

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 806 262**

51 Int. Cl.:

B29C 44/12 (2006.01)

F03D 1/00 (2006.01)

B29L 31/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.06.2015 E 15173805 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020 EP 2962828**

54 Título: **Pala de rotor para una turbina eólica y procedimiento de fabricación de un componente de pala de rotor**

30 Prioridad:

30.06.2014 US 201414318964

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

17.02.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**TOBIN, JAMES ROBERT;
FISCHETTI, THOMAS JOSEPH y
GOBELI, WILLIAM MAX**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 806 262 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

Pala de rotor para una turbina eólica y procedimiento de fabricación de un componente de pala de rotor

5 **[0001]** La presente materia se refiere en general a turbinas eólicas y, más en particular, a procedimientos de fabricación de componentes de palas de rotor para una turbina eólica.

10 **[0002]** La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más ecológicas disponibles en la actualidad, y las turbinas eólicas cobran cada vez más importancia en este sentido. Una turbina eólica moderna incluye típicamente una torre, un generador, una multiplicadora, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas de rotor captan energía cinética del viento usando principios aerodinámicos conocidos. Por ejemplo, las palas de rotor tienen típicamente el perfil de sección transversal de un perfil aerodinámico de modo que, durante el funcionamiento, el aire fluye sobre la pala produciendo una diferencia de presión entre los lados. En consecuencia, una fuerza de sustentación, que se dirige desde un lado de presión hacia un lado de succión, actúa sobre la pala. La fuerza de sustentación genera par de torsión en el eje de rotor principal, que está dirigido a un generador para producir electricidad.

20 **[0003]** La fuerza de sustentación se genera cuando el flujo desde un borde de ataque hasta un borde de salida crea una diferencia de presión entre las superficies superior e inferior de la pala. Idealmente, el flujo se une a la superficie superior desde el borde de ataque hasta el borde de salida. Sin embargo, cuando el ángulo de ataque del flujo excede un determinado ángulo crítico, el flujo no alcanza el borde de salida, sino que abandona la superficie en una línea de separación de flujo, lo que disminuye la producción potencial de energía. Véase, por ejemplo, la pala de hélice descrita en el documento EP 2 599 715.

25 **[0004]** Por lo tanto, para incrementar la eficacia de conversión de energía durante el funcionamiento normal de la turbina eólica, se desea incrementar la fuerza de sustentación de las palas al tiempo que se disminuye la fuerza de arrastre. Para este propósito, es ventajoso incrementar la región de flujo unido y reducir la región de flujo separado moviendo la separación de flujo más cerca del borde de salida de la pala. Como tal, resulta conocido en la técnica cambiar las características aerodinámicas de las palas de la turbina eólica mediante la adición de diversos complementos y/o componentes en la superficie de la pala. Por ejemplo, dichos complementos en general pueden incluir extensiones de borde de ataque, extensiones de borde de salida, generadores de vórtice, refuerzos de raíz de pala, protuberancias, aletas, elementos modificadores del flujo de aire y/o cualquier otro componente adecuado.

35 **[0005]** Las palas de rotor y muchos de los complementos están contruidos de un material compuesto de fibra de vidrio debido a su gran tamaño y, típicamente, requieren herramientas y/o moldes especializados para su fabricación. Por ejemplo, las mitades de pala de una pala de rotor convencional se forman típicamente en moldes grandes que están hechos a medida para el tamaño y la forma particular de la pala de rotor que se está produciendo. Más específicamente, se pueden construir diversas palas de rotor y/o componentes de pala de rotor usando el moldeo por transferencia de resina (MTR), tal como el moldeo por transferencia de resina asistida por vacío (MTRAV). Con el proceso de MTRAV, las piezas compuestas se fabrican colocando tejidos de refuerzo de fibra seca en una sola pieza, abriendo el molde, encerrando el molde en una bolsa de vacío y extrayendo un vacío para garantizar una infiltración completa de la preforma con resina. A continuación, se calienta el molde para permitir que la pieza se cure. El proceso de MTRAV permite producir piezas relativamente económicas, grandes y complejas en un solo intento.

[0006] El documento US 2011/225796 A1 divulga una pala de rotor para una turbina eólica que comprende un componente de pala de rotor y un procedimiento para reparar dicho componente.

50 **[0007]** Sin embargo, se han identificado diversos problemas asociados con procedimientos previos para fabricar palas de rotor. Por ejemplo, muchos de los procesos de MTR requieren mucho tiempo debido al tiempo de curado requerido para cada pieza. Además, dado que las palas de rotor se mueven constantemente y se flexionan con el viento, las piezas complementarias también deben ser lo suficientemente flexibles como para moverse con la pala. Sin embargo, las piezas compuestas de fibra de vidrio delgadas son típicamente inherentemente frágiles y pueden resistir el movimiento de las palas de rotor. En muchos casos, el espesor de las piezas de fibra de vidrio se puede incrementar para proporcionar una pieza más duradera, pero dicha modificación también agrega peso a la pala de rotor. Si bien algunos componentes ligeros y flexibles de la pala de rotor se pueden fabricar recubriendo un molde con un material elastomérico y rellenándolo con espuma, la espuma puede transmitir presión interna sobre el molde y el material elastomérico mientras la espuma se llena y expande. En consecuencia, los procedimientos alternativos de fabricación de componentes de palas de rotor serían convenientes en la técnica.

[0008] Diversos aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden resultar claros a partir de la descripción, o pueden aprenderse llevando a la práctica la invención.

65 **[0009]** La presente invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

[0010] Diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en, y constituyen una parte de, esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de una turbina eólica convencional;

la FIG. 2 ilustra una vista en perspectiva de una pala de rotor convencional;

la FIG. 3 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento de fabricación de un componente de pala de rotor de acuerdo con aspectos de la presente divulgación;

la FIG. 4 ilustra una vista relativa a la envergadura de una pala de rotor que tiene componentes de pala de rotor instalados en la misma de acuerdo con aspectos de la presente divulgación;

la FIG. 5 ilustra una vista relativa a la cuerda de una pala de rotor que tiene componentes de pala de rotor instalados en la misma de acuerdo con aspectos de la presente divulgación;

la FIG. 6 ilustra un diagrama de flujo de otro modo de realización de un procedimiento de fabricación de un componente de pala de rotor de acuerdo con aspectos de la presente divulgación;

la FIG. 7 ilustra una vista relativa a la envergadura de una pala de rotor que tiene componentes de pala de rotor instalados en la misma fabricados de acuerdo con aspectos de la presente divulgación; y

la FIG. 8 ilustra un componente de pala de rotor fabricado de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

[0011] A continuación, se hará referencia con detalle a modos de realización de la invención, de los cuales se ilustran uno o más ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, resultará evidente para los expertos en la técnica que pueden realizarse diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, se pueden usar características ilustradas o descritas como parte de un modo de realización con otro modo de realización para producir otro modo de realización adicional. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones de modo que entren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y de sus equivalentes.

