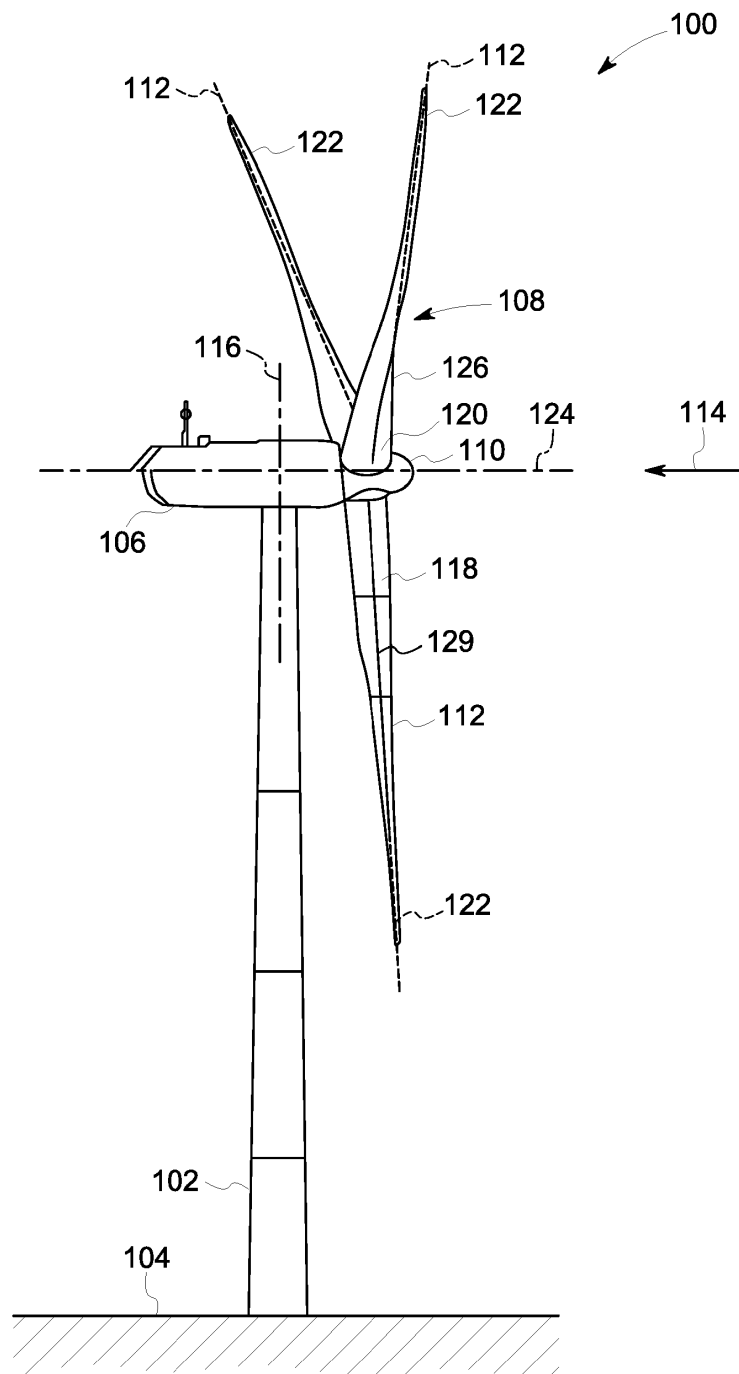


FIG. 1

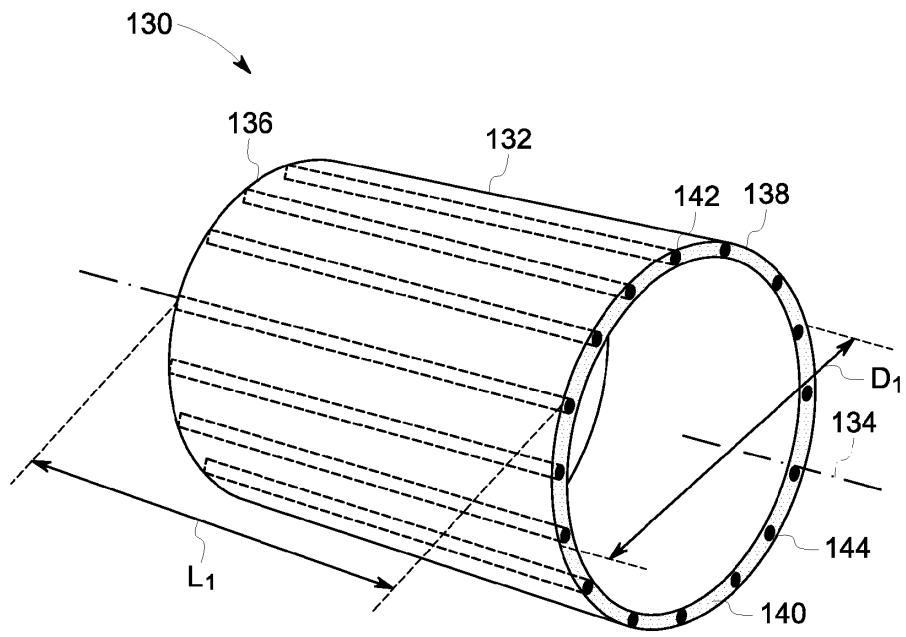


FIG. 2

