

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 971 420**

51 Int. Cl.:

F03D 13/20 (2006.01)
F03D 13/10 (2006.01)
B33Y 80/00 (2015.01)
B33Y 10/00 (2015.01)
B33Y 70/00 (2010.01)
E04G 21/04 (2006.01)
F15D 1/00 (2006.01)
F15D 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.09.2018** **PCT/US2018/053477**
87 Fecha y número de publicación internacional: **02.04.2020** **WO20068124**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.09.2018** **E 18792659 (7)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.11.2023** **EP 3857060**

54 Título: **Procedimiento para fabricar una estructura de torre de turbina eólica para evitar desprendimientos de vórtices**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.06.2024

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,
S.L. (100.0%)
Calle Roc Boronat 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

COOPER, GREGORY EDWARD

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 971 420 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 para evitar desprendimientos de vórtices

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 para evitar desprendimientos de vórtices, reducir el arrastre y/o reforzar las estructuras.

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 multiplicadora, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas de rotor capturan energía cinética del viento usando principios alares 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 multiplicadora o, si no se usa una multiplicadora, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica que se puede distribuir en una red de suministro.

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 las 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 incluía 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 están limitados 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 torres 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 unión con pernos. Dichos procedimientos, sin embargo, requieren mucho trabajo y pueden llevar mucho tiempo. El documento US2017/016244 A1 describe un procedimiento de construcción de una torre usando un aparato de impresión en 3D. El documento DE202018003615 U divulga el uso de impresión en 3D para fabricar un elemento de modificación de flujo de aire para una torre de una turbina eólica.

25

30

35

[0004] Además, las torres cilíndricas pueden provocar desprendimientos de vórtices, lo que, en general, se refiere a un flujo oscilante que tiene lugar cuando los flujos de aire pasan por el cuerpo achatado (en lugar de fuselado) a determinadas velocidades, dependiendo del tamaño y forma de la torre. Por tanto, en el flujo oscilante, se crean vórtices en la parte posterior del cuerpo y se desprenden periódicamente de ambos lados del mismo. Por lo tanto, el flujo de fluido que pasa por el cuerpo crea vórtices de baja presión alternos en el lado corriente abajo del cuerpo. Si el cuerpo achatado no está montado rígidamente y la frecuencia de desprendimientos de vórtices coincide con la frecuencia de resonancia de la torre, a continuación, la torre puede comenzar a entrar en resonancia, vibrando con oscilaciones armónicas accionadas por la energía del flujo. Además, el arrastre aerodinámico en la torre incrementa la carga en la estructura y reduce la velocidad del viento, lo que puede tener un efecto negativo sobre una máquina de rotor a sotavento.

45

[0005] En vista de lo anterior, la técnica busca continuamente procedimientos mejorados para fabricar torres de turbina eólica. En consecuencia, la presente divulgación se dirige a procedimientos para fabricar estructuras de torre de turbina eólica que abordan las cuestiones mencionadas anteriormente.

50 **Breve descripción**

[0006] Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden resultar evidentes a partir de la descripción.

55

[0007] En un aspecto, la presente divulgación se dirige a un procedimiento para fabricar una estructura de torre de una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1. El procedimiento incluye imprimir, por medio de un dispositivo de impresión aditiva, la estructura de torre de la turbina eólica de un material cementoso. El procedimiento también incluye imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva, uno o más rasgos característicos de modificación de flujo de aire adicionales, a saber, una pluralidad de abolladuras ("*dimples*") o una pluralidad de festones ("*scallops*"), en una superficie exterior de la estructura de torre de la turbina eólica de modo que se reduzcan y/o eviten desprendimientos de vórtices, excitación y/o arrastre de la estructura de torre. Además, el procedimiento incluye curar el material cementoso para formar la estructura de torre.

60

[0008] En un modo de realización, el/los rasgo(s) característico(s) de modificación de flujo de aire adicional(es) puede(n) incluir además tracas ("*strakes*"), salientes, una o más bobinas enrolladas al menos parcialmente alrededor de la estructura de torre, o combinaciones de los mismos. En otro modo de realización, el procedimiento puede incluir

65

imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva, la estructura de torre de la turbina eólica del material cementoso para que tenga una forma no cilíndrica para reducir y/o evitar además desprendimientos de vórtices, excitación y/o arrastre de la estructura de torre.

[0009] En modos de realización adicionales, durante la impresión, el procedimiento puede incluir incrustar uno o más elementos de refuerzo al menos parcialmente dentro del material cementoso en una o más localizaciones de la estructura de torre. En dichos modos de realización, incrustar los uno o más elementos de refuerzo al menos parcialmente dentro del material cementoso en una o más localizaciones puede incluir imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva, el/los elemento(s) de refuerzo dentro del material cementoso en las una o más localizaciones durante la impresión de la estructura de torre. Más específicamente, en un modo de realización, el/los elemento(s) de refuerzo puede(n) incluir cables o alambres alargados, cables o alambres helicoidales, barras de refuerzo, fibras de refuerzo metálicas o poliméricas, acoplamientos de anillos metálicos de refuerzo y/o malla. Dichos elementos se pueden colocar estáticamente en la estructura de torre para proporcionar refuerzo de hormigón o bien postensados después de que el material cementoso se haya curado para iniciar la compresión de la estructura de torre.

[0010] En varios modos de realización, el procedimiento puede incluir proporcionar uno o más moldes de la estructura de torre en una cimentación de la turbina eólica e imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva, la estructura de torre de la turbina eólica dentro de los uno o más moldes. En dichos modos de realización, el procedimiento también puede incluir imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva, los uno o más moldes de la estructura de torre.

[0011] En otro modo de realización, el procedimiento puede incluir imprimir la estructura de torre de la turbina eólica en una cimentación de la estructura de torre. Además, el procedimiento incluye, tras el curado del material cementoso, proporcionar uno o más cables de refuerzo en una superficie exterior de la estructura de torre.

[0012] En un modo de realización, proporcionar el/los cable(s) de refuerzo en la superficie exterior de la estructura de torre puede incluir enrollar el/los cable(s) de refuerzo en la misma dirección alrededor de la estructura de torre con un espaciado variable entre los arrollamientos y tensar el/los cable(s) de refuerzo en la superficie exterior de la estructura de torre para proporcionar un nivel de compresión variado a la estructura de torre. De forma alternativa, proporcionar el/los cable(s) de refuerzo en la superficie exterior de la estructura de torre puede incluir enrollar una pluralidad de cables de refuerzo en direcciones opuestas alrededor de la estructura de torre con un espaciado constante entre los arrollamientos y tensar el/los cable(s) de refuerzo en la superficie exterior de la estructura de torre para proporcionar un nivel de compresión uniforme a la estructura de torre. Esta compresión actúa tanto en la dirección axial (es decir, altura) como en la dirección horizontal (es decir, circunferencia), lo que permite optimizar el material cementoso de la estructura de torre, reduciendo, de este modo, la cantidad de material cementoso requerido en la estructura de torre en comparación con procedimientos convencionales.

