

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 516 092**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

F15D 1/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2011** **E 11194546 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.08.2014** **EP 2497944**

54 Título: **Sistema y procedimiento de manipulación de una capa límite en una pala de rotor de una turbina eólica**

30 Prioridad:

04.01.2011 US 984222

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

30.10.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

BHAISORA, SHAILESH SINGH;
SHASTRI, NARASIMHA y
GUPTA, ANURAG

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 516 092 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

Sistema y procedimiento de manipulación de una capa límite en una pala de rotor de una turbina eólica

La materia descrita en el presente documento versa, en general, acerca de turbinas eólicas y, más en particular, acerca de procedimientos y sistemas de manipulación de una capa límite en una pala de rotor de una turbina eólica.

5 Al menos algunas turbinas eólicas conocidas incluyen una góndola fijada encima de una torre, en las que la góndola incluye un rotor acoplado a un generador a través de un eje. En los conjuntos conocidos de rotor, una pluralidad de palas se extienden desde el rotor. Las palas están orientadas de forma que el viento que pasa sobre las palas haga girar el rotor y gire el eje, accionando, de ese modo, el generador para generar electricidad. Según fluye el viento sobre una superficie externa de la pala del rotor, se forma una capa límite sobre la superficie externa que facilita la
10 generación de sustentación en la pala del rotor.

El documento US 2010/0028149 da a conocer un sistema de pala de turbina que tiene un dispositivo de punta para controlar un flujo de aire para reducir el ruido y aumentar la eficacia aerodinámica.

Al menos algunas de las palas conocidas de rotor de turbina eólica incluyen un sistema de control activo del flujo. Control activo del flujo (AFC) es una expresión general para tecnologías y/o sistemas que intentan influir activamente
15 sobre una respuesta aerodinámica de un objeto en reacción a las condiciones dadas en el flujo. Más específicamente, se utilizan al menos algunos sistemas conocidos de AFC para manipular la capa límite en una pala de rotor de turbina eólica. Al menos algunos sistemas conocidos de AFC utilizan sistemas de suministro de aire para proporcionar aire que va a ser descargado desde la pala del rotor y a la capa límite. Los sistemas conocidos de AFC requieren que se canalice el aire desde la góndola y/o el cubo hasta la pala del rotor. Al canalizar el aire desde la
20 góndola y/o el cubo, los sistemas conocidos de AFC aumentan los requerimientos de energía de componentes de la turbina eólica, lo que tiene como resultado una reducción en la producción anual de energía de la turbina eólica.

Las reivindicaciones adjuntas definen diversos aspectos y realizaciones de la presente invención.

Se describirán ahora diversos aspectos y realizaciones de la presente invención en conexión con los dibujos adjuntos, en los que:

25 La FIG. 1 es una vista en perspectiva de una porción de una turbina eólica ejemplar.
La FIG. 2 es una vista en perspectiva de una pala ejemplar de rotor adecuada para ser utilizada con la turbina eólica mostrada en la FIG. 1 que incluye un sistema ejemplar de distribución de aire.
La FIG. 3 es una vista en corte transversal de la pala ejemplar de rotor que incluye el sistema de distribución de aire mostrado en la FIG. 2 a lo largo de la línea 3-3 de sección.
30 La FIG. 4 es otra vista en corte transversal de la pala ejemplar de rotor que incluye el sistema de distribución de aire mostrado en la FIG. 2 a lo largo de la línea 4-4 de sección.
La FIG. 5 es un diagrama de bloques de un sistema ejemplar de control adecuado para ser utilizado con la turbina eólica mostrada en la Fig. 1.
La FIG. 6 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento ejemplar para manipular una capa límite en la
35 pala de rotor mostrada en la FIG. 2.

Las realizaciones descritas en el presente documento facilitan el montaje de una pala de rotor que aumenta una producción anual de energía de una turbina eólica. Según se utiliza en el presente documento, la expresión "producción anual de energía" hace referencia a la energía eléctrica acumulativa producida por una turbina eólica durante un periodo de un año. Además, la pala de rotor descrita en el presente documento incluye un sistema de
40 distribución de aire que descarga aire a una capa límite que fluye a través de una superficie externa de la pala de rotor. Más específicamente, el sistema de distribución de aire descrito en el presente documento está configurado para aspirar aire ambiente al interior de la cavidad de la pala de rotor y para descargar el aire a la capa límite. Al descargar aire a la capa límite, el sistema de distribución de aire facilita el aumento de la eficacia aerodinámica de la pala de rotor durante la operación de la turbina eólica, y reduce los requerimientos de potencia de los componentes de la turbina eólica en comparación con las turbinas eólicas conocidas. Al aspirar aire ambiente al interior de la cavidad de la pala de rotor, y al descargar aire a la capa límite, el sistema de distribución de aire reduce un
45 requerimiento de potencia para manipular la capa límite para permitir la unión renovada de la capa límite y el desarrollo de un flujo laminar adyacente a la superficie externa de la pala de rotor. Como tal, las realizaciones descritas en el presente documento facilitan la mejora de la operación de la turbina eólica para aumentar la
50 producción anual de energía de la turbina eólica. Además, el sistema de distribución de aire canaliza el aire a través de la cavidad de la pala de rotor durante una ráfaga de aire para reducir la sustentación de la pala de rotor para evitar un exceso de velocidad de la turbina eólica. Al evitar un exceso de velocidad de la turbina eólica, se facilita la reducción del coste de operación del sistema de turbina eólica. Según se utiliza en el presente documento, la expresión "exceso de velocidad" hace referencia a una velocidad rotacional de un eje del rotor a la que puede
55 producirse un daño potencial al eje del rotor, incluyendo daños a la turbina.

La FIG. 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica ejemplar 10. En la realización ejemplar, la turbina eólica 10 es una turbina eólica de eje horizontal. De forma alternativa, la turbina eólica 10 puede ser una turbina eólica de

eje vertical. En la realización ejemplar, la turbina eólica 10 incluye una torre 12 que se extiende desde una superficie 14 de soporte, una góndola 16 que está montada en la torre 12, un generador 18 que está colocado en el interior de la góndola 16, y una caja 20 de engranajes que está acoplada al generador 18. Un rotor 22 está acoplado de forma giratoria con la caja 20 de engranajes con un eje 24 del rotor. De forma alternativa, la turbina eólica 10 no incluye una caja 20 de engranajes, de forma que el rotor 22 está acoplado de forma giratoria al generador 18 con el eje 24 del rotor. En la realización ejemplar, el rotor 22 incluye un cubo giratorio 26 y al menos una pala 28 de rotor que se extiende hacia fuera desde el cubo 26. Un sistema 30 de distribución de aire está acoplado a una o más palas 28 de rotor para facilitar el aumento de la producción de energía de la turbina eólica 10. En una realización, un sistema 32 de control está acoplado al sistema 30 de distribución de aire y se encuentra en comunicación operativa de control con el sistema 30 de distribución de aire.

Según se utiliza en el presente documento, "comunicación operativa de control" hace referencia a un enlace, tal como un conductor, un cable y/o un enlace de datos, entre dos o más componentes de la turbina eólica 10 que permite que se comuniquen señales, corrientes eléctricas y/o instrucciones entre los dos o más componentes. El enlace está configurado para habilitar un componente para que controle una operación de otro componente de la turbina eólica 10 utilizando las señales, corrientes eléctricas y/o instrucciones comunicadas.