[0012] En general, la presente materia está dirigida a procedimientos de fabricación mejorados de componentes de palas de rotor para turbinas eólicas y componentes de pala de rotor producidos de acuerdo con dichos procedimientos. En particular, los componentes de pala de rotor descritos se pueden fabricar recubriendo al menos una parte de una superficie interior de un molde con un material elastomérico, por ejemplo, un material de poliurea. Se puede insertar un material de relleno dentro del molde para reducir el volumen interno abierto. A continuación, se puede insertar o inyectar un material de espuma dentro del molde y dejar que se cure en el mismo. A continuación, el componente de pala de rotor curado se puede retirar del molde de modo que el material elastomérico forme una cubierta protectora alrededor de al menos una parte del componente de pala de rotor. El componente de pala de rotor también puede recubrirse más (por ejemplo, pulverizarse) después de la extracción para proporcionar una capa adicional a la cubierta protectora.

[0013] En un modo de realización alternativo, los componentes de pala de rotor se pueden fabricar proporcionando al menos un miembro de soporte que define un perfil del componente de pala del rotor en una superficie de molde, recubriendo el miembro de soporte con un material elastomérico y permitiendo que el material elastomérico se cure sobre la superficie de molde para formar el componente de pala de rotor. Además, al menos una parte de la superficie de molde se puede recubrir con el material elastomérico. Como tal, el material elastomérico es capaz de formar una cubierta protectora alrededor del miembro de soporte para formar el componente de pala de rotor.

[0014] Los componentes de pala de rotor fabricados de acuerdo con los procedimientos descritos en el presente documento proporcionan muchas ventajas que no están presentes en la técnica citada. Por ejemplo, los procedimientos descritos en el presente documento son capaces de producir piezas ligeras, relativamente grandes o pequeñas de forma rápida y eficaz. Además, el procedimiento proporciona componentes que tienen altas propiedades de elongación y resistencia. Además, en algunos modos de realización, la combinación del material de espuma recubierto con el material elastomérico proporciona un componente de pala de rotor que es lo suficientemente rígido como para mantener su forma durante el manejo, instalación y funcionamiento, pero que también es capaz de desviarse con la pala de rotor durante el funcionamiento de la turbina eólica. Además, en algunos modos de realización, el material de relleno se puede utilizar para reducir el volumen interno abierto lleno de espuma para reducir la cantidad de tensión que la espuma puede aplicar sobre el material elastomérico y el molde completo. Como tal, los procedimientos de fabricación descritos en el presente documento proporcionan componentes de pala de rotor que son fuertes y flexibles. Como se usa en el presente documento, el término

"flexible" pretende abarcar su significado general amplio y la capacidad del componente de pala de rotor para doblarse o flexionarse fácilmente con la pala de rotor sin romperse.

5 **[0015]** En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de una turbina eólica 10 de construcción convencional. La turbina eólica 10 incluye una torre 12 con una góndola 14 montada sobre la misma. Una pluralidad de palas de rotor 16 están montadas en un buje de rotor 18, que a su vez está conectado a una brida principal que gira un eje de rotor principal. Los componentes de generación y control de energía de turbina eólica se alojan dentro de la góndola 14. Se debe apreciar que la turbina eólica 10 de la FIG. 1 se proporciona únicamente con fines ilustrativos para situar la presente invención en un campo de uso ejemplar. Por tanto, un experto en la técnica debería comprender que la invención no se limita a ningún tipo particular de configuración de turbina eólica.

15 **[0016]** Con referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra una vista en perspectiva de una pala de rotor 16 de construcción convencional. Como se muestra, la pala de rotor 16 incluye una raíz de pala 20 configurado para montar la pala de rotor 16 en una brida de montaje (no mostrada) del buje de turbina eólica 18 (FIG. 1) y una punta de pala 22 dispuesta de manera opuesta a la raíz de pala 20. La pala de rotor 16 puede incluir también un lado de presión 24 y un lado de succión 26 que se extienden entre un borde de ataque 28 y un borde de salida 30. Adicionalmente, la pala de rotor 16 puede incluir una envergadura 32 que define la longitud total entre la raíz de pala 20 y la punta de pala 22 y una cuerda 34 que define la longitud total entre el borde de ataque 28 y el borde de salida 30. Como se entiende en general, la cuerda 34 puede variar en longitud con respecto a la envergadura 32 a medida que la pala de rotor 16 se extiende desde la raíz de pala 20 hasta la punta de pala 22.

20 **[0017]** Adicionalmente, la pala de rotor 16 puede definir cualquier perfil aerodinámico adecuado. Por tanto, en varios modos de realización, la pala de rotor 16 puede definir una sección transversal en forma de perfil aerodinámico. Por ejemplo, la pala de rotor 16 se puede configurar como un perfil aerodinámico simétrico o un perfil aerodinámico curvado. Además, la pala de rotor 16 también se puede adaptar de forma aeroelástica. La adaptación aeroelástica de la pala de rotor 16 puede implicar flexionar la pala 16 en una dirección en general relativa a la cuerda y/o en una dirección en general relativa a la envergadura. La dirección relativa a la cuerda en general corresponde a una dirección paralela a la cuerda 34 definida entre los bordes delantero y trasero 28, 30 de la pala de rotor 16. Adicionalmente, la dirección relativa a la envergadura en general corresponde a una dirección paralela a la envergadura 32 de la pala de rotor 16.

25 **[0018]** Como se indica anteriormente, la presente materia está dirigida en general a procedimientos de fabricación de componentes de pala de rotor para la turbina eólica 10 y también a componentes de pala de rotor producidos de acuerdo con dichos procedimientos. En consecuencia, un modo de realización de un procedimiento 100 para fabricar un componente de pala de rotor se describirá en general con referencia a la FIG. 3 y se explicará con mayor detalle con referencia a las FIGS. 4-5. Como se muestra, el procedimiento 100 es una etapa 102 de proporcionar un molde del componente de pala de rotor. El molde puede ser cualquier molde adecuado que tenga cualquier forma deseada para lograr un componente de pala de rotor como se describe en el presente documento. Por ejemplo, en un modo de realización, el molde tiene la forma de una extensión de borde de ataque o una extensión de borde de salida (FIGS. 4 y 5). Además, el molde puede ser un molde individual o un molde que tiene múltiples piezas, tal como dos mitades.

30 **[0019]** El procedimiento 100 también incluye una etapa 104 de recubrir (por ejemplo, pulverizar) al menos una parte de una superficie interior del molde con un material elastomérico, por ejemplo, un material de poliurea. Además, en un modo de realización particular, se puede proporcionar un molde que tiene dos mitades en una superficie de molde de modo que se puedan formar una o más bridas en el componente de pala de rotor cuando se pulveriza el material elastomérico. Dichas bridas se pueden usar para unir el componente de pala de rotor a la pala de rotor.