[0013] En otro modo de realización, proporcionar los uno o más cables de refuerzo en la superficie exterior de la estructura de torre puede incluir pretensar el/los cable(s) de refuerzo antes de proporcionar el/los cable(s) de refuerzo en la superficie exterior de la estructura de torre y liberar los uno o más cable(s) de refuerzo pretensado(s) después de curar el material cementoso.

[0014] En otros modos de realización, proporcionar el/los cable(s) de refuerzo en la superficie exterior de la estructura de torre puede incluir imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva, el/los cable(s) de refuerzo en la superficie exterior de la estructura de torre. En varios modos de realización, el/los cable(s) de refuerzo puede(n) incluir, por ejemplo, barras de refuerzo macizas, barras de refuerzo huecas, barras de refuerzo pultrusionadas y/o malla. Se debe entender además que el procedimiento puede incluir además cualquiera de los rasgos característicos y/o etapas adicionales descritos en el presente documento.

[0015] Estos y otros rasgos característicos, 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 la presente memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar la invención.

Breve descripción de los dibujos

[0016] 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:

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

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 primer plano detallada de una parte de un modo de realización de una estructura de torre de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 4 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para fabricar una estructura de torre de una turbina eólica en un emplazamiento de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 5 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un dispositivo de impresión aditiva configurado para imprimir una estructura de torre de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 6 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para fabricar una estructura de torre de una turbina eólica en un emplazamiento de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 7 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una estructura de torre de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra, en particular, cables de refuerzo enrollados en la superficie exterior de la estructura de torre en la misma dirección con un espaciado variable entre los arrollamientos;

la FIG. 8 ilustra una vista en perspectiva de otro modo de realización de una estructura de torre de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra, en particular, cables de refuerzo enrollados en la superficie exterior de la estructura de torre en dirección opuesta con un espaciado constante entre los arrollamientos;

la FIG. 9 ilustra una parte detallada de una parte de la estructura de torre de la FIG. 8, que ilustra, en particular, cables de refuerzo opuestos que están impresos por los dos lados de una barra de refuerzo que se extiende verticalmente;

la FIG. 10 ilustra una vista en perspectiva de todavía otro modo de realización de una estructura de torre de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra, en particular, cables de refuerzo pretensados enrollados en la superficie exterior de la estructura de torre; y

la FIG. 11 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.

Descripción detallada

[0017] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, ilustrándose uno o más de sus ejemplos 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 que se define por las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, se pueden usar los rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de realización 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 que entren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

[0018] En general, la presente divulgación se dirige a procedimientos para fabricar torres de turbina eólica usando el depósito automatizado de materiales cementosos por medio de tecnologías tales como fabricación aditiva, impresión 3-D, depósito por pulverización, fabricación aditiva por extrusión, impresión en hormigón, depósito de fibras automatizado, así como otras técnicas que utilizan control numérico por ordenador y múltiples grados de libertad para depositar material. Más específicamente, los procedimientos de la presente divulgación incluyen rasgos característicos de impresión o geometría alterna en torres de turbina eólica de hormigón para eliminar la posibilidad de desprendimientos de vórtices.

[0019] 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 están montadas en un buje 18 de rotor, que, a su vez, está conectado a una brida principal que gira un eje de rotor principal. Los componentes de control y generación 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 situar 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.

[0020] En referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra una vista en sección transversal parcial de un modo de realización de la estructura de torre 12 de la turbina eólica 10 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, la estructura de torre 12 se puede formar a partir de una pluralidad de secciones 25, 27. Más específicamente, como se muestra, la estructura de torre 12 puede tener una primera sección de torre 25 y una segunda sección de torre 27. Además, la torre 12 ilustrada define una pared de torre 20 circunferencial que tiene una superficie exterior 22 y una

superficie interior 24. Además, como se muestra, la pared de torre 20 circunferencial, en general, define una parte interior 26 hueca que se usa comúnmente para alojar diversos componentes de turbina (por ejemplo, un convertidor de potencia, transformador, etc.) a lo largo de diferentes localizaciones en la torre 12. Además, como se describirá con más detalle a continuación, la estructura de torre 12 se forma, al menos en parte, usando fabricación aditiva. Además, como se muestra, la estructura de torre 12 se forma, al menos en parte, de un material cementoso 28 que se puede reforzar con uno o más elementos de refuerzo 30. En modos realización particulares, el/los elemento(s) de refuerzo 30 descrito(s) en el presente documento puede(n) incluir, por ejemplo, cables o alambres alargados, barras de refuerzo (huecas o macizas), fibras de refuerzo (metálicas o poliméricas), anillos metálicos de refuerzo (circulares, ovalados, en espiral y otros que puedan ser pertinentes) o acoplamientos, malla y/o cualquiera de dichas estructuras que se pueda conocer en la técnica para reforzar estructuras de hormigón. Como tal, la estructura de torre 12 reforzada está configurada para aguantar cargas del viento que pueden provocar que la torre 12 sea susceptible a agrietamiento. Además, como se usa en el presente documento, el material cementoso 28 puede incluir cualquier pasta adecuada que se pueda trabajar que esté configurada para unirse después del curado para formar una estructura. Los materiales cementosos adecuados incluyen, por ejemplo, hormigón, resina de brea, asfalto, arcilla, cemento, composiciones cementosas o similares.

[0021] En referencia ahora a la FIG. 3, se ilustra una vista en primer plano detallada de la superficie exterior 22 de la estructura de torre 12. Como se muestra, la estructura de torre 12 ilustrada incluye uno o más rasgos característicos de modificación de flujo de aire adicionales 40 impresos de forma aditiva en la superficie exterior 22 de la estructura de torre 12 de la turbina eólica 10 para reducir y/o evitar desprendimientos de vórtices, excitación y/o arrastre de la estructura de torre 12. Por ejemplo, el/los rasgo(s) característico(s) de modificación de flujo de aire adicional(es) 40 descrito(s) en el presente documento es/son, de acuerdo con la reivindicación 1, una pluralidad de abolladuras o una pluralidad de festones, y pueden incluir además tracas, salientes, una o más bobinas enrolladas al menos parcialmente alrededor de la estructura de torre 12, o combinaciones de los mismos. Más específicamente, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el rasgo característico de modificación de flujo de aire adicional 40 corresponde a una pluralidad de festones.