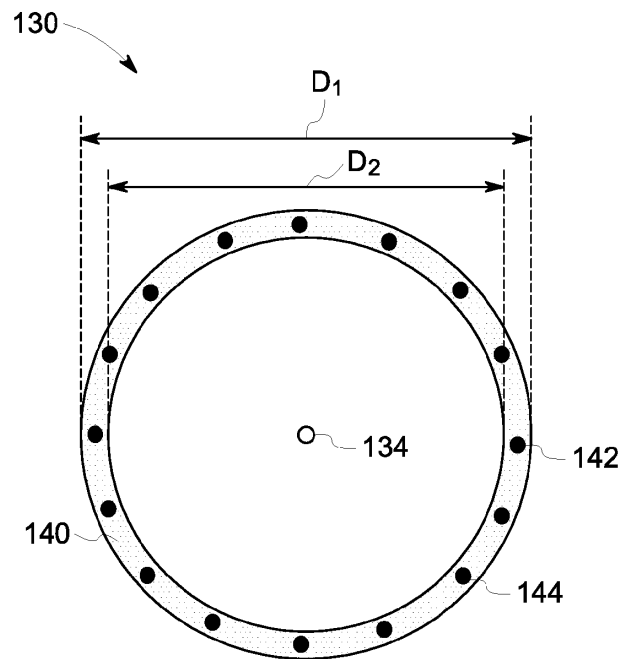


FIG. 3

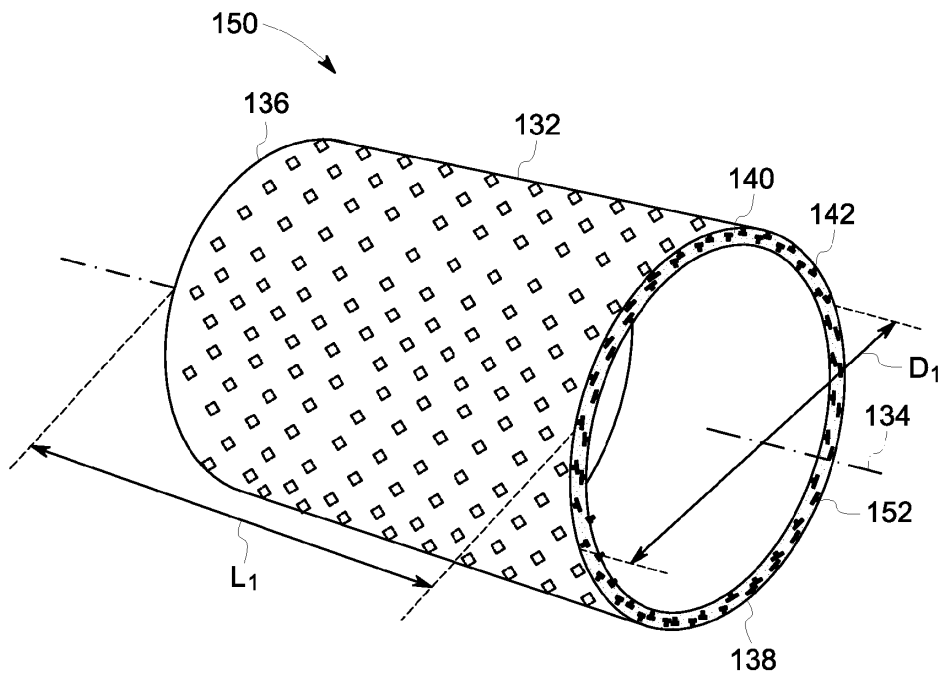


FIG. 4

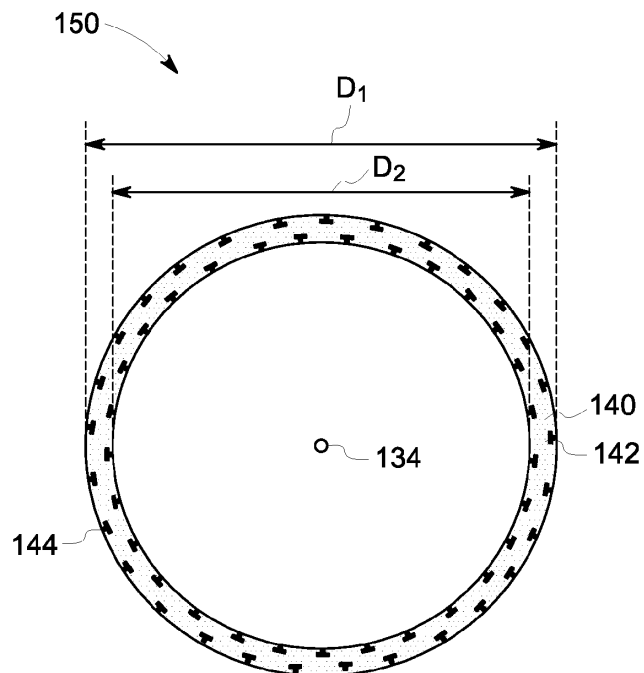