En la realización ejemplar, el rotor 22 incluye tres palas 28 de rotor. En una realización alternativa, el rotor 22 incluye más o menos de tres palas 28 de rotor. Las palas 28 de rotor están separadas en torno al cubo 26 para facilitar la rotación del rotor 22 para permitir que la energía cinética sea transformada, a partir del viento en energía mecánica utilizable y, subsiguientemente, en energía eléctrica. En la realización ejemplar, las palas 28 de rotor tienen una longitud que varía desde aproximadamente 30 metros (m) hasta aproximadamente 120 m. De forma alternativa, las palas 28 de rotor pueden tener cualquier longitud adecuada que permita que la turbina eólica 10 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, otros ejemplos no limitantes de longitudes de las palas incluyen 10 m o menos, 20 m y 37 m o una longitud que es mayor de 120 m. Según incide el viento contra las palas 28 de rotor desde una dirección 34, se gira el rotor 22 en torno a un eje de rotación 36. Según giran las palas 28 de rotor y son sometidas a fuerzas centrífugas, las palas 28 de rotor también son sometidas a diversos momentos y fuerzas. Como tal, las palas 28 de rotor pueden flexionarse y/o girar desde una posición neutral o no flexionada hasta una posición flexionada. Un sistema 38 de ajuste del paso hace girar las palas 28 de rotor en torno a un eje 40 de paso para ajustar una orientación de las palas 28 de rotor con respecto a la dirección 34 y/o a una velocidad del viento. Se puede controlar una velocidad de rotación del rotor 22 al ajustar la orientación de al menos una pala 28 de rotor con respecto a los vectores del viento. La turbina eólica 10 incluye al menos un sensor 42 de aceleración para transmitir una señal indicativa de una velocidad de rotación del rotor 22 para controlar el sistema 32. En la realización ejemplar, se controla individualmente un ángulo de ataque o de paso de cada pala 28 de rotor por medio del sistema 38 de ajuste del paso para ajustar una velocidad de rotación del rotor 22. Según se utiliza en el presente documento, la expresión "ángulo de ataque" hace referencia a la orientación de un eje 44 a lo largo de la cuerda (mostrado en la FIG. 3) de la pala 28 de rotor con respecto a una dirección 34 del viento (mostrada en la FIG. 3). De forma alternativa, se puede controlar simultáneamente el paso de la pala para todos las palas 28 de rotor por medio del sistema 38 de ajuste del paso. Además, en la realización ejemplar, la góndola 16 incluye al menos un mástil meteorológico 46 que incluye una veleta y un sensor 48 de la velocidad del viento tal como, por ejemplo, un anemómetro. El sensor 48 está configurado para detectar la dirección del viento y/o la velocidad del viento y transmitir una señal indicativa de la dirección 34 del viento y/o de la velocidad del viento al sistema 32 de control.

La FIG. 2 es una vista en perspectiva de una pala ejemplar 28 de rotor. La FIG. 3 es una vista en corte transversal de la pala 28 de rotor en una línea 3-3 de sección a lo largo de la cuerda en la FIG. 2. La FIG. 4 es una vista en corte transversal de la pala 28 de rotor en una línea 4-4 de sección a lo largo de la cuerda en la FIG. 2. Se identifican componentes idénticos mostrados en las FIGS 3 y 4 con los mismos números de referencia utilizados en la FIG. 2. En la realización ejemplar, la pala 28 de rotor incluye una primera porción, es decir, una porción 50 de base, y una segunda porción, es decir, una porción 52 de punta, opuesta a la porción 50 de base. La porción 50 de base está configurada para facilitar el montaje de la pala 28 de rotor en el cubo 26. La pala 28 de rotor incluye al menos una pared lateral 54 de la pala que se extiende entre la porción 50 de base y la porción 52 de punta, y se extiende a lo largo de un eje longitudinal 56 por toda la envergadura que está definido entre la porción 50 de base y la porción 52 de punta. La pared lateral 54 de la pala tiene una superficie interna 58 que define, al menos parcialmente, una cavidad 60 de la pala que se extiende desde la porción 50 de base hacia la porción 52 de punta. Con referencia a la FIG. 3, en la realización ejemplar, la pared lateral 54 de la pala incluye una primera sección de la pala, es decir, una sección 62 de la pala del lado de succión, y una segunda sección opuesta de la pala, es decir, una sección 64 de la pala del lado de presión. La sección 62 de la pala del lado de succión está acoplada a la sección 64 de la pala del lado de presión a lo largo de un borde 66 de ataque y a lo largo de un borde 68 de salida separado axialmente para formar la pala 28 de rotor. La pala 28 de rotor tiene una anchura 70 en el sentido de la cuerda que se extiende a lo largo del eje 44 a lo largo de la cuerda que está definido entre el borde 66 de ataque y el borde 68 de salida.

En la realización ejemplar, tres ejes perpendiculares X, Y y Z se extienden a través de la pala 28 de rotor para definir un sistema tridimensional de coordenadas cartesianas con respecto a la pala 28 de rotor, de forma que el eje Z sea sustancialmente coaxial con el eje 56 por toda la envergadura, y de forma que el eje X sea sustancialmente coaxial con el eje 44 a lo largo de la cuerda. En la realización ejemplar, la pala 28 de rotor tiene una forma sustancialmente de superficie aerodinámica e incluye un grosor 72 de la superficie aerodinámica definida a lo largo del eje Y.

Durante la operación de la turbina eólica 10, el borde 66 de ataque de la pala 28 de rotor está orientado con respecto a la dirección 34 del viento, de forma que se canaliza el viento sobre una superficie externa 74 de la pala 28 de rotor desde el borde 66 de ataque hacia el borde 68 de salida y forma una capa límite, representada por flechas 76, que se extienden entre un plano límite 78 y una superficie externa 74. Según aumenta una velocidad del viento a través de la pala 28 del rotor, la capa límite 76 puede separarse de la superficie externa 74 y definir una zona 80 de separación a lo largo de la superficie externa 74 en el borde 68 de salida, o cerca del mismo. El sistema 30 de distribución de aire está configurado para descargar aire, representado por las flechas 82, a la capa límite 76 para facilitar la manipulación de la capa límite 76 para reducir y/o evitar una separación de la capa límite 76 de la superficie externa 74.

En la realización ejemplar, el sistema 30 de distribución de aire incluye una pluralidad de conjuntos 84 de flujo de purga que están colocados en el interior de la cavidad 60. Cada conjunto 84 de flujo de purga está dimensionado y formado para descargar aire 82 a la capa límite 76 para reducir una separación de la capa límite 76 de la superficie externa 74. Cada conjunto 84 de flujo de purga incluye una abertura 86 de entrada, una abertura 88 de salida, y un conducto 90 de flujo de purga que está acoplado entre la abertura 86 de entrada y la abertura 88 de salida. El conducto 90 de flujo de purga incluye una superficie interna 92 que define un paso 94 que se extiende entre un primer extremo, es decir, un extremo 96 de entrada, y un segundo extremo, es decir un extremo 98 de salida, y define un eje central 100 entre el extremo 96 de entrada y el extremo 98 de salida. El paso 94 tiene una longitud axial 102 que está definido entre la abertura 86 de entrada y la abertura 88 de salida. El paso 94 está dimensionado y formado para canalizar aire desde la abertura 86 de entrada hasta la abertura 88 de salida. En la realización ejemplar, la abertura 86 de entrada incluye un primer diámetro, es decir un diámetro d_1 de entrada, y una abertura 88 de salida incluye un segundo diámetro, es decir, un diámetro d_2 de salida, que es menor que el diámetro d_1 de entrada. De forma alternativa, el diámetro d_2 de salida puede ser igual o mayor que el diámetro d_1 de entrada.

En la realización ejemplar, la abertura 86 de entrada se extiende a través de la pared lateral 54 y al interior del extremo 86 de entrada del conducto 90 de flujo de purga para proporcionar una comunicación de fluido entre el aire ambiente 82 y el conducto 90 de flujo de purga. La abertura 86 de entrada está dimensionada, formada y orientada para canalizar aire ambiente 82 al interior del conducto 90 de flujo de purga. La abertura 88 de salida se extiende a través de la pared lateral 54 y al interior del extremo 98 de salida del conducto 90 de flujo de purga para proporcionar una comunicación de fluido entre el conducto 90 de flujo de purga y la capa límite 76. La abertura 88 de salida está colocada con respecto a la zona 80 de separación y está dimensionada, formada y orientada para descargar aire desde el conducto 90 de flujo de purga a la capa límite 76 para manipular la capa límite 76 para reducir la separación de la capa límite 76 y aumentar una sustentación de la pala 28 de rotor.