[0022] En referencia ahora a las FIGS. 4-9, la presente divulgación se dirige a procedimientos de fabricación de estructuras de torre de turbina eólica para evitar desprendimientos de vórtices, excitación y/o arrastre, por ejemplo, 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 forma 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 formas curvadas y/o irregulares.

[0023] En referencia, en particular, a la FIG. 4, se ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 100 para fabricar una estructura de torre de una turbina eólica en un emplazamiento de turbina eólica para reducir y/o evitar desprendimientos de vórtices, excitación y/o arrastre de la estructura de torre. En general, el procedimiento 100 se describirá en el presente documento con referencia a la turbina eólica 10 y la estructura de torre 12 mostrada en las FIGS. 1-3. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento 100 divulgado se puede implementar con estructuras de torre que tengan cualquier otra configuración adecuada. Además, aunque la FIG. 4 representa etapas realizadas en un orden particular con propósitos de ilustración y análisis, los procedimientos analizados en el presente documento no se limitan a ningún orden o disposición particular, a menos que se defina un orden o disposición particular en las reivindicaciones.

[0024] Como se muestra en (102), el procedimiento 100 incluye imprimir, por medio de un dispositivo de impresión aditiva 32, la estructura de torre 12 de la turbina eólica 10 del material cementoso 28. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 5, se ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización del dispositivo de impresión aditiva 32 de acuerdo con la presente divulgación. Se debe entender que el dispositivo de impresión aditiva 32 descrito en el presente documento, en general, se refiere a cualquier dispositivo de impresión aditiva adecuado que tenga una o más boquillas para depositar material (tal como el material cementoso 28) sobre una superficie que se controla automáticamente por un controlador (tal como el controlador 44) para formar un objeto programado dentro del ordenador (tal como un archivo CAD). Más específicamente, como se muestra, el dispositivo de impresión aditiva 32 puede incluir una o más boquillas 34 para depositar diversos materiales. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el dispositivo de impresión aditiva 32 incluye dos boquillas 34. En otros modos de realización, el dispositivo de impresión aditiva 32 puede incluir cualquier número adecuado de boquillas 34. Además, el dispositivo de impresión aditiva 32 puede incluir un inyector 36, que se analiza con más detalle a continuación.

[0025] Todavía en referencia a la FIG. 5, el procedimiento 100 puede incluir proporcionar uno o más moldes 38 de la estructura de torre 12, por ejemplo, en la cimentación 15 de la turbina eólica 10. Se debe entender que los moldes 38 descritos en el presente documento pueden ser macizos, porosos y/o estar impresos con aberturas para inyectar el material cementoso 38. Además, en un modo de realización, el/los molde(s) 38 se puede(n) prefabricar y enviar al emplazamiento de turbina eólica. En modos de realización alternativos, como se muestra en la FIG. 5, el dispositivo de impresión aditiva 32 también se puede configurar para imprimir el/los molde(s) 38 de la estructura de torre 12. Por

ejemplo, como se muestra, una de las boquillas 34 se puede configurar para distribuir un material polimérico para construir el/los molde(s) 38 en la cimentación 15 de la turbina eólica 10 (o cualquier otra localización adecuada en el emplazamiento).

[0026] Los materiales poliméricos adecuados pueden incluir, por ejemplo, un material termoestable, un material termoplástico, un polímero biodegradable (tal como un sistema polimérico a base de maíz, un material aditivo de tipo fúngico o un sistema polimérico a base de algas) que esté configurado para degradarse/disolverse con el tiempo, o combinaciones de los mismos. Como tal, en un modo de realización, el molde polimérico exterior puede ser biodegradable con el tiempo, mientras que el molde polimérico interior permanece intacto. En modos de realización alternativos, los moldes exterior e interior se pueden construir del mismo material.

[0027] En dichos modos de realización, como se muestra, el dispositivo de impresión aditiva 32 se puede configurar para rellenar el/los molde(s) 38 de la estructura de torre 12 con el material cementoso 28. Más específicamente, como se muestra, una o más de las boquillas 34 se pueden configurar para imprimir el material cementoso 28 en los moldes 38. En modos de realización alternativos, en lugar de imprimir el material cementoso 28, el inyector 36 del dispositivo de impresión aditiva 32 simplemente puede inyectar o rellenar el/los molde(s) 38 con el material cementoso 28, por ejemplo, inyectando el material cementoso 28 desde la parte superior de los moldes 38 o inyectando el material cementoso 28 a través de aberturas en el molde.

[0028] En modos de realización adicionales, durante la impresión, el procedimiento 100 puede incluir incrustar uno o más de los elementos de refuerzo 30 al menos parcialmente dentro del material cementoso 28 en una o más localizaciones de la estructura de torre 12. En dichos modos de realización, el dispositivo de impresión aditiva 32 se puede configurar para imprimir el/los elemento(s) de refuerzo 30 dentro del material cementoso 28 en las una o más localizaciones durante la impresión de la estructura de torre 12.

[0029] En otros modos de realización, el dispositivo de impresión aditiva 32 está configurado para imprimir el material cementoso 28 de una manera que tenga en cuenta la velocidad de curado del mismo de modo que la estructura de torre 12, a medida que se forma, se pueda unir a sí misma. Además, el dispositivo de impresión aditiva 32 está configurado para imprimir la estructura de torre 12 de manera que pueda aguantar el peso de la pared de torre 20, ya que el material cementoso 28 formado de forma aditiva puede ser débil durante la impresión. En determinados modos de realización, el procedimiento 100 puede incluir imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva 32, la estructura de torre 12 para que tenga una forma no cilíndrica o alternativa para reducir y/o evitar además desprendimientos de vórtices, excitación y/o arrastre de la estructura de torre 12.

[0030] En referencia, de nuevo, a la FIG. 4, como se muestra en (104), el procedimiento 100 también puede incluir imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva 32, uno o más de los rasgos característicos de modificación de flujo de aire adicionales 40 en la superficie exterior 22 de la estructura de torre 12 de la turbina eólica 10 para reducir y/o evitar desprendimientos de vórtices, excitación y/o arrastre de la estructura de torre 12. Por ejemplo, el/los rasgo(s) característico(s) de modificación de flujo de aire adicional(es) 40 descrito(s) en el presente documento es/son, de acuerdo con la reivindicación 1, una pluralidad de abolladuras o una pluralidad de festones, y pueden incluir además tracas, salientes, una o más bobinas enrolladas al menos parcialmente alrededor de la estructura de torre 12, o combinaciones de los mismos. Como se muestra en (106), el procedimiento 100 incluye además curar el material cementoso 28 para formar la estructura de torre 12.