FIG. 5

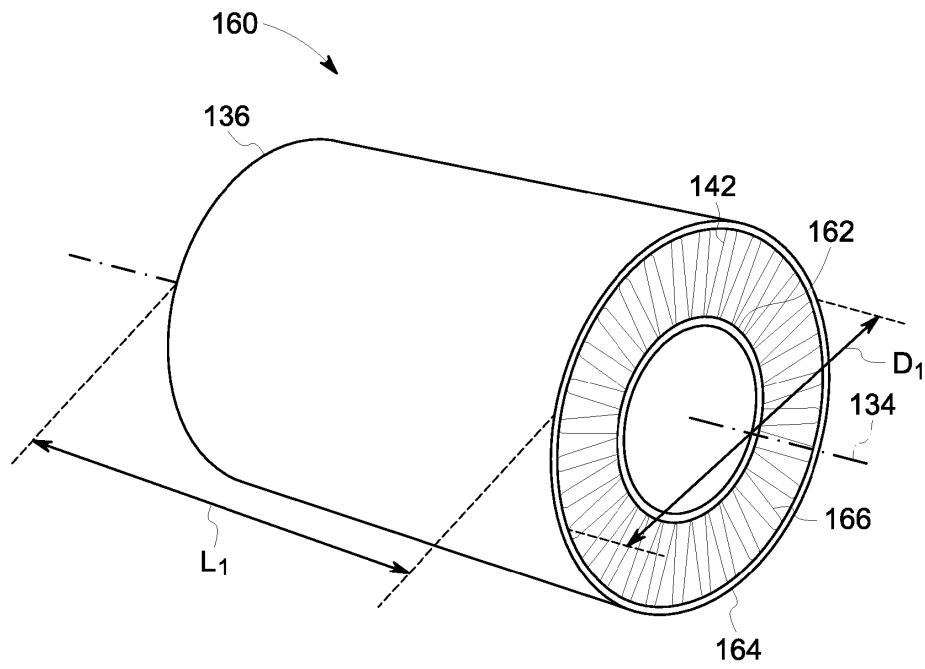


FIG. 6

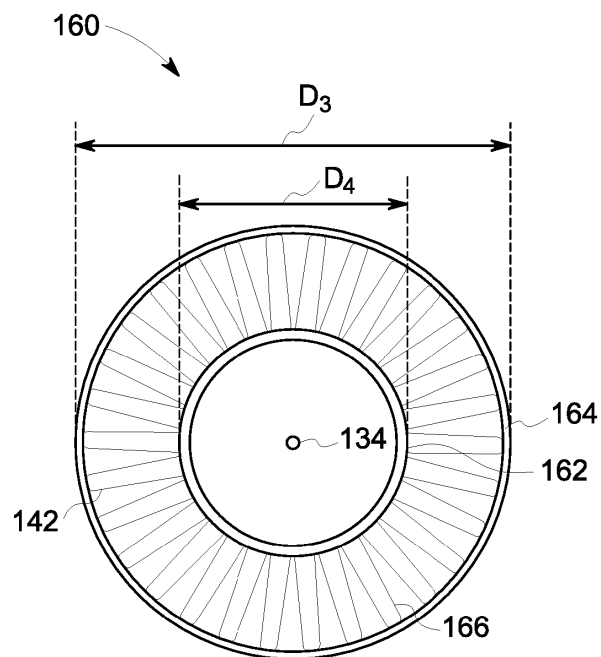


FIG. 7