35 **[0020]** De forma alternativa, el procedimiento 100 puede eliminar la etapa 104 y pasar directamente a la etapa 105, que incluye insertar (por ejemplo, inyectar) material de relleno dentro del molde y a continuación a la etapa 106, que incluye insertar un material de espuma dentro del molde. El procedimiento 100 puede incluir a continuación una etapa 108 de retirar el componente de pala de rotor del molde. El componente de pala de rotor también se puede recubrir con el material elastomérico, parcial o totalmente, tras su extracción del molde. Como tal, el material elastomérico pulverizado está configurado para formar una cubierta protectora alrededor de al menos una parte del componente de pala de rotor. Se debe apreciar que, aunque los diversos elementos del procedimiento 102, 104, 105, 106, 108 ilustrados en la FIG. 3 se muestran en un orden particular, los elementos en general se pueden realizar en cualquier secuencia y/u orden consistente con la divulgación proporcionada en el presente documento.

40 **[0021]** Con referencia ahora a las FIGS. 4 y 5, se ilustran diversos componentes de pala de rotor 200 fabricados de acuerdo con la materia ensamblados en la pala de rotor 16. En particular, la FIG. 4 ilustra una vista en sección transversal relativa a la envergadura de los componentes de pala de rotor 200 unidos a la pala de rotor 16. La FIG. 5 ilustra una vista en sección transversal relativa a la cuerda de los componentes de pala de rotor 200 unidos a la pala de rotor 16. Más específicamente, como se muestra, los componentes de pala de rotor ilustrados 200 incluyen

una extensión de borde de ataque 203 y una extensión de borde de salida 205. En otros modos de realización, los componentes de pala de rotor 200 pueden ser cualquier componente adecuado para la pala de rotor, que incluye, pero no se limita a un refuerzo de raíz de pala, una protuberancia de baja carga, una aleta, un generador de vórtice, un elemento modificador del flujo de aire, o cualquier otro complemento adecuado para la pala de rotor 16.

[0022] Como se muestra, los componentes de pala de rotor 200 incluyen un cuerpo 207 que en general define un perfil o forma del componente de pala de rotor 200 y tiene un volumen interno 209. El volumen interno 209 está inicialmente abierto hasta que el material de relleno 211 se inserta en el mismo. Como se usa en el presente documento, el "material de relleno" se refiere a cualquier material o materiales que ocupan espacio y reducen el volumen interno abierto 209 del cuerpo 207 del componente de pala de rotor 200. El material de relleno 211 puede ser un solo tipo de material o una pluralidad de diferentes tipos de material. Además, el material de relleno 211 no se puede utilizar para el soporte estructural dentro del componente de pala de rotor 200, sino que simplemente facilita la retención de la forma del componente de pala de rotor 200 durante la inserción posterior del material de espuma 208 en la etapa 106.

[0023] Por ejemplo, en algunos modos de realización, el material de relleno 211 puede comprender una preforma de espuma. Dicha preforma de espuma puede comprender el mismo material de espuma o uno similar que se va a insertar en la etapa 106 pero en un estado preformado que ya está endurecido. Las preformas de espuma pueden comprender cualquier forma y tamaño, tal como una que ya está conformada para ajustarse al interior del cuerpo 207. En algunos modos de realización, el material de relleno 211 puede comprender uno o más elementos huecos. Por ejemplo, el material de relleno 211 puede comprender bolas de PVC, cilindros, cubos u otras formas. Incluso en algunos modos de realización, el material de relleno 211 puede comprender bolsas inflables tales como bolsas de estiba comercialmente disponibles.

[0024] Todavía con referencia a las FIGS. 4 y 5, en algunos modos de realización, insertar el material de relleno 211 puede comprender asegurar dicho material de relleno 211 dentro del volumen interno abierto 209. La fijación del material de relleno 211 se puede facilitar mediante cualquier procedimiento adecuado tal como a través de adhesivos, abrazaderas, tornillos, pernos, tachuelas o similares. Incluso en algunos modos de realización, el material de relleno 211 se puede asegurar en una configuración para dividir el volumen interno abierto 209 en una pluralidad de cámaras 213. La pluralidad de cámaras 213 puede ayudar a facilitar el llenado selectivo y parcial del molde con el material de espuma en la etapa 206.

[0025] Incluso en algunos modos de realización, el material de relleno 211 puede comprender un material compresible tal como uno que se puede comprimir al menos parcialmente por el material de espuma en expansión adyacente 208. Por ejemplo, el material de relleno compresible 211 (por ejemplo, bolsas de estiba, cajas/tubos de cartón, cartón corrugado o similares) se puede insertar inicialmente en el molde. A medida que el material de espuma subsiguiente 208 se inserta en el molde, el material de espuma 208 se puede expandir y proporcionar tensión adicional contra el molde y/o el recubrimiento, así como contra el material de relleno compresible 211. El material de relleno compresible 211 se puede, por lo tanto, comprimir al menos parcialmente en respuesta a la presión de la espuma en expansión, liberando de este modo dicha presión del molde y/o el recubrimiento.

[0026] Después de que el material de relleno 211 se inserta en el molde, el espacio abierto restante del volumen interno 209 del cuerpo 207 se llena con un material de relleno 208, por ejemplo, un material de espuma. La cubierta protectora 202 rodea al menos parcialmente el material de espuma 208 para definir una superficie exterior 204 del componente de pala de rotor 200. Además, la cubierta protectora 202 incluye un material elastomérico, tal como un material de poliurea, de modo que el componente de pala de rotor 200 está configurado para flexionarse con la pala de rotor 16 durante el funcionamiento de la turbina eólica 10. El componente de pala de rotor 200 también puede incluir uno o más miembros de soporte 210 configurados dentro del material de espuma 208. Por ejemplo, como se muestra, los miembros de soporte 210 se pueden extender en una dirección en general relativa a la envergadura, tal como desde en general adyacente a la raíz de pala 212 hacia la punta de pala 214, en el material de espuma 208 del componente de pala de rotor 200.

[0027] En todavía otros modos de realización, los componentes de pala de rotor 200 pueden incluir un material poroso, por ejemplo, fieltro, entre el material elastomérico 202 y el material de espuma 208. El material poroso puede ser cualquier material adecuado configurado para mejorar la unión mecánica entre el material elastomérico 202 y el material de espuma 208. Por ejemplo, en un modo de realización, el material elastomérico 202 se aplica al molde, el material poroso se aplica al molde antes de que el material elastomérico tenga tiempo de curarse, y a continuación el molde se llena con el material de espuma. Como tal, el material poroso absorbe el material elastomérico húmedo y proporciona una mejor interfaz mecánica y/o unión entre el material elastomérico y el material de espuma.