[0031] En referencia, en particular, a la FIG. 6, se ilustra un diagrama de flujo de otro modo de realización de un procedimiento 200 para fabricar una estructura de torre de una turbina eólica en un emplazamiento de turbina eólica para reducir y/o evitar desprendimientos de vórtices, excitación y/o arrastre de la estructura de torre. En general, el procedimiento 200 se describirá en el presente documento con referencia a la turbina eólica 10 y la estructura de torre 12 mostrada en las FIGS. 1-3. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento 200 divulgado se puede implementar con estructuras de torre que tengan cualquier otra configuración adecuada. Además, aunque la FIG. 6 representa etapas realizadas en un orden particular con propósitos de ilustración y análisis, los procedimientos analizados en el presente documento no se limitan a ningún orden o disposición particular, a menos que se defina un orden o disposición particular en las reivindicaciones.

[0032] Como se muestra en (202), el procedimiento 200 puede incluir imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva 32, la estructura de torre 12 de la turbina eólica 10 del material cementoso 28 en una cimentación de la estructura de torre 12, tal como la cimentación 15 de la turbina eólica 10. Por ejemplo, como se menciona, el dispositivo de impresión aditiva 32 está configurado para imprimir la estructura de torre 12 del material cementoso 28. Como se muestra en (204), el procedimiento 200 puede incluir curar el material cementoso 28 para formar la estructura de torre 12.

[0033] Como se muestra en (206), el procedimiento 200 puede incluir proporcionar uno o más cables de refuerzo 30 en la superficie exterior 22 de la estructura de torre 12. Por ejemplo, en un modo de realización, el dispositivo de impresión aditiva 32 se puede configurar para imprimir el/los cable(s) de refuerzo 30 en la superficie exterior 22 de la estructura de torre 12. En varios modos de realización, el/los cable(s) de refuerzo 30 puede(n) incluir, por ejemplo, barras de refuerzo macizas, barras de refuerzo huecas, barras de refuerzo pultrusionadas y/o malla. Además, el/los

cable(s) de refuerzo 30 se puede(n) construir de cualquier material adecuado, incluyendo, por ejemplo, un metal o aleación de metales (tal como acero), un material compuesto, basalto o similares.

[0034] Además, en determinados modos de realización, como se muestra en la FIG. 7, el procedimiento 200 puede incluir enrollar el/los cable(s) de refuerzo 30 en la misma dirección alrededor de la estructura de torre 12 con un espaciado variable entre los arrollamientos y tensar el/los cable(s) de refuerzo 30 en la superficie exterior 22 de la estructura de torre 12 para proporcionar un nivel de compresión variado a la estructura de torre 12. En modos de realización alternativos, como se muestra en las FIGS. 8 y 9, el procedimiento 200 puede incluir enrollar una pluralidad de los cables de refuerzo 30 en direcciones opuestas alrededor de la estructura de torre 12 con un espaciado constante entre los arrollamientos y tensar el/los cable(s) de refuerzo 30 en la superficie exterior 22 de la estructura de torre 12 para proporcionar un nivel de compresión uniforme a la estructura de torre 12. Más específicamente, como se muestra en la FIG. 9, el/los cable(s) de refuerzo opuesto(s) 0 se puede(n) imprimir por los dos lados de una barra de refuerzo que se extiende verticalmente. En dichos modos de realización, los cables de refuerzo 30 proporcionan compresión en las direcciones circunferencial y de elevación. En todavía otro modo de realización, como se muestra en la FIG. 10, el procedimiento 200 puede incluir pretensar el/los cable(s) de refuerzo 30 antes de proporcionar el/los cable(s) de refuerzo 30 en la superficie exterior 22 de la estructura de torre 12 y liberar el/los cable(s) de refuerzo 30 pretensados después de curar el material cementoso 28.

[0035] En referencia, de nuevo, a la FIG. 6, como se muestra en (208), el procedimiento 200 incluye imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva 32, uno o más de los rasgos característicos de modificación de flujo de aire adicionales 40 en la superficie exterior 22 de la estructura de torre 12 de la turbina eólica 10 para reducir y/o evitar desprendimientos de vórtices, excitación y/o arrastre de la estructura de torre 12 durante la instalación, marcha en vacío ("idling"), mantenimiento u operación de la turbina eólica 10, en el que, de acuerdo con la reivindicación 1, los uno o más rasgos característicos de modificación de flujo de aire adicionales son una pluralidad de abolladuras o una pluralidad de festones.

[0036] En referencia ahora a la FIG. 11, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización del controlador 44 del dispositivo de impresión aditiva 32. Como se muestra, el controlador 44 puede incluir uno o más procesadores 46 y dispositivo(s) de memoria asociado(s) 48 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 44 también puede incluir un módulo de comunicaciones 50 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 44 y los diversos componentes del dispositivo de impresión aditiva 32. Además, el módulo de comunicaciones 50 puede incluir una interfaz de sensor 52 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 46. Se debe apreciar que los sensores se pueden acoplar en comunicación al módulo de comunicaciones 50 usando cualquier medio adecuado, incluyendo, por ejemplo, una conexión por cable y una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica.

[0037] 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 que se incluyen 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 procesador 46 también está configurado 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 48 puede(n) comprender, en general, elemento(s) de memoria que incluyen, pero sin limitarse a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM)), un 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 48 se puede(n) configurar, en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 46, configuran el controlador 44 para realizar las diversas funciones como se describe en el presente documento.

[0038] Esta descripción por escrito usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica ponga en práctica 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 y puede incluir otros ejemplos si les ocurren a los expertos en la técnica. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para fabricar una estructura de torre (12) de una turbina eólica (10), comprendiendo el procedimiento:
5 imprimir, por medio de un dispositivo de impresión aditiva (32), la estructura de torre (12) de la turbina eólica (10) de un material cementoso (28);

10 imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva (32), uno o más rasgos característicos de modificación de flujo de aire adicionales (40), a saber, una pluralidad de abolladuras o una pluralidad de festones, en una superficie exterior (22) de la estructura de torre (12) de la turbina eólica (10) para reducir y/o evitar desprendimientos de vórtices, excitación y/o arrastre de la estructura de torre (12) de la turbina eólica (10) durante la instalación, marcha en vacío, mantenimiento u operación de la turbina eólica (10); y

15 curar el material cementoso (28) para formar la estructura de torre (12) de la turbina eólica (10).
2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:

20 imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva (32), al menos un rasgo característico de modificación de flujo de aire adicional (40) en la superficie exterior (22) de la estructura de torre (12) de la turbina eólica, siendo el al menos un rasgo característico de modificación de flujo de aire adicional (40) al menos uno de tracas, salientes, una o más bobinas enrolladas al menos parcialmente alrededor de la estructura de torre (12), o combinaciones de los mismos.
- 25 3. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva (32), la estructura de torre (12) de la turbina eólica (10) del material cementoso (28) para que tenga una forma no cilíndrica para reducir aún más y/o evitar desprendimientos de vórtices, excitación y/o arrastre de la estructura de torre (12).
- 30 4. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además, durante la impresión, incrustar uno o más elementos de refuerzo (30) al menos parcialmente dentro del material cementoso (28) en una o más localizaciones de la estructura de torre (12).
- 35 5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que incrustar los uno o más elementos de refuerzo (30) al menos parcialmente dentro del material cementoso (28) en una o más localizaciones comprende además imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva (32), los uno o más elementos de refuerzo (30) dentro del material cementoso (28) en las una o más localizaciones durante la impresión de la estructura de torre (12).
- 40 6. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que los uno o más elementos de refuerzo (30) comprenden al menos uno de cables o alambres alargados, cables o alambres helicoidales, barras de refuerzo, fibras de refuerzo metálicas o poliméricas, acoplamientos de anillos metálicos de refuerzo y/o malla.
7. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:

45 proporcionar uno o más moldes (38) de la estructura de torre (12) en una cimentación (15) de la turbina eólica (10); e

50 imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva (32), la estructura de torre (12) de la turbina eólica (10) dentro de los uno o más moldes (38).
8. El procedimiento de la reivindicación 7, que comprende además imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva (32), los uno o más moldes (38) de la estructura de torre (12).
- 55 9. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:

60 tras el curado del material cementoso (28), proporcionar uno o más cables de refuerzo (30) en una superficie exterior (22) de la estructura de torre (12).
- 65 10. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que proporcionar los uno o más cables de refuerzo (30) en la superficie exterior (22) de la estructura de torre (12) comprende además enrollar los uno o más cables de refuerzo (30) en la misma dirección alrededor de la estructura de torre (12) con un espaciado variable entre los arrollamientos, y tensar los uno o más cables de refuerzo (30) en la superficie exterior (22) de la estructura de torre (12) para proporcionar un nivel de compresión variado a la estructura de torre (12).

11. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que proporcionar los uno o más cables de refuerzo (30) en la superficie exterior (22) de la estructura de torre (12) comprende además:
 - 5 enrollar una pluralidad de cables de refuerzo (30) en direcciones opuestas alrededor de la estructura de torre (12) con un espaciado constante entre los arrollamientos, y tensar los uno o más cables de refuerzo (30) en la superficie exterior (22) de la estructura de torre (12) para proporcionar un nivel de compresión uniforme a la estructura de torre (12).
- 10 12. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que proporcionar los uno o más cables de refuerzo (30) en la superficie exterior (22) de la estructura de torre (12) comprende además:
 - 15 pretensar los uno o más cables de refuerzo (30) antes de proporcionar los uno o más cables de refuerzo (30) en la superficie exterior (22) de la estructura de torre (12); y,
liberar los uno o más cables de refuerzo (30) pretensados después de curar el material cementoso (28).
13. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que proporcionar los uno o más cables de refuerzo (30) en la superficie exterior (22) de la estructura de torre (12) comprende además imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva (32), los uno o más cables de refuerzo (30) en la superficie exterior (22) de la estructura de torre (12).
14. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que los uno o más cables de refuerzo (30) comprenden al menos una de barras de refuerzo macizas, barras de refuerzo huecas, barras de refuerzo pultrusionadas y/o malla.
15. El procedimiento de la reivindicación 9, que comprende además:
 - 30 imprimir, por medio del dispositivo de impresión aditiva (32), al menos un rasgo característico de modificación de flujo de aire adicional (40) en la superficie exterior (22) de la estructura de torre (12) de la turbina eólica (10), siendo el al menos un rasgo característico de modificación de flujo de aire adicional (40) al menos uno de tracas, salientes, una o más bobinas enrolladas al menos parcialmente alrededor de la estructura de torre (12), o combinaciones de los mismos.