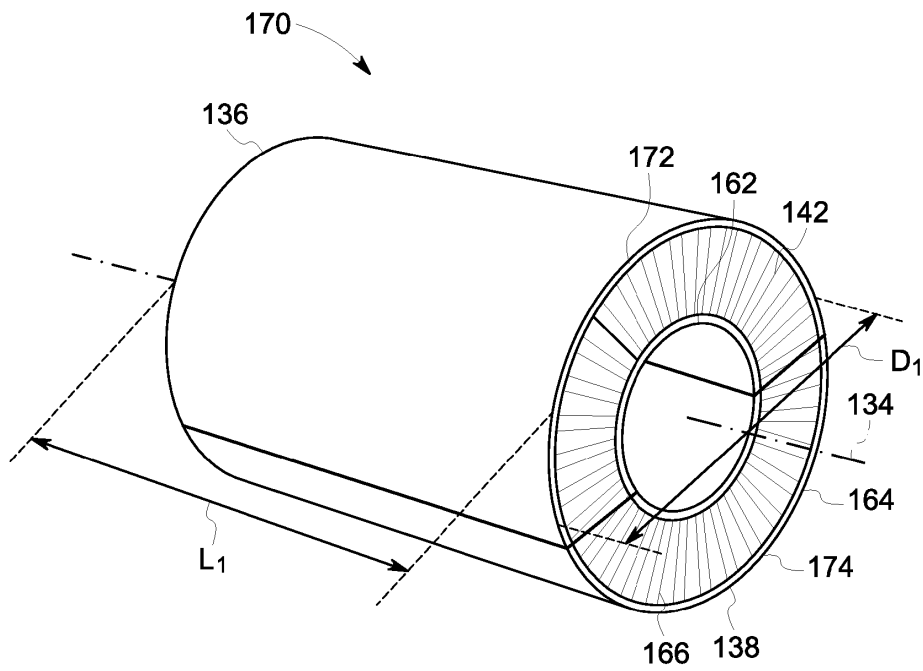


FIG. 8

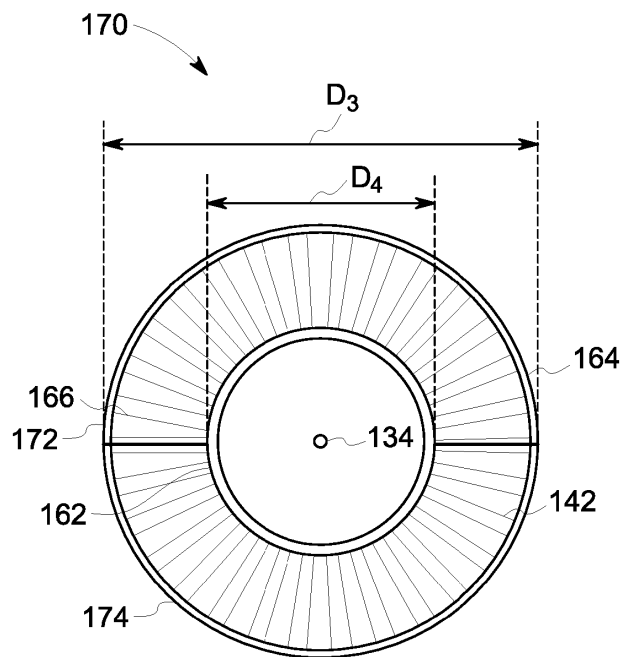


FIG. 9

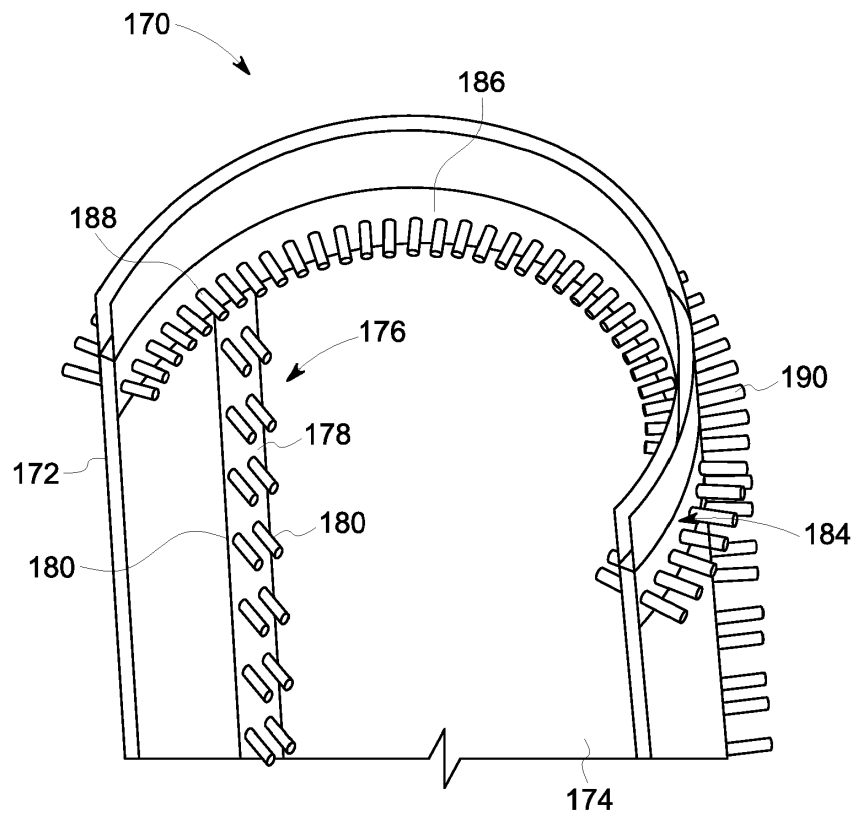