[0028] Como se indica anteriormente, el material de relleno 211 y el material de espuma 208 del componente de pala de rotor 200 divulgado pueden estar dispuestos en general en todo el interior del cuerpo 207 del componente de pala 200. En particular, el material de espuma 208 se puede configurar para extenderse entre cada uno de los miembros de soporte 210 y/o entre los miembros de soporte 210 y la cubierta protectora 202 para ocupar o llenar al menos una parte del volumen interno 209 del cuerpo 207 del componente de pala de rotor 200 que no está lleno

por el material de relleno 211. Como se usa en el presente documento con referencia a las FIGS. 4-5, el término "volumen interno" se refiere al volumen 209 del cuerpo 207 de los diversos componentes de pala de rotor 200 definidos por las superficies internas 206 de la cubierta protectora 202 que de otro modo no está ocupado por el (los) miembro(s) de soporte 210. En varios modos de realización, el material de espuma 208 se puede configurar para ocupar una parte sustancial del volumen interno del cuerpo 207 que de otro modo no estaría lleno por el material de relleno 211. Por ejemplo, el material de espuma 208 se puede configurar para ocupar más del 50 % del volumen interno restante del cuerpo 207, tal como más del 75 % del volumen interno restante o más del 85 % del volumen interno restante, los materiales de espuma 208 pueden ser una combinación de espuma pulverizada y paneles de espuma. En dicho modo de realización, los paneles de espuma se pueden instalar dentro del molde para dividir el molde en secciones. La espuma pulverizable se puede pulverizar a continuación en las diferentes secciones para lograr una densidad deseada del componente de pala de rotor 200. De forma alternativa, el material de espuma 208 se puede configurar para ocupar menos del 50 % del volumen interno restante del cuerpo 207.

[0029] Se debe apreciar que el material de espuma 208 en general puede incluir cualquier material adecuado que sea capaz de inyectarse en un molde, mecanizarse (por ejemplo, paneles de espuma) o conformarse de otro modo en el perfil del componente de pala de rotor 200, o cualquier combinación de los mismos. Por ejemplo, en un modo de realización, los materiales de espuma 208 pueden ser una combinación de espuma pulverizada y paneles de espuma. En dicho modo de realización, los paneles de espuma se pueden instalar dentro del molde para dividir el molde en secciones. La espuma pulverizable se puede pulverizar a continuación en las diferentes secciones para lograr una densidad deseada del componente de pala de rotor.

[0030] En varios modos de realización de la presente materia, el material de espuma 208 puede comprender un material relativamente ligero y de baja densidad. Por tanto, en un modo de realización particular, el material de espuma 208 puede comprender una espuma de baja densidad o material macizo. Por ejemplo, el material de espuma 208 puede incluir una densidad que varía de aproximadamente 8 kg/m^3 - 0,5 libras por pie cúbico (lb/ft^3) a aproximadamente 48 kg/m^3 - 3 lb/ft^3 , más preferentemente aproximadamente 32 kg/m^3 - 2 lb/ft^3 . En otros modos de realización, el material de espuma 208 puede tener una densidad de menos de 8 kg/m^3 - 0,5 lb/ft^3 o una densidad de más de 48 kg/m^3 - 3 lb/ft^3 , tal como 320 kg/m^3 - 20 lb/ft^3 o cualquier otra densidad adecuada. Los materiales de espuma de baja densidad adecuados pueden incluir, pero no se limitan a, espumas de poliestireno (por ejemplo, espumas de poliestireno expandido), espumas de poliuretano (por ejemplo, espuma de poliuretano de celda cerrada), otros cauchos de espuma/espumas a base de resina y otras espumas diversas de celdas abiertas y celdas cerradas. De forma alternativa, el material de espuma 208 puede incluir otros materiales adecuados de baja densidad, tales como madera de balsa, corcho y similares.

[0031] Con referencia todavía a las FIGS. 4 y 5, los miembros de soporte 210 en general se pueden configurar como componentes estructurales para el componente de pala de rotor 200 divulgado. Por ejemplo, los miembros de soporte 210 se pueden configurar para proporcionar soporte para el material de espuma 208 durante la fabricación del componente de pala de rotor 200. Adicionalmente, los miembros de soporte 210 se pueden configurar para proporcionar rigidez y/o resistencia al componente de pala de rotor 200 durante el funcionamiento de la turbina eólica 10. Por tanto, se debe apreciar que los miembros de soporte 210 en general pueden tener cualquier forma, tamaño, sección transversal y/o configuración adecuados que permita que los miembros de soporte 210 funcionen como se describe en el presente documento.

[0032] En particular, en varios modos de realización, los miembros de soporte 210 se pueden configurar para extenderse longitudinalmente dentro del componente de pala de rotor 200. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, los miembros de soporte 210 se pueden configurar para extenderse longitudinalmente dentro del componente de pala de rotor 200 desde la raíz de pala 212 hacia la punta de pala 214. Adicionalmente, los miembros de soporte 210 se pueden configurar como un componente estructural sólido (es decir, no hueco) que define cualquier forma de sección transversal adecuada. De forma alternativa, se debe apreciar que los miembros de soporte 210 se pueden configurar en general como componentes huecos que definen cualquier forma de sección transversal adecuada. La forma de sección transversal, por ejemplo, puede ser rectangular, circular, elíptica, triangular o cuadrada. Adicionalmente, los miembros de soporte 210 pueden definir en general cualquier altura y anchura relativa a la cuerda adecuadas dentro del componente de pala de rotor 200.

[0033] Adicionalmente, los miembros de soporte 210 pueden definir en general cualquier altura y anchura relativa a la cuerda adecuadas dentro del componente de pala de rotor 200. Por ejemplo, cada uno de los miembros de soporte 210 puede definir una altura que se extiende entre las superficies internas 206 de la cubierta protectora 202. Además, en otro modo de realización, los miembros de soporte 210 pueden estar orientados dentro del componente de pala de rotor 200 perpendicular a la orientación mostrada en las FIGS. 4 y 5 (es decir, en la dirección relativa a la cuerda).

[0034] Además, los miembros de soporte 210 pueden estar formados en general de cualquier material adecuado. Sin embargo, en varios modos de realización de la presente materia, los miembros de soporte 210 se pueden formar a partir de un material relativamente rígido y/o duradero para proporcionar rigidez y/o resistencia al componente de pala de rotor 200. Por ejemplo, los miembros de soporte 210 se pueden formar a partir de cualquier material compuesto laminado adecuado (por ejemplo, laminados reforzados con fibra), materiales polímeros (por ejemplo, plásticos de alta resistencia), materiales metálicos (por ejemplo, aluminio), un material de madera o cualquier otro material o combinaciones de materiales adecuados. Adicionalmente, se debe apreciarse que,

aunque cada uno de los componentes de pala de rotor 200 divulgados se representan como que incluyen un miembro de soporte 210, los componentes de pala de rotor 200 en general pueden incluir cualquier número de miembros de soporte 210, tales como dos o más miembros de soporte 210.

5 **[0035]** Con referencia todavía a las FIGS. 4 y 5, como se indica anteriormente, el componente de pala de rotor 200 incluye una cubierta protectora 202 que define la superficie exterior 204 del componente de pala de rotor 200. En general, la cubierta protectora 202 puede estar configurada para disponerse alrededor del perímetro exterior del material de espuma 208 de modo que el componente de pala de rotor 200 defina un perfil aerodinámico suave. Adicionalmente, como recubrimiento externo para el componente de pala de rotor 200, la cubierta protectora 202
10 puede proporcionar soporte, así como protección al material de espuma 208 (por ejemplo, protección contra impactos).