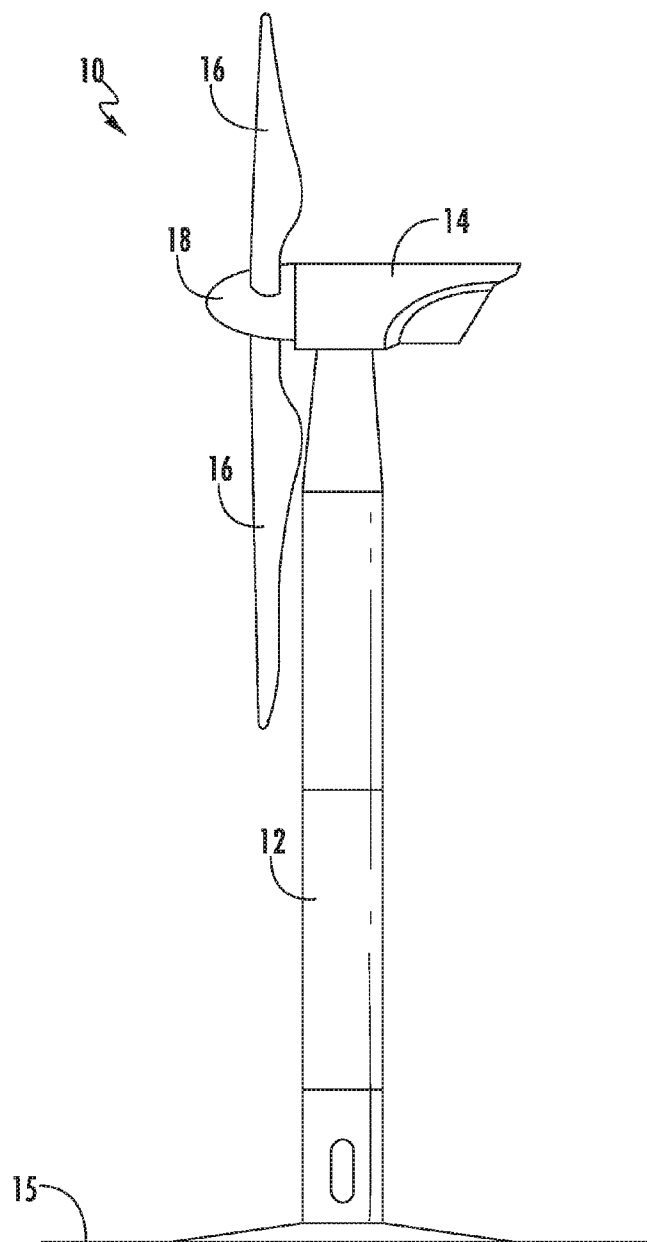


FIG. 1

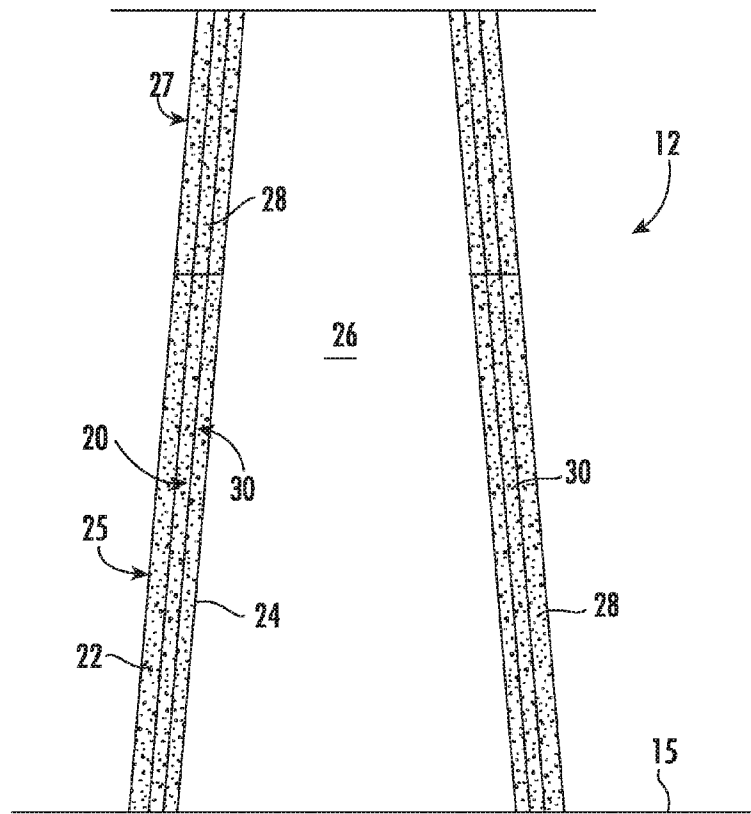


FIG. 2