FIG. 10

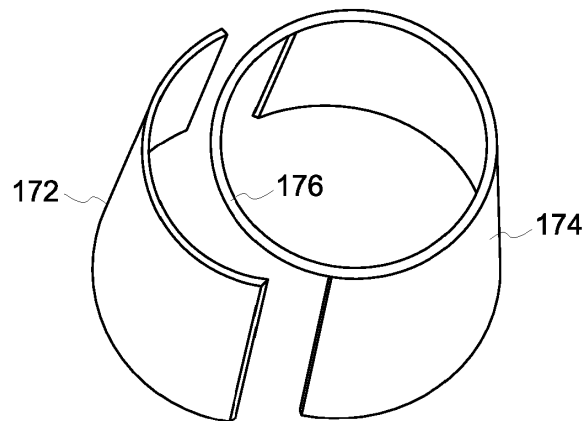


FIG. 11

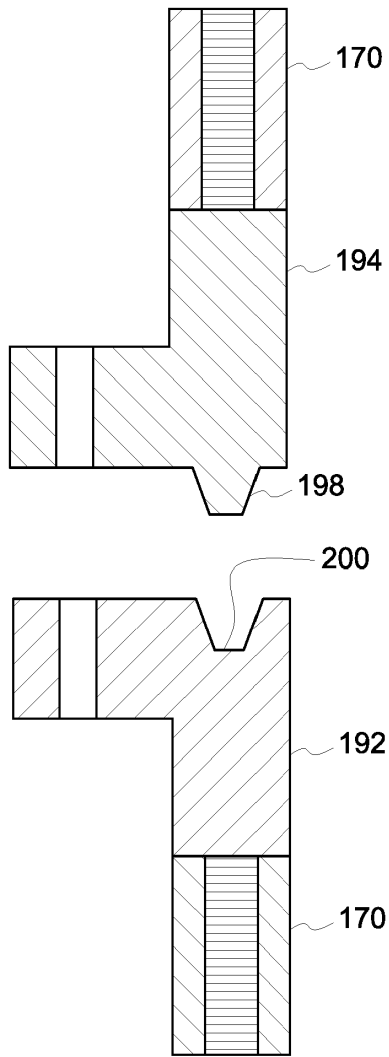


FIG. 12