En la realización ejemplar, la abertura 88 de salida está separada una distancia 104 (mostrada en la FIG. 2) desde la abertura 86 de entrada en el eje 44 a lo largo de la cuerda, de forma que el conducto 90 de flujo de purga esté orientado de forma sustancialmente paralela con respecto al eje 44 a lo largo de la cuerda entre el borde 66 de ataque y el borde 68 de salida. En una realización, la abertura 86 de entrada está definida en una ubicación 106 en toda la cuerda (mostrada en la FIG. 3) a lo largo del eje 44 en toda la cuerda que se encuentra entre una ubicación 108 a lo largo de la cuerda (mostrada en la FIG. 3) de grosor máximo de la superficie aerodinámica de la pala 28 de rotor y el borde 66 de ataque. De forma alternativa, la ubicación 106 a lo largo de la cuerda de la abertura 86 de entrada puede ser adyacente al borde 66 de ataque. En otra realización alternativa, la abertura 88 de salida está definida en una ubicación 110 a lo largo de la cuerda entre el grosor máximo 108 a lo largo de la cuerda de la superficie aerodinámica y el borde 68 de salida. De forma alternativa, la ubicación 110 a lo largo de la cuerda de la abertura 88 de salida puede ser adyacente al borde 68 de salida.

En la realización ejemplar, la pala 28 de rotor está dimensionada y formada de manera que durante la operación de la turbina eólica 10, la capa límite 76 está definida por la sección 62 de la pala del lado de succión. Según impacta el viento contra el borde 66 de ataque, se desarrolla una región 112 de aire de presión elevada a través de la sección 64 de la pala del lado de presión próxima al borde 66 de ataque. En la realización ejemplar, la abertura 86 de entrada está definida por la sección 64 de la pala del lado de presión y está configurada para canalizar aire desde la región 112 de presión elevada al interior del conducto 90 de flujo de purga. El extremo 96 de entrada del conducto 90 de flujo de purga está dimensionado y formado para minimizar una pérdida de presión a través de un conducto 90 de flujo de purga según se canaliza aire desde la abertura 86 de entrada hasta la abertura 88 de salida. El extremo 98 de salida tiene una superficie interna 114 que converge hacia la abertura 88 de salida para facilitar la formación de un chorro de aire que es descargado a través de la abertura 88 de salida. La abertura 88 de salida está definida a través de la sección 62 de la pala del lado de succión próxima a la zona 80 de separación, y está configurada para descargar el chorro o aire a la capa límite 76. En una realización, la abertura 86 de entrada está separada una distancia 116 desde la abertura 88 de salida a lo largo del eje Y, de forma que el conducto 90 de flujo de purga esté orientado con un ángulo agudo α con respecto al eje 44 a lo largo de la cuerda.

En la realización ejemplar, el sistema 30 de distribución de aire incluye un primer conjunto 118 de flujo de purga y al menos un segundo conjunto 120 de flujo de purga. El primer conjunto 118 de flujo de purga incluye un primer conducto 122 de flujo de purga que se extiende entre una primera abertura 124 de entrada y una primera abertura 126 de salida. El segundo conjunto 120 de flujo de purga incluye un segundo conducto 128 de flujo de purga que se extiende entre una segunda abertura 130 de entrada y una segunda abertura 132 de salida. En la realización

ejemplar, el primer conducto 122 de flujo de purga tiene una primera longitud axial 134, y un segundo conducto 128 de flujo de purga tiene una segunda longitud axial 136 que es distinta de la primera longitud axial 134. La primera abertura 124 de entrada incluye un primer diámetro 138 de entrada. La segunda abertura 130 de entrada incluye un segundo diámetro 140 de entrada que es distinto del primer diámetro 138 de entrada. La primera abertura 126 de salida incluye un primer diámetro 142 de salida, y la segunda abertura 132 de salida incluye un segundo diámetro 144 de salida que es distinto del primer diámetro 142 de salida. De forma alternativa, la primera abertura 124 de entrada y la segunda abertura 130 de entrada incluyen diámetros d_1 de entrada sustancialmente iguales, y la primera abertura 126 de salida y la segunda abertura 132 de salida incluyen diámetros d_2 de salida sustancialmente iguales.

Con referencia a las FIGS 2 y 4, en la realización ejemplar, el sistema 30 de distribución de aire también incluye un conjunto 146 de flujo de derivación para canalizar el aire de forma selectiva a través de la pala 28 de rotor para reducir una sustentación de la pala 28 de rotor y para reducir una velocidad de rotación del rotor 22. El conjunto 146 de flujo de derivación incluye una pluralidad de aberturas 148 de entrada de derivación y una pluralidad de aberturas 150 de salida de derivación. Cada abertura 148 de entrada de derivación se extiende a través de la sección 64 de la pala del lado de presión para proporcionar una comunicación de flujo entre la cavidad 60 de la pala de rotor y el aire ambiente 82, y está dimensionada, formada y orientada para canalizar aire ambiente 82 al interior de la cavidad 60 de la pala de rotor. La abertura 148 de entrada de derivación incluye un diámetro 152 que es mayor que el diámetro d_1 de entrada (mostrado en la FIG. 3) de la abertura 86 de entrada. Cada abertura 150 de salida de derivación se extiende a través de la sección 62 de la pala del lado de succión para proporcionar una comunicación de flujo entre la cavidad 60 de la pala de rotor y la capa límite 76. La abertura 150 de salida de derivación está dimensionada, formada y orientada para descargar aire desde la cavidad 60 de la pala de rotor a la capa límite 76. La abertura 150 de salida de derivación incluye un diámetro 154 que es mayor que el diámetro d_2 de salida (mostrado en la FIG. 3) de la abertura 88 de salida. En una realización, el conjunto 146 de flujo de derivación incluye una pluralidad de conductos 156 de derivación (mostrados en líneas discontinuas en la FIG. 4) que están colocados en el interior de la cavidad 60 de la pala de rotor. Cada conducto 156 de derivación está acoplado entre una abertura 148 de entrada de derivación y una abertura 150 de salida de derivación, respectivamente, para canalizar aire desde la abertura 148 de entrada de derivación hasta la abertura 150 de salida de derivación.

En la realización ejemplar, el conjunto 146 de flujo de derivación incluye una pluralidad de trampillas 158 de salida que están acopladas de forma separable y/o están acopladas de forma pivotante a la sección 62 de la pala del lado de succión. Cada trampilla 158 de salida está colocada con respecto a una abertura 150 de salida de derivación, y está configurada para cubrir la abertura 150 de salida de derivación, según se desee. Se puede colocar la trampilla 158 de salida de forma selectiva entre una primera posición 160 y una segunda posición 162 (mostrada en líneas discontinuas en la Fig. 4). En la primera posición 160, la trampilla 158 de salida cubre la abertura 150 de salida de derivación. En la segunda posición 162 la trampilla 158 de salida no cubre por completo la abertura 150 de salida de derivación y proporciona una comunicación de flujo entre la cavidad 60 de la pala de rotor y la capa límite 76.

El conjunto 146 de flujo de derivación también incluye una pluralidad de trampillas 164 de entrada que están acopladas de forma separable y/o están acopladas de forma pivotante a la sección 64 de la pala del lado de presión. Cada trampilla 164 de entrada está colocada con respecto a una abertura 148 de entrada de derivación, respectivamente, y está configurada para cubrir la abertura 148 de entrada de derivación, según se desee. Se puede colocar la trampilla 164 de entrada de forma selectiva entre la primera posición 160 y la segunda posición 162. En la primera posición 160, la trampilla 164 de entrada cubre la abertura 150 de salida de derivación. En la segunda posición 162, la trampilla 164 de entrada no cubre por completo la abertura 148 de entrada de derivación y proporciona una comunicación de flujo entre el aire ambiente 82 y la cavidad 60 de la pala de rotor.