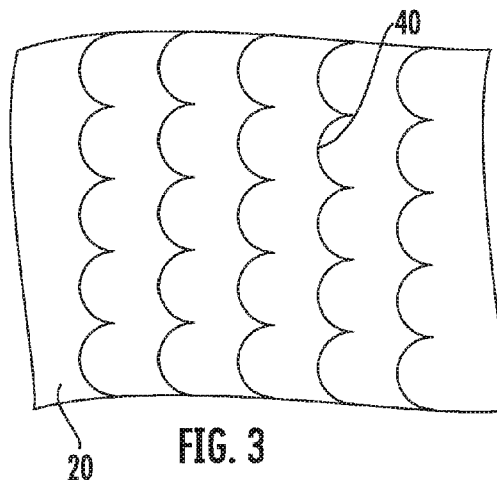


FIG. 3

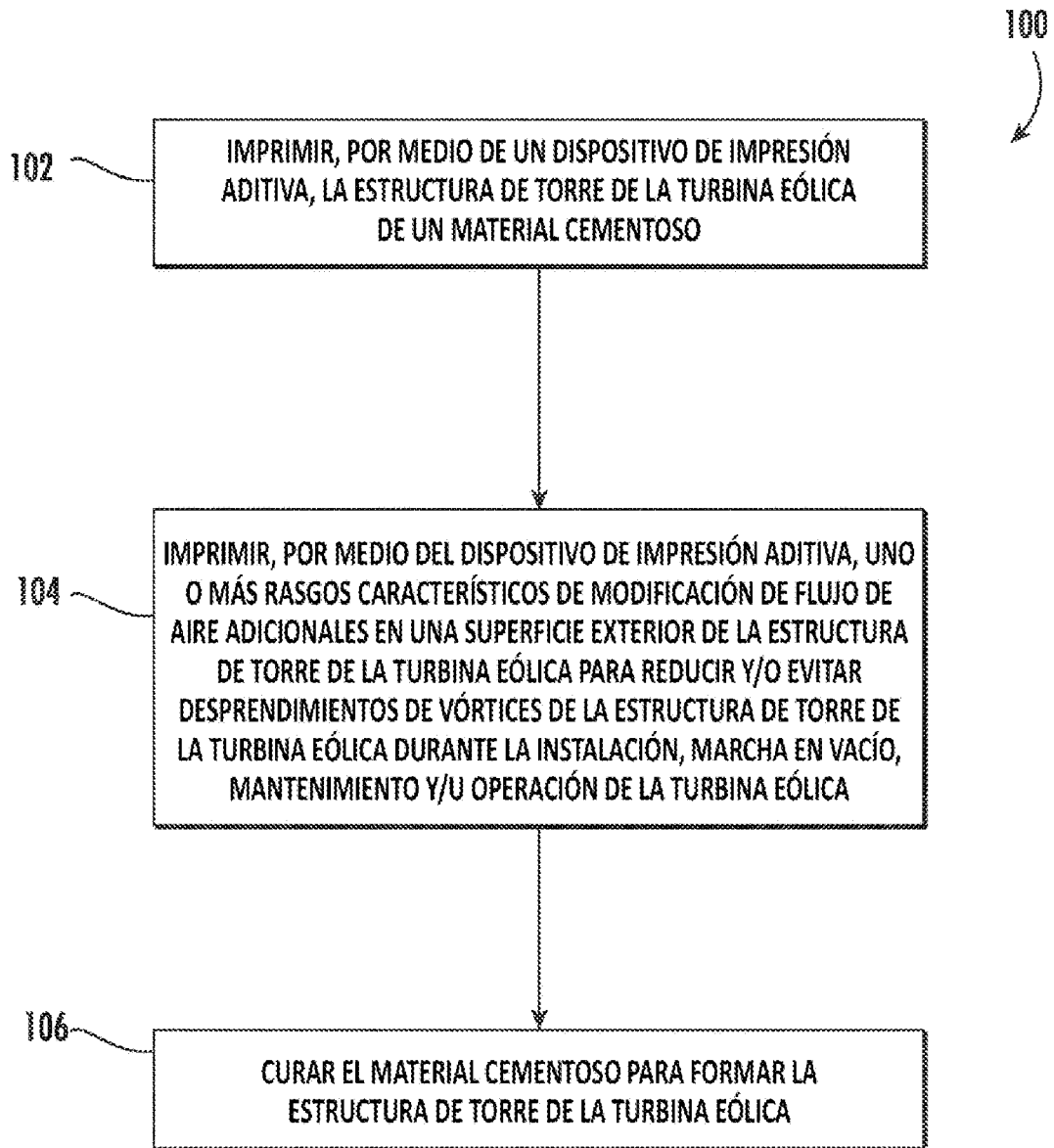
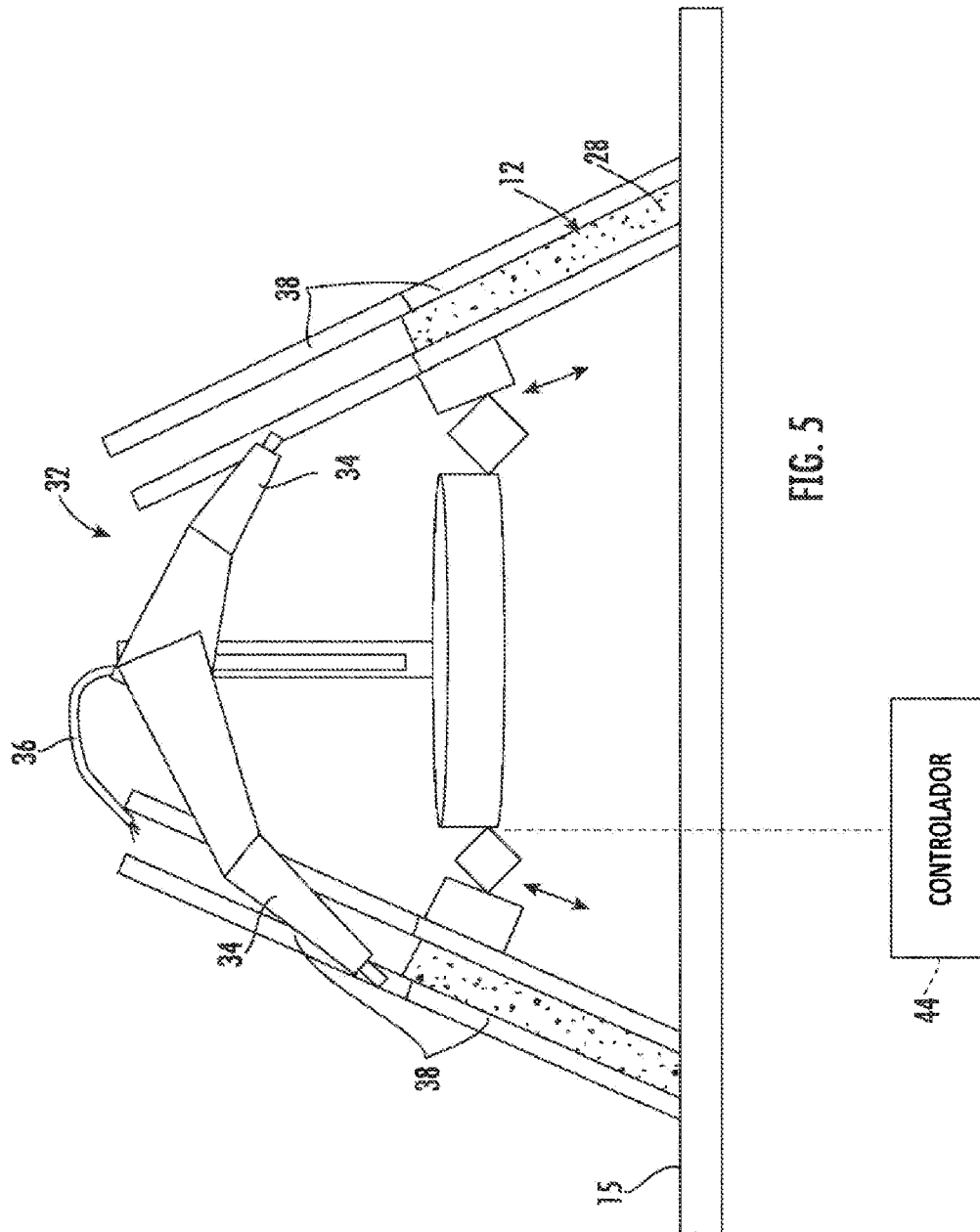