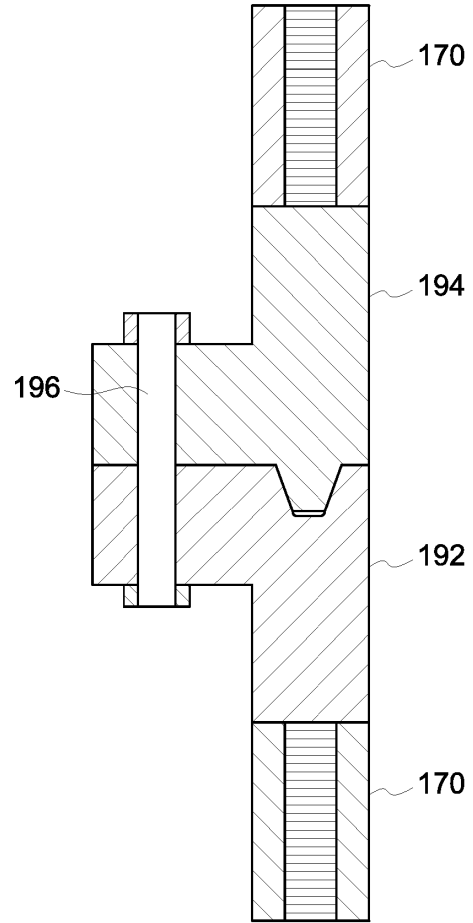


FIG. 13

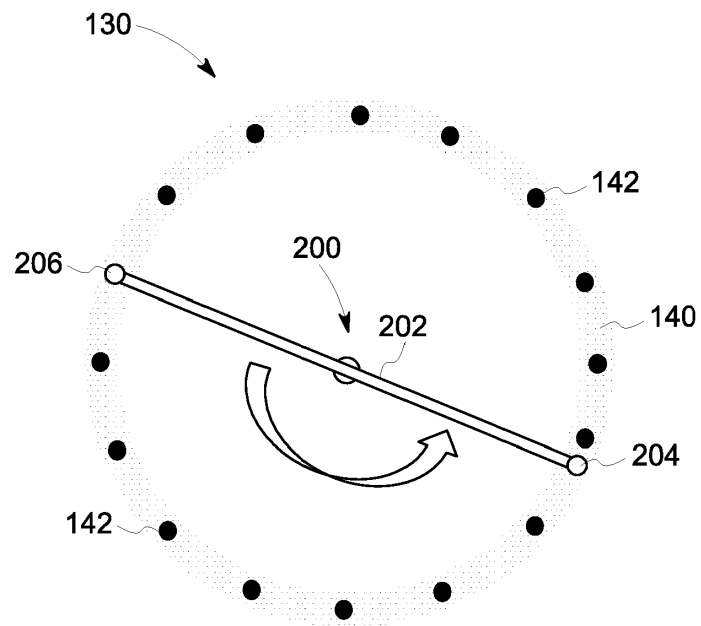


FIG. 14