15 **[0036]** Se debe apreciar que la cubierta protectora 302 en general puede comprender cualquier material adecuado y se puede formar usando cualquier procedimiento y/o proceso adecuado. Por ejemplo, en un modo de realización, la cubierta protectora 302 puede ser cualquier material elastomérico adecuado. Los materiales elastoméricos adecuados pueden incluir materiales elastoméricos tejidos o no tejidos, películas elastoméricas, laminados elastoméricos y combinaciones de los mismos. El material de la cubierta protectora 302 también puede incluir otros materiales tejidos o no tejidos, o materiales estirables pero inelásticos.

20 **[0037]** En modos de realización adicionales, la cubierta protectora 302 incluye un material elastomérico de pulverización. Más específicamente, en otro modo de realización, la cubierta protectora 302 incluye un compuesto de pulverización elastomérico de poliurea de pulverización. Como se usa en el presente documento, un "material de poliurea" o una "poliurea" incluye cualquier polímero orgánico formado por la reacción de isocianato con una resina de poliéter terminada en amina, formando de este modo un compuesto similar al plástico o similar al caucho. Los materiales de poliurea adecuados incluyen típicamente reactividad rápida, insensibilidad relativa a la humedad, excelente adhesión a las superficies y alta resistencia. Por ejemplo, en diversos modos de realización, la poliurea
25 puede tener una resistencia de $41,4 \times 10^6$ N/m² - 6000 libras por pulgada cuadrada (psi) de tensión y más del 500 % de elongación. Además, el tiempo de curado rápido permite que muchas capas se acumulen rápidamente. En otro modo de realización, el recubrimiento de la superficie de pulverización puede ser un compuesto de pulverización elastomérico de poliuretano.
30

[0038] Como se menciona, el material elastomérico puede tener altas propiedades de elongación. Por ejemplo, la cubierta protectora 302 puede incluir propiedades de elongación de más de aproximadamente el 100 %, tal como más del 200 % o más del 300 % o más del 500 %. Como se usa en el presente documento y en las reivindicaciones, los términos "elástico" y "elastomérico" tienen sus significados amplios habituales. Por ejemplo, para los propósitos de esta invención, "elástico" y "elastomérico" se pueden definir convenientemente como cualquier material, tal como caucho natural o sintético, que sea capaz de recuperar su forma original cuando se elimina una fuerza deformante. Se debe entender también que los términos "elástico" y "elastomérico" no están limitados por la definición y pueden tener cualquier definición adecuada comúnmente conocida en la técnica.
35
40

[0039] Además, el material elastomérico como se describe en el presente documento puede tener cualquier dureza adecuada. Para los propósitos de la presente divulgación, la "dureza" del material es una medida de la resistencia del material a la abolladura o deformación permanente. La escala de durómetro Shore D se usa más comúnmente para medir la dureza de materiales más duros, por ejemplo, acero, mientras que la escala Shore A se usa para materiales más blandos, por ejemplo, caucho. Dentro de la escala, un número más alto indica un material más duro. El material elastomérico puede tener una dureza que varía de aproximadamente Shore A 30 (muy suave) a aproximadamente Shore D 80 (muy duro). Como tal, la dureza del material elastomérico puede ayudar a proteger la superficie del componente de pala de rotor contra cualquier impacto o daño puntual, por ejemplo, durante el transporte después de la fabricación o durante el funcionamiento de la turbina eólica.
45
50

[0040] Con referencia ahora a la FIG. 6, se ilustra otro modo de realización de un procedimiento 300 para fabricar un componente de pala de rotor de acuerdo con la presente materia. Además, el procedimiento 300 de la FIG. 6 se explicará con mayor detalle con referencia a las FIGS. 7-8. Como se muestra, el procedimiento 300 incluye una etapa 302 de proporcionar al menos un miembro de soporte para el componente de pala de rotor en una superficie de molde. Por ejemplo, en un modo de realización, el miembro de soporte se proporciona para definir un perfil o forma del componente de pala de rotor. Además, el miembro de soporte se puede colocar sobre cualquier superficie de molde adecuada. Por ejemplo, en un modo de realización, la superficie de molde puede ser una superficie de una pala de rotor existente de la turbina eólica. De forma alternativa, la superficie de molde puede ser cualquier superficie adecuada configurada para fabricar los componentes de pala de rotor como se describe en el presente documento, tal como cualquier superficie ubicada en una instalación de fabricación.
55
60

[0041] Todavía en referencia a la FIG. 6, el procedimiento 300 también puede incluir una etapa 304 de recubrir al menos una parte del miembro de soporte con un material elastomérico. Por ejemplo, en un modo de realización, el procedimiento 300 incluye pulverizar el miembro de soporte con un material elastomérico, por ejemplo, un material de poliurea. Además, el procedimiento puede incluir recubrir al menos una parte de la superficie de molde con el material elastomérico para formar una base y/o brida del componente de pala de rotor. Por ejemplo, como
65

se muestra en la FIG. 8, la base 408 del generador de vórtice 402 se puede formar pulverizando la superficie de molde además de los miembros de soporte. Además, los bordes 407 de la base 408 pueden ser cónicos (es decir, pulverizando una capa más delgada de material elastomérico desde el centro hacia los bordes 407) para proporcionar al generador de vórtice 402 una forma más aerodinámica. Además, los expertos en la técnica deben entender que el recubrimiento y/o la pulverización del material elastomérico se puede variar para cualquier aplicación adecuada de modo que el espesor de la cubierta protectora se pueda variar donde se desee.

[0042] El procedimiento 300 también puede incluir una etapa 306 de permitir que el material elastomérico se cure sobre la superficie de molde para formar el componente de pala de rotor. Si la superficie de molde corresponde a una superficie de la pala de rotor 16, entonces el componente de pala de rotor puede permanecer en su lugar después de la formación. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 7, los miembros de soporte 404 se colocan en la ubicación deseada en la superficie del lado de succión 26 de la pala de rotor 16, y el material elastomérico se pulveriza sobre la superficie 26 para cubrir una parte de los miembros de soporte 404 y una parte de la superficie de molde 26 y dejarla en su lugar para el curado. Dicho modo de realización proporciona un generador de vórtice mejorado con bordes cónicos 407 para mejorar el rendimiento aerodinámico.

[0043] En modos de realización adicionales, si la superficie de molde es una superficie en una instalación de fabricación (no mostrada), las partes se pueden transportar a un sitio de turbina eólica después de la producción y posteriormente instalarse en una pala de rotor dependiendo del tipo de componente de pala de rotor. En un modo de realización, por ejemplo, el componente de pala de rotor se puede instalar fácilmente por medio de la base y/o bridas formadas pulverizando la superficie de molde además de los miembros de soporte con el material elastomérico.