En la realización ejemplar, el conjunto 146 de flujo de derivación incluye una pluralidad de conjuntos accionadores 166 que están acoplados operativamente a cada trampilla 164 de entrada y a cada trampilla 158 de salida, respectivamente. El conjunto accionador 166 está configurado para colocar de forma selectiva las trampillas 164 y 158 de entrada y de salida en la primera posición 160, en la segunda posición 162, y en cualquier posición entre la primera posición 160 y en la segunda posición 162. El sistema 32 de control está acoplado en comunicación operativa con cada conjunto accionador 166 para controlar una operación del conjunto accionador 166, y mover el conjunto accionador 166 entre la primera posición 160 y la segunda posición 162. En la realización ejemplar, cada conjunto accionador 166 está controlado individualmente por medio del sistema 32 de control. De forma alternativa, cada conjunto accionador 166 puede ser controlado simultáneamente por medio del sistema 32 de control.

En la realización ejemplar, el conjunto accionador 166 está colocado en el interior de la cavidad 60 de la pala de rotor y está acoplado a la superficie interna 58. En una realización, el conjunto accionador 166 es un mecanismo de tipo de pistón hidráulico e incluye un conjunto (no mostrado) de bomba hidráulica, un cilindro hidráulico 168 y un pistón hidráulico 170. El conjunto de bomba hidráulica está acoplado en comunicación de flujo con el cilindro hidráulico 168 para ajustar una presión del fluido hidráulico contenido en el cilindro hidráulico 168. El pistón hidráulico 170 está colocado en el interior del cilindro hidráulico 168 y está configurado para moverse con respecto al cilindro hidráulico 168 en función de una presión hidráulica en el interior del cilindro hidráulico 168. El pistón hidráulico 170 está acoplado a trampillas 164 y 158 de entrada y de salida, respectivamente, para mover trampillas

164 y 158 de entrada y de salida desde la primera posición 160 hasta la segunda posición 162, y desde la segunda posición 162 hasta la primera posición 160.

En una realización alternativa, el conjunto accionador 166 incluye una pluralidad de miembros (no mostrados) de resorte que están acoplados a la trampilla 164 de entrada y a la trampilla 158 de salida, respectivamente. Cada miembro de resorte está configurado para empujar las trampillas 164 y 158 de entrada y de salida hasta la segunda posición 162. Durante la operación, según golpea una ráfaga de viento la turbina eólica 10, aumenta una presión diferencial de aire a través de las trampillas 164 y 158 de entrada y de salida. Cuando la presión del aire es mayor que una presión predefinida, la presión del aire vence los miembros de resorte y mueve las trampillas 164 y 158 de entrada y de salida desde la primera posición 160 hasta la segunda posición 162, de forma que se canaliza el aire a través de la cavidad 60 de la pala de rotor.

Con referencia de nuevo a la FIG. 2, en la realización ejemplar, el sistema 30 de distribución de aire incluye al menos un colector 172 de descarga que está colocado en el interior de la cavidad respectiva 60 de la pala de rotor y está acoplado a la superficie interna 58. Una o más aberturas 174 de entrada se extienden a través de la pared lateral 54 y al interior del colector 172 de descarga para proporcionar una comunicación de flujo entre el colector 172 de descarga y el aire ambiente. Una o más aberturas 176 de descarga se extienden a través de la porción 52 de punta de la pala 28 de rotor y al interior del colector 172 de descarga para proporcionar una comunicación de flujo entre el colector 172 de descarga y la porción de punta adyacente 52 del aire ambiente. El colector 172 de descarga incluye una superficie interna 178 que define un paso 180 que se extiende desde un primer extremo 182 hasta un segundo extremo 184 opuesto al primer extremo 182. El primer extremo 182 está colocado en el interior de la cavidad 60 de la pala y está acoplado a la superficie interna 58 adyacente a la porción 52 de punta. El segundo extremo 184 está colocado en el interior de la cavidad 68 de la pala y está más cerca de la porción 50 de base que el primer extremo 182, de forma que el colector 172 de descarga se extienda a lo largo del eje 56 por toda la envergadura. La abertura 176 de descarga se extiende a través de la porción 52 de punta y a través del primer extremo 182. En una realización, la abertura 174 de entrada tiene una forma que es sustancialmente similar a la abertura 86 de entrada, y la abertura 176 de descarga tiene una forma que es sustancialmente similar a la abertura 88 de salida.

Durante la rotación de la pala 28 de rotor, en la realización ejemplar, el colector 172 de descarga canaliza aire desde la abertura 174 de entrada al interior del paso 180, y descarga aire desde el paso 180 a través de la abertura 176 de descarga para facilitar la reducción de la turbulencia que genera ruido en la porción 52 de punta. Además, en una realización, el colector 172 de descarga descarga aire para modificar los vórtices que siguen a la porción 52 de punta, facilitando, de ese modo, los niveles reducidos de energía cinética turbulenta (TKE) y un avance vorticial reducido que provoca la separación de la capa límite 76 de la porción 52 de punta de la pala. La reducción de la TKE facilita la reducción de las fluctuaciones de presión que generan ruido. La reducción del avance vorticial facilita los mecanismos de alta eficacia reductores de ruidos de origen y facilita la difusión y la dispersión de ondas acústicas para evitar la radiación de ruido coherente producida por las superficies planas.

La FIG. 5 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema ejemplar 32 de control. En la realización ejemplar, el sistema 32 de control es un controlador en tiempo real que incluye cualquier sistema adecuado a base de procesadores o a base de microprocesadores, tal como un sistema de ordenador, que incluye microcontroladores, circuitos de grupos reducidos de instrucciones (RISC), circuitos integrados para aplicaciones específicas (ASIC), circuitos lógicos y/o cualquier otro circuito o procesador que sea capaz de ejecutar las funciones descritas en el presente documento. En una realización, el sistema 32 de control puede ser un microprocesador que incluye memoria de solo lectura (ROM) y/o memoria de acceso aleatorio (RAM), tal como, por ejemplo, un microordenador de 32 bits con una ROM de 2 Mbit y una RAM de 64 Kbit. Según se utiliza en el presente documento, la expresión "en tiempo real" hace referencia a resultados que se producen en un periodo sustancialmente breve de tiempo después de que un cambio en las entradas afecta al resultado, siendo el periodo de tiempo un parámetro de diseño que puede ser seleccionado en función de la importancia del resultado y/o de la capacidad del sistema que procesa las entradas para generar el resultado.

En la realización ejemplar, el sistema 32 de control incluye un área 200 de memoria configurada para almacenar instrucciones ejecutables y/o uno o más parámetros de operación que representan y/o indican una condición de operación de la turbina eólica 10. Los parámetros de operación pueden representar y/o indicar, sin limitación, una velocidad de rotación, un ángulo de paso, una velocidad del viento y/o una dirección del viento. El sistema 32 de control incluye, además, un procesador 202 que está acoplado al área 200 de memoria y está programado para determinar una operación de uno o más dispositivos 204 de control de la turbina eólica, por ejemplo, un sistema 30 de distribución de aire y un sistema 38 de ajuste del paso, en función al menos en parte de uno o más parámetros de operación. En una realización, el procesador 202 puede incluir una unidad de procesamiento, tal como, sin limitación, un circuito integrado (CI), un circuito integrado para aplicaciones específicas (ASIC), un microordenador, un controlador lógico programable (PLC) y/o cualquier otro circuito programable. De forma alternativa, el procesador 202 puede incluir múltiples unidades de procesamiento (por ejemplo, en una configuración de múltiples núcleos).

En la realización ejemplar, el sistema 32 de control incluye una interfaz 206 de sensor que está acoplada a al menos un sensor 208 tal como, por ejemplo, un sensor 48 de velocidad y un sensor 42 de aceleración para recibir una o

más señales procedentes del sensor 208. Cada sensor 208 genera y transmite una señal correspondiente a un parámetro de operación de la turbina eólica 10. Además, cada sensor 208 puede transmitir una señal continuamente, periódicamente o solamente una vez, por ejemplo, aunque también se contemplan otras temporizaciones de señal. Además, cada sensor 208 puede transmitir una señal bien de forma analógica o bien de forma digital. El sistema 32 de control procesa la o las señales por medio del procesador 202 para crear uno o más parámetros de operación. En algunas realizaciones, el procesador 202 está programado (por ejemplo, con instrucciones ejecutables en el área 200 de memoria) para tomar muestras de una señal producida por el sensor 208. Por ejemplo, el procesador 202 puede recibir una señal continua procedente del sensor 208 y, en respuesta, calcular periódicamente (por ejemplo, una vez cada cinco segundos) un modo de operación del sistema 30 de distribución de aire en función de la señal continua. En algunas realizaciones, el procesador 202 normaliza una señal recibida del sensor 208. Por ejemplo, el sensor 208 puede producir una señal analógica con un parámetro (por ejemplo, la tensión) que es directamente proporcional a un valor de parámetro de operación. El procesador 202 puede estar programado para convertir la señal analógica en el parámetro de operación. En una realización, la interfaz 206 del sensor incluye un convertidor de analógico a digital que convierte una señal analógica de tensión generada por el sensor 208 en una señal digital de múltiples bits que puede ser utilizada por el sistema 32 de control.