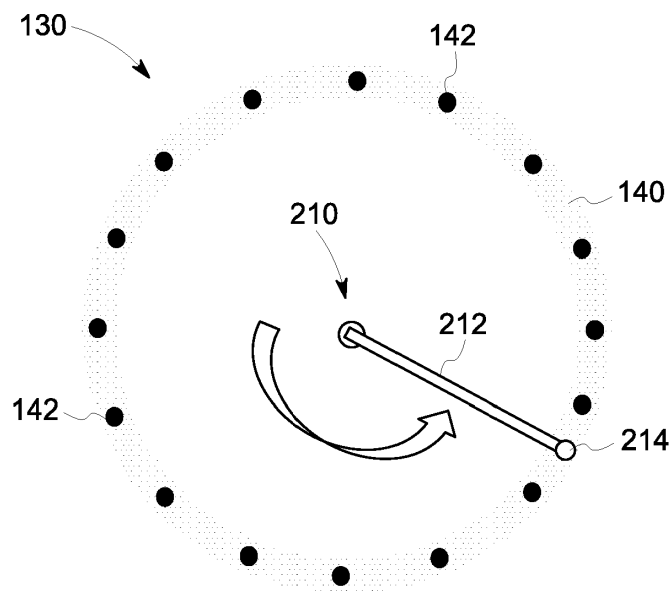


FIG. 15

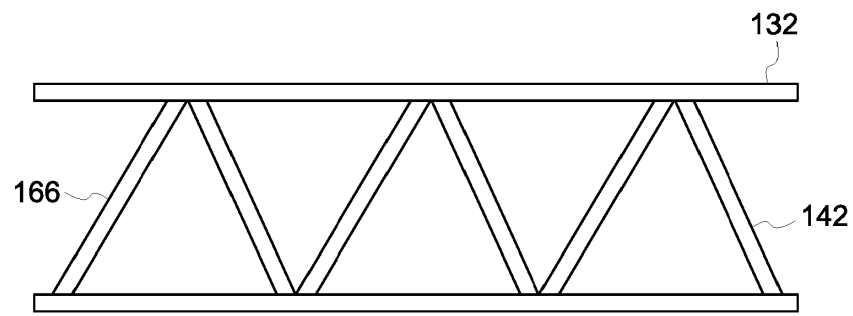


FIG. 16

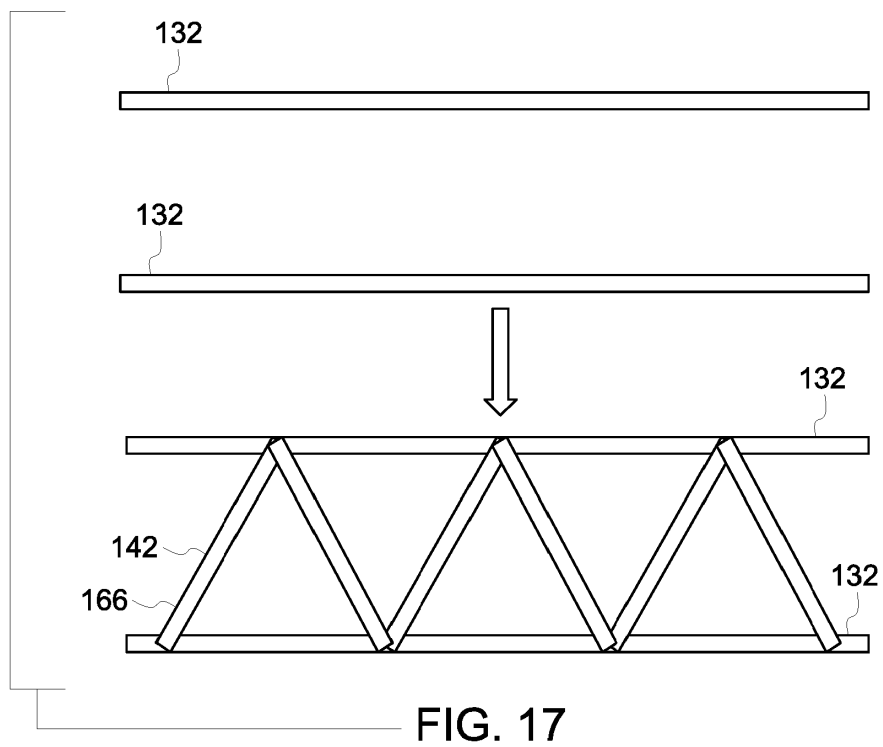