[0044] Se debe apreciar que, aunque los diversos elementos del procedimiento 302, 304, 306, ilustrados en la FIG. 6 se muestran en un orden particular, los elementos en general se pueden realizar en cualquier secuencia y/u orden consistente con la divulgación proporcionada en el presente documento. En consecuencia, se pueden producir nuevos componentes de pala de rotor sin la necesidad de moldes personalizados y especializados. Como tal, los nuevos componentes de pala del rotor se pueden fabricar de inmediato, sin el tiempo adicional requerido para crear y/u obtener dichos moldes especializados.

[0045] Con referencia todavía a las Figs. 7 y 8, se ilustra un modo de realización de un componente de pala de rotor 400 fabricado de acuerdo con el procedimiento 300 como se describe en el presente documento. Por ejemplo, como se muestra, se proporciona una pluralidad de miembros de soporte 404 en la superficie del lado de succión 26 de la pala de rotor 16, que corresponden a las localizaciones de las superficies elevadas 406 del generador de vórtice 402. Como tal, el componente de pala de rotor 400 se puede formar recubriendo y/o pulverizando los miembros de soporte 404 con un recubrimiento de poliurea. Se puede permitir que el recubrimiento de poliurea se cure sobre la superficie de molde (es decir, la superficie del lado de succión 26 de la pala de rotor 16) para formar el componente de pala de rotor 400. Como tal, en diversos modos de realización, los componentes de pala de rotor fabricados de acuerdo con dicho procedimiento se pueden completar en condiciones reales hasta la turbina eólica 10. En consecuencia, los nuevos componentes de pala de rotor se pueden producir más rápida y fácilmente y a un coste reducido en comparación con los procedimientos convencionales. Además, en modos de realización particulares, el material elastomérico pulverizado forma el componente de pala de rotor sin el uso del material de espuma. Como se menciona, en otros modos de realización, el componente de pala de rotor se puede fabricar en cualquier otro entorno adecuado controlado o no controlado, tal como una instalación de fabricación o al aire libre.

[0046] Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferente, y también para permitir que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y el modo de realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención se define mediante las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos concebidos por los expertos en la técnica. Dichos otros ejemplos están previstos para estar dentro del alcance de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no difieran del texto literal de las reivindicaciones o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales del lenguaje literal de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una pala de rotor (16) para una turbina eólica (10), comprendiendo la pala de rotor (16) un componente de pala de rotor (200), en la que el componente de pala de rotor (200) comprende uno de una carcasa de pala de rotor, una extensión de borde de ataque (203), una extensión de borde de salida (205), un refuerzo de raíz de pala, una protuberancia de baja carga, una aleta, un generador de vórtice (402) o un elemento modificador del flujo de aire, en la que el componente de pala de rotor comprende:
- 10 un cuerpo (207) que define un perfil del componente de pala de rotor (200), comprendiendo el cuerpo un volumen interno (209);
- un material de relleno (211) configurado dentro del cuerpo (207) para reducir al menos parcialmente el volumen interno (209);
- 15 un material de espuma (208) que llena el volumen interno restante (209) del cuerpo (207);
- uno o más miembros de soporte (210) dentro del material de espuma (208), en el que los miembros de soporte están configurados como componentes estructurales para el componente de pala de rotor; y
- 20 una cubierta protectora (202) que rodea al menos una parte del material de espuma (208) y que define una superficie exterior del componente de pala de rotor (200), comprendiendo la cubierta protectora (202) un material elastomérico,
- 25 en la que el componente de pala de rotor (200) está configurado para flexionarse con la pala de rotor (16) en funcionamiento.
2. La pala de rotor (16) de la reivindicación 1, en la que el material de relleno (211) está asegurado en su lugar dentro del volumen interno (209).
- 30 3. La pala de rotor (16) de la reivindicación 2, en la que el material de relleno asegurado (211) divide el volumen interno (209) en una pluralidad de cámaras (213).
- 35 4. La pala de rotor (16) de la reivindicación 3, en la que el material de espuma (20) llena al menos dos de la pluralidad de cámaras (213).
5. La pala de rotor (16) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que el material de relleno (211) comprende un material compresible.
- 40 6. La pala de rotor (16) de cualquier reivindicación precedente, en la que el material de relleno (211) comprende una o más preformas de espuma.
7. La pala de rotor (16) de cualquier reivindicación precedente, en la que el material de relleno (211) comprende uno o más elementos huecos.
- 45 8. Un procedimiento (100) de fabricación del componente de pala de rotor (200) para la pala de rotor (16) como se define en cualquier reivindicación precedente, comprendiendo el procedimiento:
- proporcionar (102) un molde del componente de pala de rotor (200);
- 50 recubrir (104) al menos una parte de una superficie interior del molde con un material elastomérico;
- insertar (105) material de relleno (211) dentro del molde para reducir al menos parcialmente el volumen interno abierto (209) dentro del molde;
- 55 ensamblar uno o más miembros de soporte (210) dentro del molde;
- después de insertar el material de relleno (211), insertar (106) un material de espuma (208) dentro del molde para formar el componente de pala de rotor (200); y
- 60 retirar (108) el componente de pala del rotor (200) del molde, en el que el material elastomérico forma una cubierta protectora (202) alrededor de al menos una parte del componente de pala de rotor (200).
9. El procedimiento (100) de la reivindicación 8, en el que insertar el material de relleno (210) comprende asegurar el material de relleno (211) en su lugar dentro del volumen interno abierto (209).
- 65 10. El procedimiento (100) de la reivindicación 9, en el que asegurar el material de relleno (210) divide el volumen

interno abierto (209) en una pluralidad de cámaras (213).

5 **11.** El procedimiento (100) de la reivindicación 10, en el que insertar el material de espuma (208) dentro del molde comprende insertar material de espuma (208) en al menos dos de la pluralidad de cámaras (213).

10 **12.** El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que al menos parte del material de relleno (211) se comprime al menos parcialmente cuando el material de espuma (208) se inserta dentro del molde, en el que al menos parte del material de relleno (211) es compresible y está al menos parcialmente comprimido en respuesta a la presión del material de espuma en expansión.