El sistema 32 de control también incluye una interfaz 210 de control que está configurada para controlar una operación del sistema 30 de distribución de aire. En algunas realizaciones, la interfaz 210 de control está acoplada operativamente a uno o más dispositivos 204 de control de la turbina eólica, por ejemplo, el conjunto 146 de flujo de derivación (mostrado en la FIG. 4).

Hay disponibles diversas conexiones entre la interfaz 210 de control y el dispositivo 204 de control y entre la interfaz 206 del sensor y el sensor 208. Tales conexiones pueden incluir, sin limitación, un conductor eléctrico, una conexión serie de datos de bajo nivel, tal como la Norma Recomendada (RS) 232 o RS-485, una conexión serie de datos de alto nivel, tal como el bus serie universal (USB) o el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) 1394 (también conocido como FIREWIRE), una conexión paralela de datos, tal como IEEE 1284 o IEEE 488, un canal de comunicación inalámbrica de corto alcance tal como BLUETOOTH y/o una conexión privada (por ejemplo, a la que no se puede acceder desde el exterior de la turbina eólica 10) de red, ya sea alámbrica o inalámbrica.

Durante la operación de la turbina eólica 10, una ráfaga repentina de viento puede aumentar muchísimo la velocidad del viento en un intervalo relativamente pequeño de tiempo. Durante tales ráfagas repentinas, el sistema 32 de control opera el conjunto 146 de flujo de derivación para canalizar aire a través de la pala 28 de rotor para reducir una sustentación en la pala 28 de rotor para facilitar la prevención de un exceso de velocidad del eje 24 del rotor, que puede aumentar la carga sobre la turbina eólica 10 y provocar daños a los componentes de la turbina eólica. En la realización ejemplar, el sistema 32 de control recibe señales procedentes del sensor 48 que son indicativas de una velocidad del viento. El sistema 32 de control está configurado para calcular una velocidad del viento en función de la señal recibida. El sistema 32 de control también está configurado para comparar la velocidad calculada del viento con una velocidad predefinida del viento y para operar el conjunto 146 de flujo de derivación para reducir una sustentación de la pala 28 de rotor cuando la velocidad calculada del viento es mayor que la velocidad predefinida del viento. Tras determinar que una velocidad detectada del viento es mayor que una velocidad predefinida del viento, el sistema 32 de control mueve las trampillas 164 y 158 de entrada y de salida desde la primera posición 160 hasta la segunda posición 162 para permitir que el aire sea canalizado desde la abertura 148 de entrada de derivación hasta la abertura 150 de salida de derivación a través de la cavidad 60 de la pala de rotor. Al determinar que una velocidad detectada del viento es igual o menor que la velocidad predefinida del viento, el sistema 32 de control mueve las plantillas 164 y 158 de entrada y de salida desde la segunda posición 162 hasta la primera posición 160 para evitar que el aire entre en la cavidad 60 de la pala de rotor a través de la abertura 150 de salida de derivación y a través de la abertura 148 de entrada de derivación.

La FIG. 7 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento ejemplar 300 para manipular la capa límite 76 en la pala 28 de rotor. En la realización ejemplar, el procedimiento 300 incluye el acoplamiento 302 del conducto 90 de flujo de purga a la superficie interna 58 de la pared lateral 54 de la pala de rotor y la orientación del conducto 90 de flujo de purga con respecto al eje 44 a lo largo de la cuerda entre el borde 66 de ataque y el borde 68 de salida. La abertura 86 de entrada está formada 304 a través de la pared lateral 54 y a través del conducto 90 de flujo de purga para proporcionar una comunicación de flujo entre el aire ambiente 82 y el conducto 90 de flujo de purga. La abertura 88 de salida está formada 306 a través de la pared lateral 54 y a través del conducto 90 de flujo de purga para proporcionar una comunicación de flujo entre el conducto 90 de flujo de purga y la capa límite 76. Se canaliza 308 aire desde la abertura 86 de entrada y la abertura 88 de salida a través del conducto 90 de flujo de purga y es descargado desde el conducto 90 de flujo de purga a la capa límite 76 para evitar una separación de la capa límite 76 de la pala 28 de rotor. En una realización, el procedimiento 300 incluye la formación 310 de la abertura 88 de salida a través de la sección 62 de la pala del lado de succión próxima al borde 68 de salida. La abertura 86 de entrada está formada 312 a través de la sección 64 de la pala del lado de presión próxima al borde 66 de ataque.

En una realización alternativa, el procedimiento 300 incluye el acoplamiento 314 del conjunto 146 de flujo de derivación a la pala 28 de rotor. Se transmite 316 una señal indicativa de una velocidad del viento desde el sensor 48 hasta el sistema 32 de control. El sistema 32 de control opera 318 el conjunto 146 de flujo de derivación para

canalizar aire desde la cavidad 60 de la pala de rotor y a la capa límite 76 en función de la velocidad detectada del viento.

Un efecto técnico ejemplar del sistema, del procedimiento y del aparato descritos en el presente documento incluye al menos uno de: (a) transmitir, desde un sensor hasta un sistema de control, una señal indicativa de una velocidad del viento; (b) calcular, por medio del sistema de control, una velocidad del viento en función de la primera señal; (c) comparar la velocidad calculada del viento con una velocidad predefinida del viento; y (d) operar un conjunto de flujo de derivación cuando la velocidad calculada del viento es distinta de la velocidad predefinida del viento.

El sistema, el procedimiento y el aparato descritos anteriormente facilitan la manipulación de una capa límite en una pala de rotor de una turbina eólica para aumentar una eficacia aerodinámica de la pala de rotor durante la operación de la turbina eólica. Más específicamente, el sistema de distribución de aire está configurado para aspirar aire ambiente a la cavidad de la pala de rotor y para descargar el aire a la capa límite. Al descargar el aire a la capa límite, el sistema de distribución de aire facilita el aumento de la eficacia aerodinámica de la pala de rotor durante la operación de la turbina eólica y reduce los requerimientos de potencia de los componentes de la turbina eólica en comparación con las turbinas eólicas conocidas. Además, el sistema de distribución de aire canaliza aire a través de la cavidad de la pala de rotor durante una ráfaga de viento para reducir una sustentación de la pala de rotor para evitar un exceso de velocidad de la turbina eólica. Como tal, las realizaciones descritas en el presente documento facilitan la mejora de la operación de la turbina eólica para aumentar la producción anual de energía de la turbina eólica.

Se han descrito anteriormente en detalle realizaciones ejemplares de sistemas y de procedimientos para manipular una capa límite. Los sistemas y los procedimientos no están limitados a las realizaciones específicas descritas en el presente documento, sino que, más bien, se pueden utilizar independientemente los componentes de los sistemas y/o las etapas de los procedimientos y por separado de otros componentes y/o etapas descritos en el presente documento. Por ejemplo, los procedimientos también pueden ser utilizados en combinación con otros sistemas de control activo de flujo y no están limitados a la práctica únicamente con los sistemas de turbina eólica como se describe en el presente documento. Más bien, se puede implementar y utilizar la realización ejemplar en conexión con muchas otras aplicaciones de mejora de la sustentación de la pala.