FIG. 17

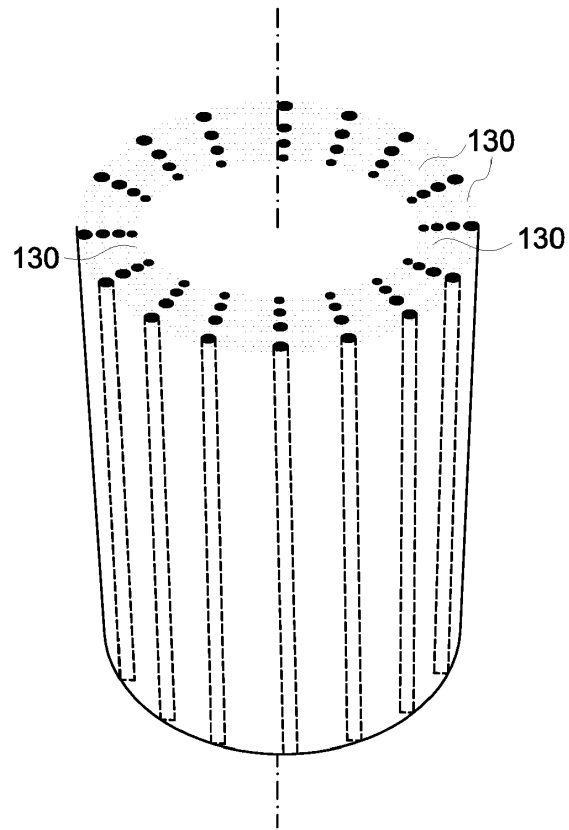


FIG. 18

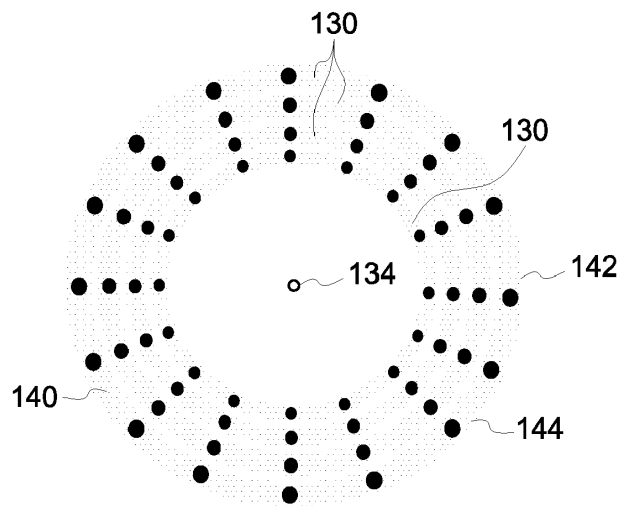


FIG. 19