FIG. 4



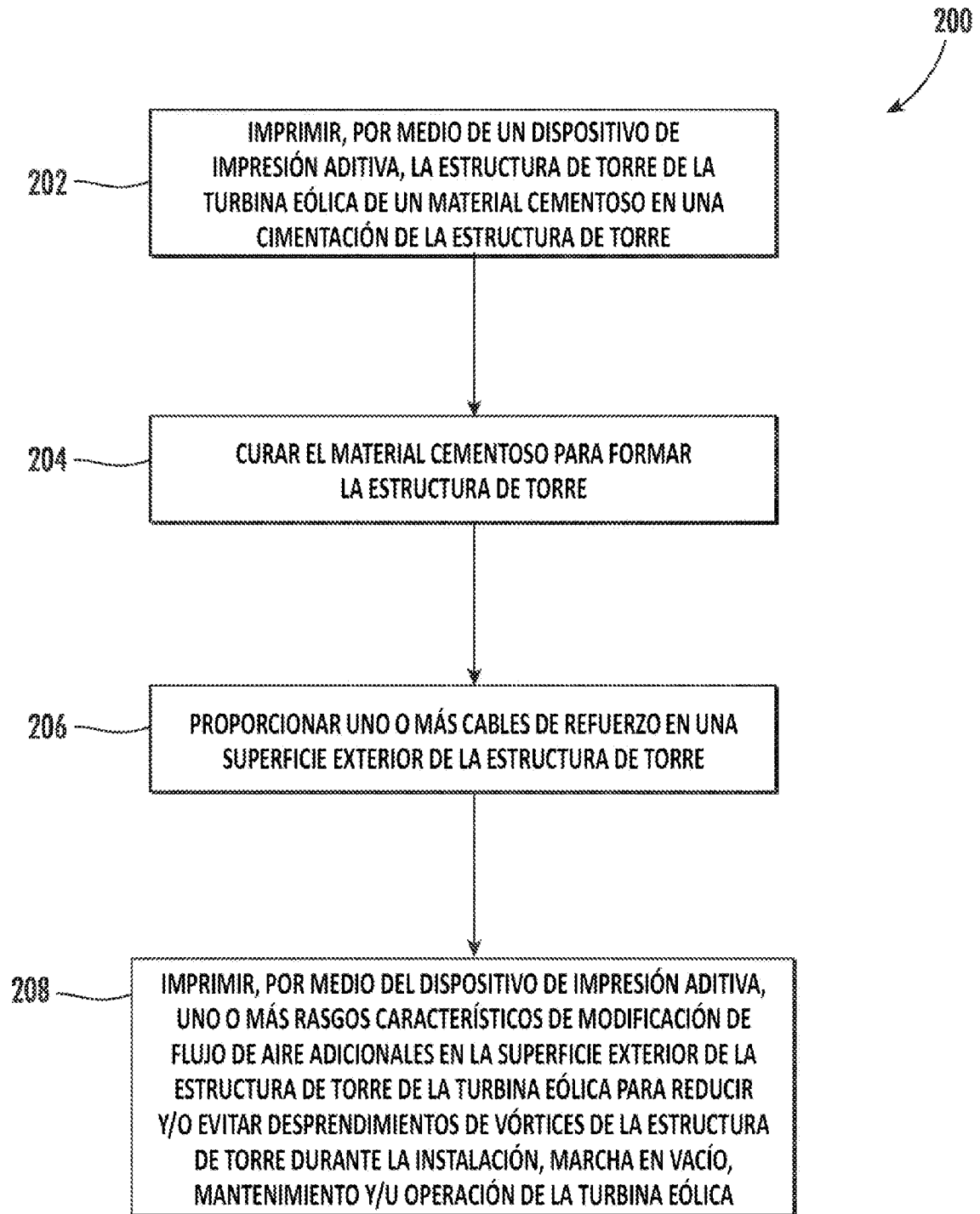


FIG. 6

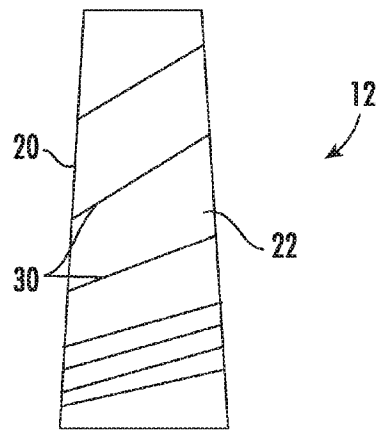


FIG. 7

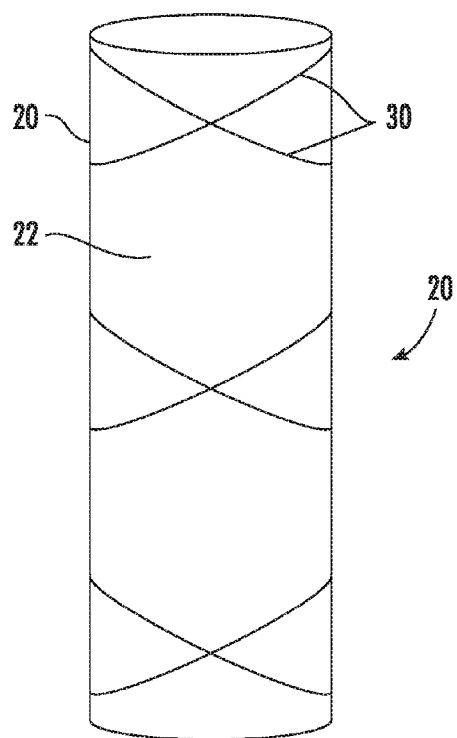


FIG. 8

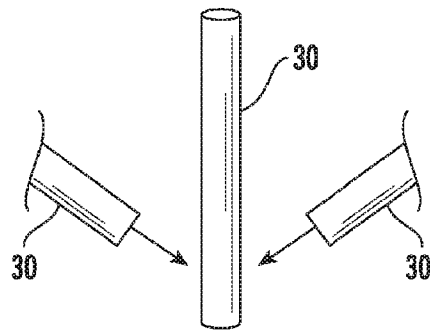


FIG. 9

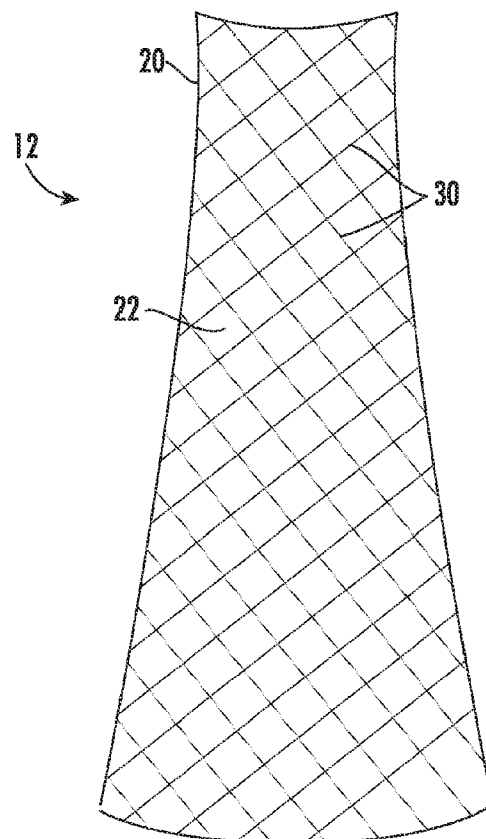


FIG. 10

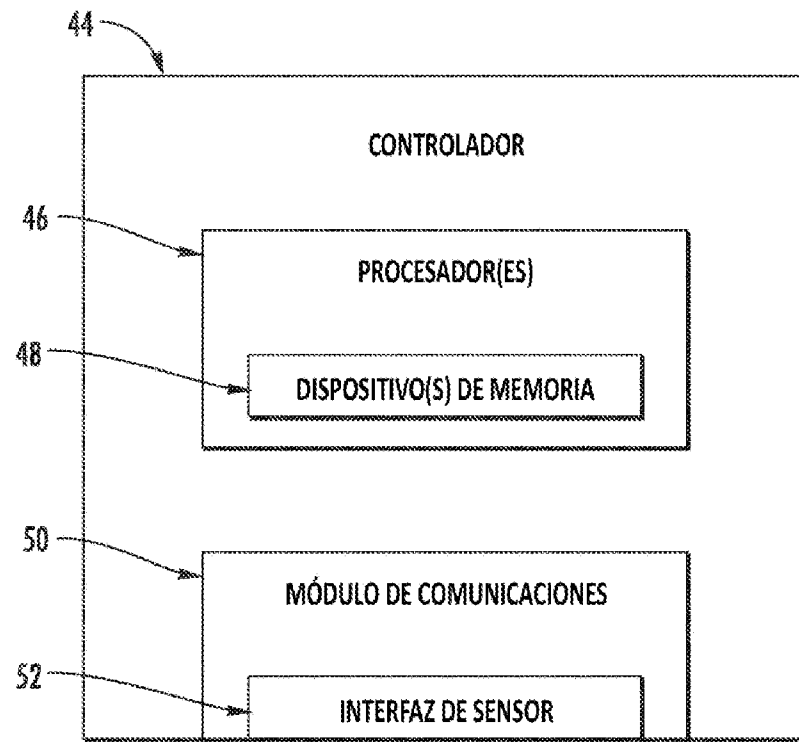


FIG. 11