Aunque se pueden mostrar características específicas de diversas realizaciones de la invención en algunos dibujos y no en otros, esto es únicamente en aras de la conveniencia. Según los principios de la invención, se puede hacer referencia y/o reivindicar cualquier característica de un dibujo en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

La presente descripción escrita utiliza 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 lleve a cabo cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Se concibe que tales otros ejemplos se encuentren dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales del lenguaje literal de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (30) de distribución de aire para manipular una capa límite (76) de aire en una pala (28) de rotor de turbina eólica, teniendo la pala de rotor de turbina eólica al menos una pared lateral (54) que define una cavidad (60) en la misma, extendiéndose la pared lateral entre un borde (66) de ataque y un borde de (68) salida separado axialmente y que define un eje (44) a lo largo de la cuerda entre el borde de ataque y el borde de salida, comprendiendo dicho sistema de distribución de aire:

una pluralidad de conjuntos (84) de flujo de purga colocados en el interior de la pala de rotor y configurados para descargar aire a la capa límite para reducir una separación de la capa límite de la pala de rotor, comprendiendo cada conjunto de flujo de purga de dicha pluralidad de conjuntos de flujo de purga:

un conducto (90) de flujo de purga acoplado a una superficie interna (92) de la pared lateral y orientado con respecto al eje a lo largo de la cuerda entre el borde de ataque y el borde de salida, configurado dicho conducto de flujo de purga para canalizar aire a través de la pala de rotor;
una abertura (86) de entrada definida a través de dicho conducto (90) de flujo de purga a través de una sección (64) de la pala del lado de presión próxima al borde (66) de ataque y a través de la pared lateral (54) para canalizar aire al interior del conducto de flujo de purga;
una abertura (88) de salida definida a través de dicho conducto (90) de flujo de purga a través de una sección (62) de la pala del lado de succión próxima al borde (68) de salida y a través de la pared lateral para descargar aire desde dicho conducto de flujo de purga y a la capa límite;
un conjunto (146) de flujo de derivación definido a través de la pala (28) de rotor de la turbina eólica para canalizar de forma selectiva aire a través de la pala de rotor durante una ráfaga de viento para reducir una sustentación en la pala de rotor, comprendiendo dicho conjunto de flujo de derivación:

una pluralidad de aberturas (148) de entrada de derivación definidas a través de la segunda sección de la pala para canalizar aire ambiente a la cavidad (60) de la pala de rotor;
una pluralidad de aberturas (150) de salida de derivación definidas a través de la primera sección de la pala para descargar aire desde la cavidad de la pala de rotor a la capa límite (76);
una pluralidad de trampillas (158) de salida acopladas a la primera sección de la pala y colocadas con respecto a una abertura respectiva (150) de salida de derivación, amovible cada trampilla de salida de dicha pluralidad de trampillas de salida para cubrir una abertura respectiva de salida de derivación en una primera posición (160) y para permitir que se descargue aire de la cavidad (60) de la pala de rotor en una segunda posición (162); y
una pluralidad de trampillas (164) de entrada acopladas a la segunda sección de la pala y colocadas con respecto a una abertura respectiva (148) de entrada de derivación, amovible cada trampilla de entrada entre la primera posición y la segunda posición para cubrir dicha abertura de entrada de derivación en la primera posición y para permitir que se canalice aire a la cavidad de la pala de rotor en la segunda posición.

2. Un sistema (30) de distribución de aire según la reivindicación 1, en el que la pared lateral (54) de la pala incluye una primera sección de la pala y una segunda sección opuesta de la pala acoplada a la primera sección de la pala para formar la pala (28) de rotor, definida dicha abertura (88) de salida a través de la primera sección de la pala próxima al borde (68) de salida, definida dicha abertura (86) de entrada a través de la segunda sección de la pala próxima al borde de ataque.

3. Un sistema (30) de distribución de aire según cualquier reivindicación precedente, en el que la pala (28) de rotor de la turbina eólica tiene un grosor (22) definido perpendicularmente desde el eje (44) a lo largo de la cuerda, colocada dicha abertura (88) de salida entre el borde (68) de salida y una ubicación de grosor máximo de la pala de rotor de la turbina eólica con respecto al eje a lo largo de la cuerda.

4. Un sistema (30) de distribución de aire según cualquier reivindicación precedente, en el que dicha abertura (86) de entrada está colocada entre el borde (66) de ataque y la ubicación de un grosor máximo (72) con respecto al eje (44) a lo largo de la cuerda.

5. Un sistema (30) de distribución de aire según cualquier reivindicación precedente, en el que dicho conjunto (146) de flujo de derivación comprende, además:

una pluralidad de accionadores (166), acoplado cada accionador de forma operativa a una trampilla respectiva (164) de entrada para colocar dicha trampilla de entrada en dicha primera posición (160), en dicha segunda posición, y en cualquier posición entre las mismas; y
un sistema (32) de control acoplado de forma operativa a dicha trampilla de entrada para facilitar el movimiento de dicha trampilla de entrada en dicha primera posición, en dicha segunda posición (162) y en cualquier posición entre las mismas.

6. Un sistema (30) de distribución de aire según cualquier reivindicación precedente, en el que la pala de rotor se extiende entre una porción (50) de base y una porción (52) de punta, comprendiendo, además, dicho sistema de distribución de aire:
- 5 al menos una abertura (174) de entrada definida a través de la pared lateral (54);
 al menos una abertura (176) de descarga definida a través de la pared lateral y colocada adyacente a la porción (52) de punta; y
 un colector (172) de descarga acoplado entre dicha abertura de entrada y dicha abertura de descarga para descargar aire a través de la porción de punta de la pala de rotor.
7. Una turbina eólica (10), que comprende:
- 10 una torre (12);
 una góndola (16) acoplada a dicha torre;
 un cubo (26) acoplado de forma giratoria a dicha góndola;
 al menos una pala (28) de rotor acoplada a dicho cubo, comprendiendo dicha pala de rotor al menos una pared lateral (54) que tiene una superficie interna (92) que define una cavidad (60) y una superficie externa (74) que se extiende entre un borde (66) de ataque y un borde (68) de salida separado axialmente; y
- 15 un sistema (30) de distribución de aire según se define en cualquier reivindicación precedente.