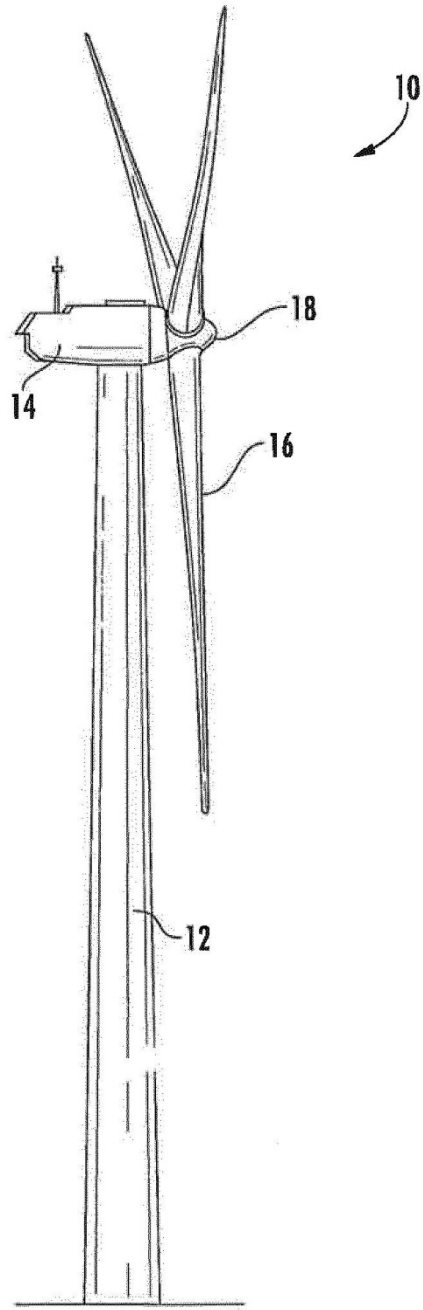


FIG. 1

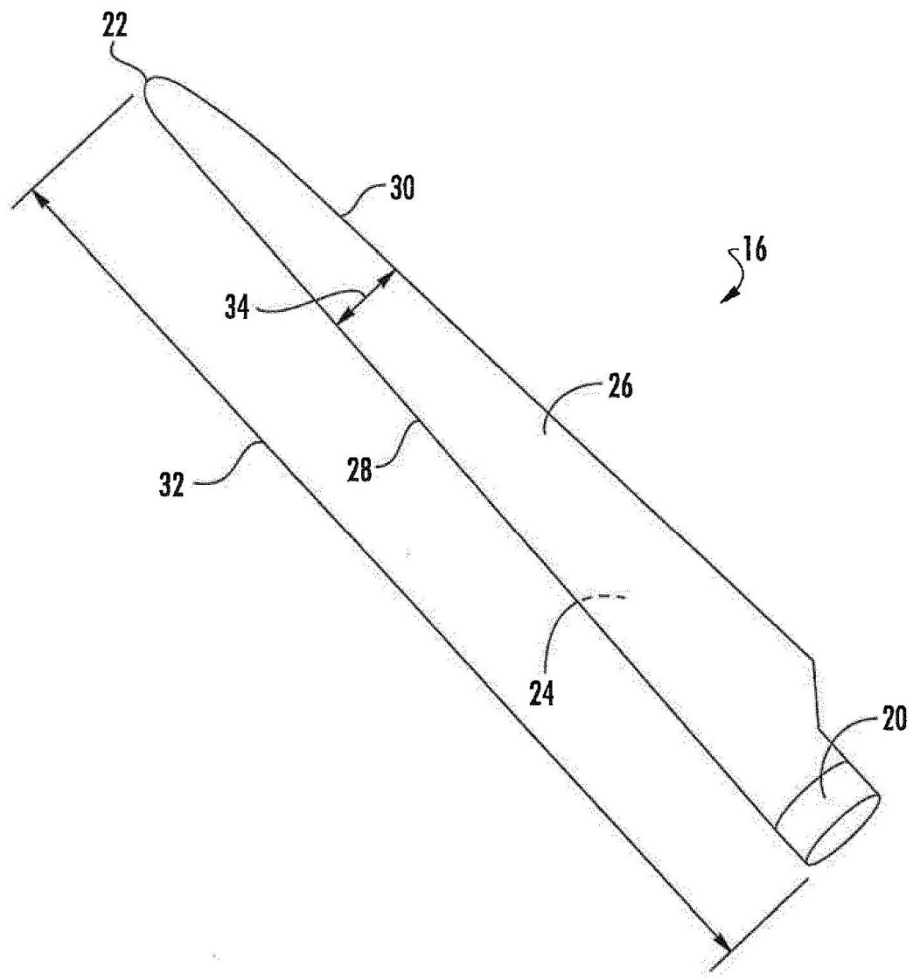


FIG. 2

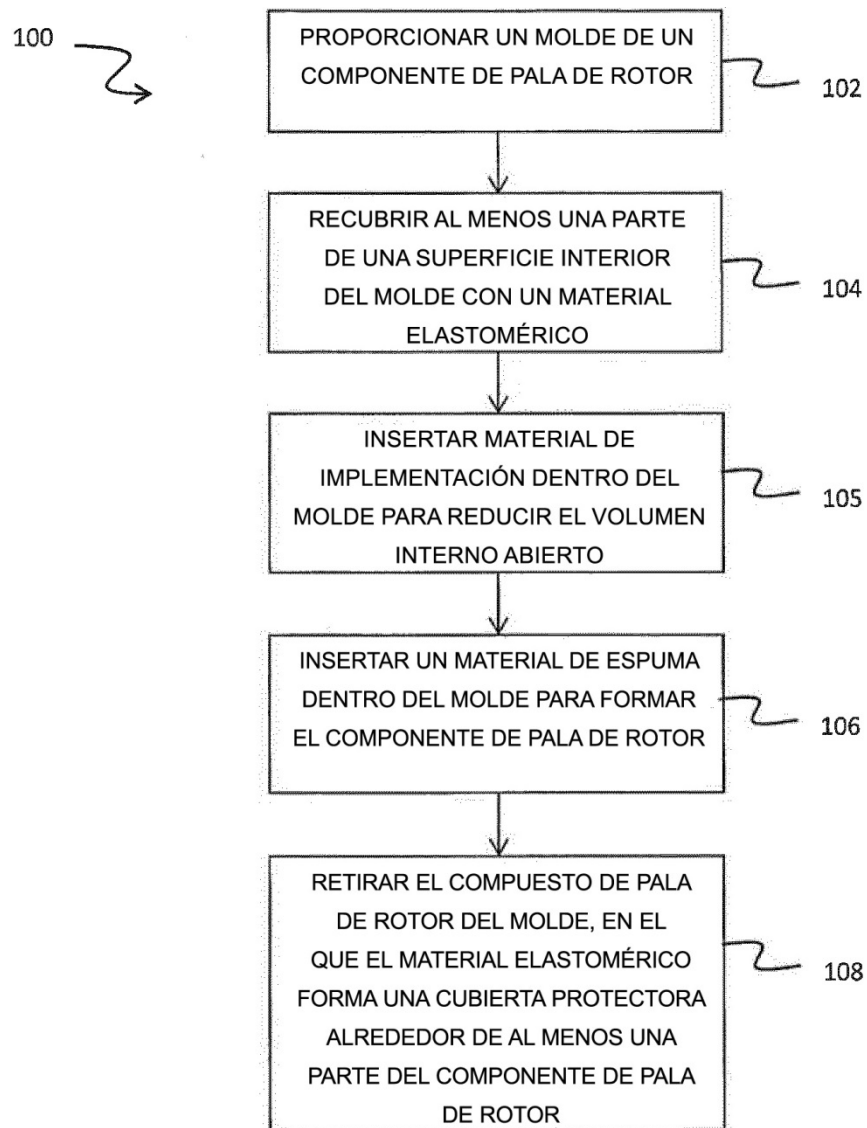


FIG. 3

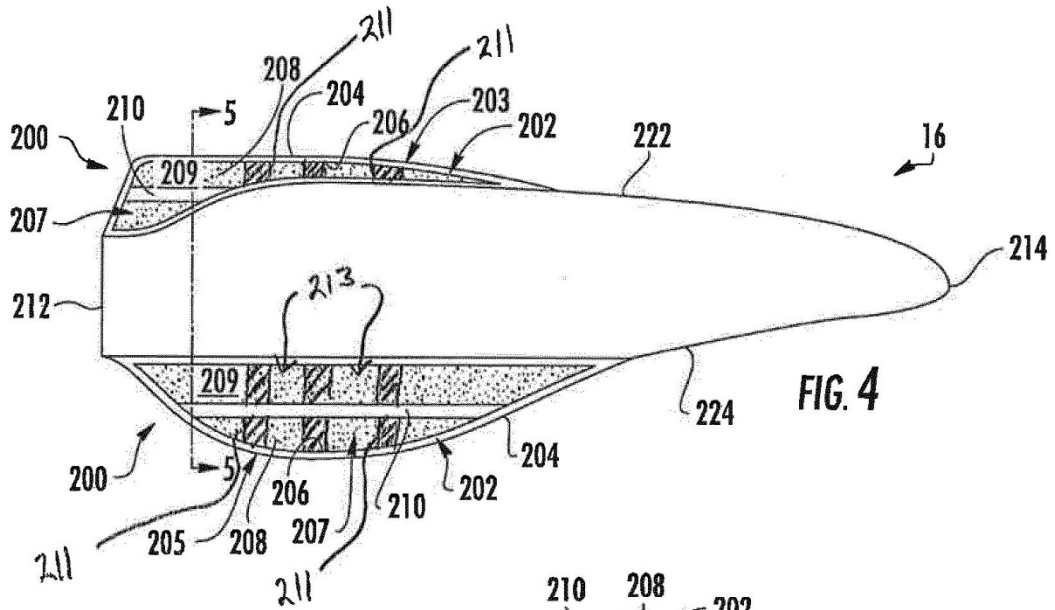


FIG. 4