FIG. 1

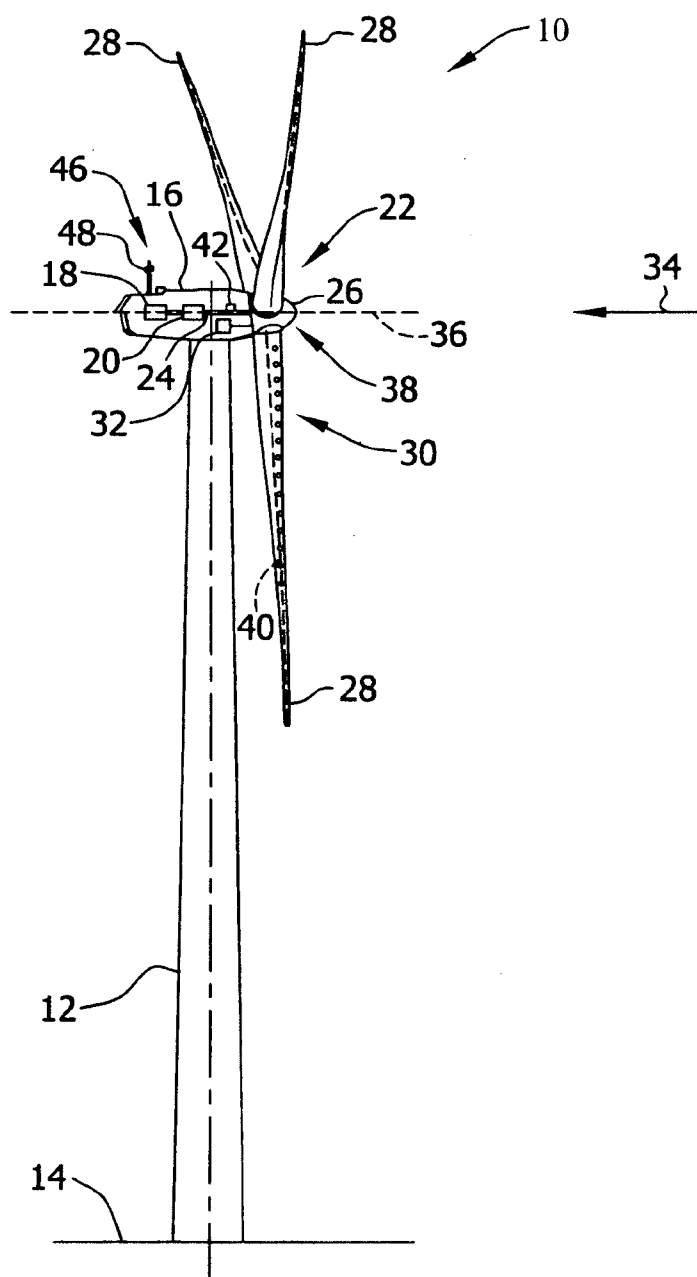
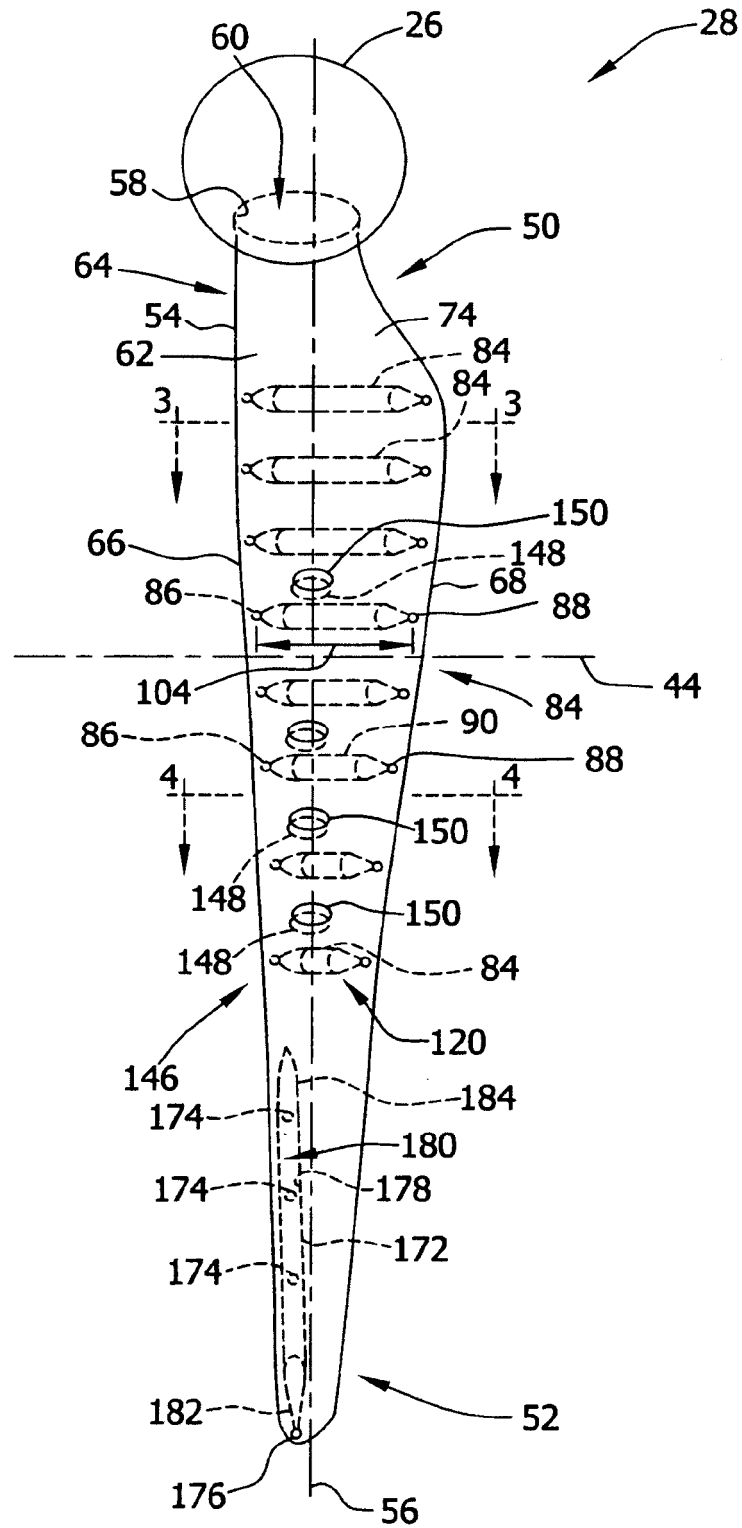