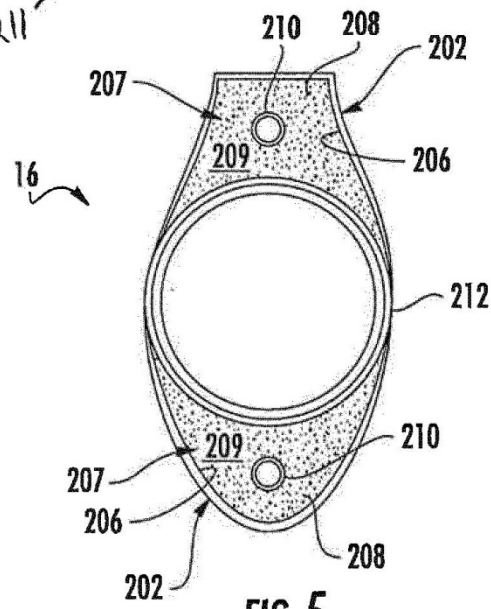


FIG. 5

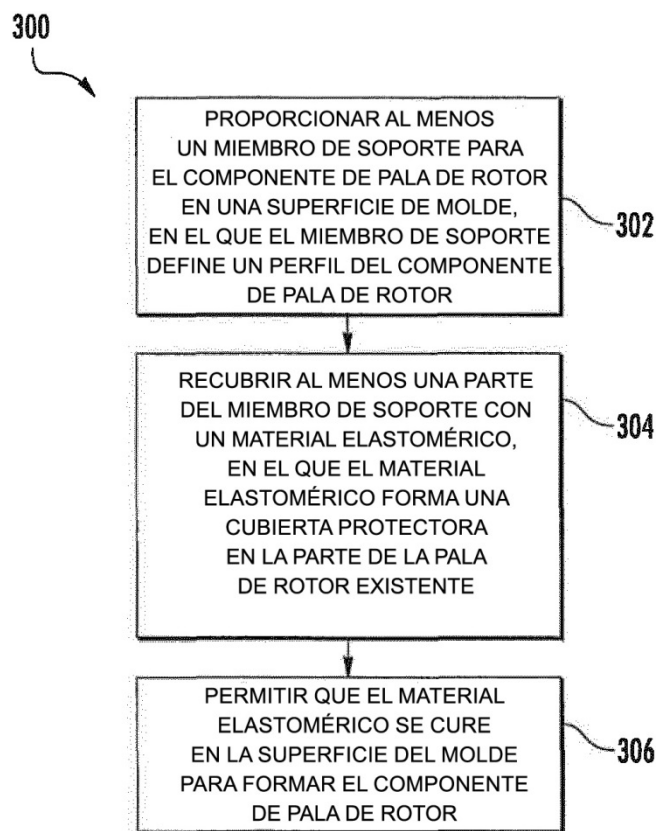


FIG. 6

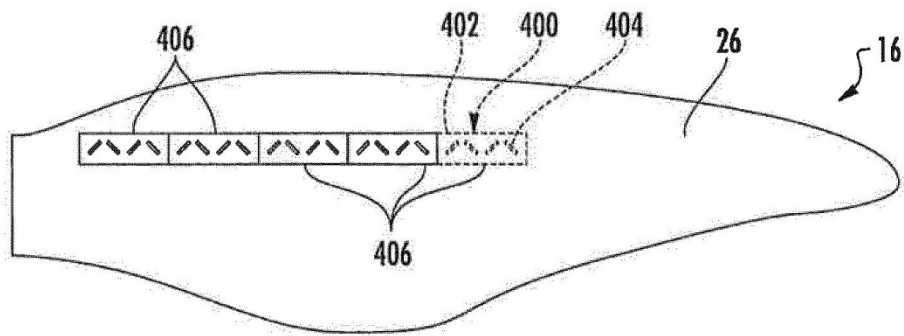


FIG. 7

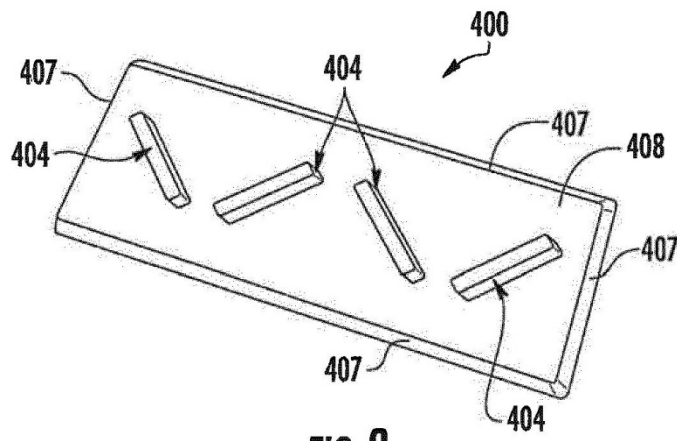


FIG. 8