FIG. 2



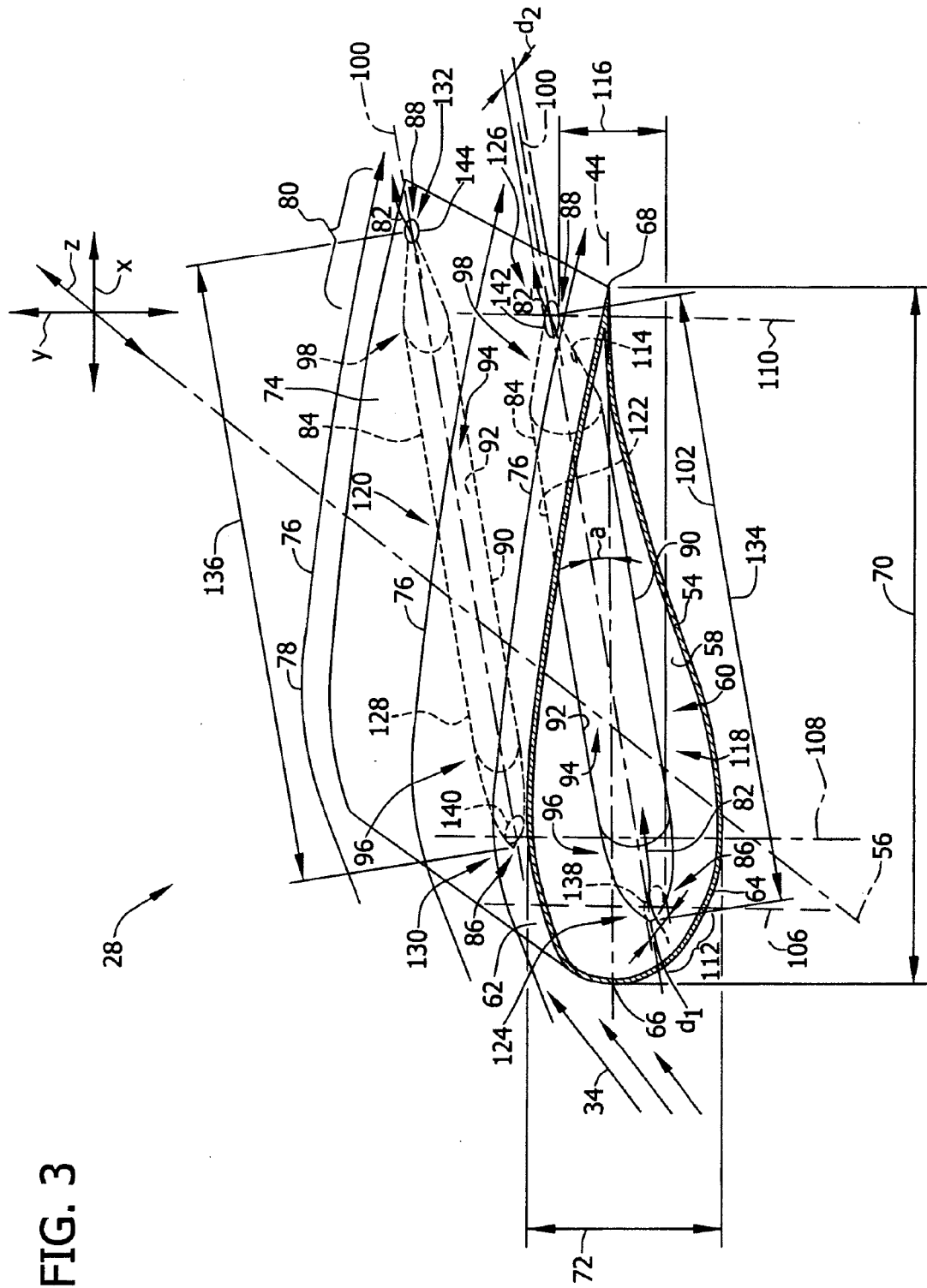


FIG. 4

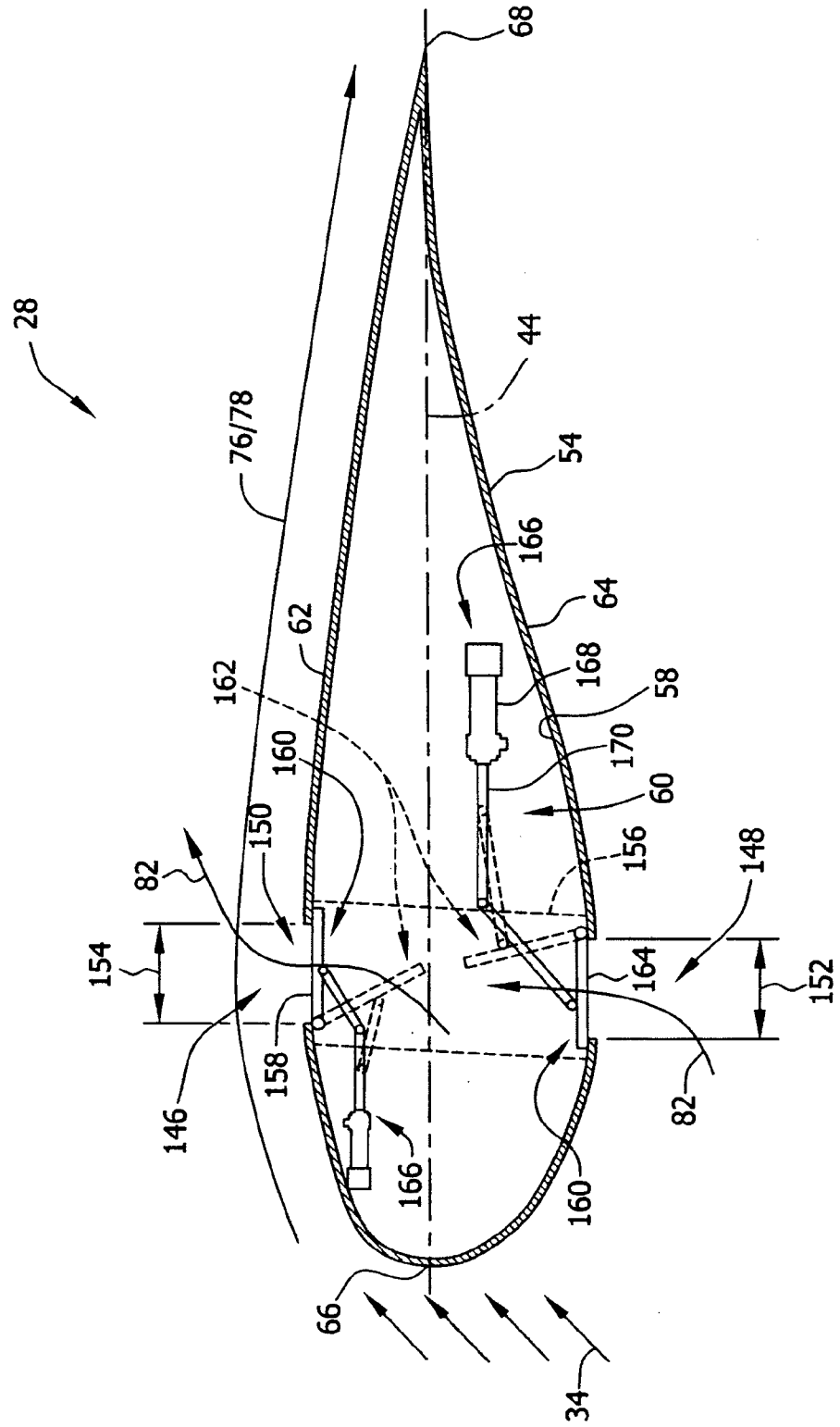


FIG. 5

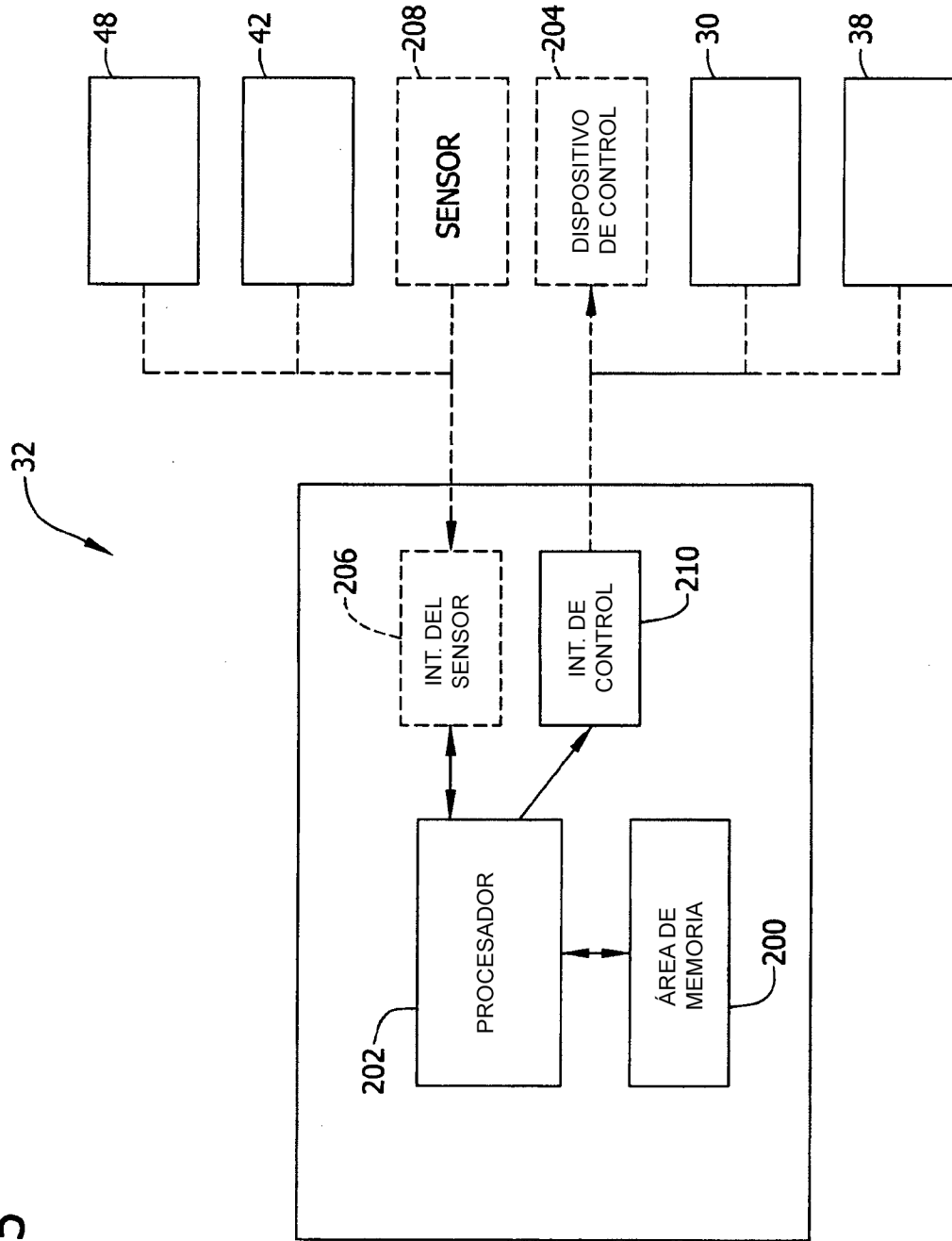


FIG. 6

