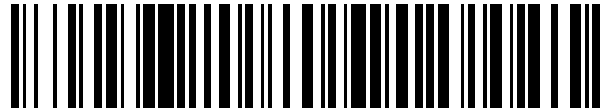


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 533 251**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 11/00 (2006.01)

F03D 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.06.2011** **E 11168667 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.02.2015** **EP 2394911**

54 Título: **Palas de turbina eólica con elementos de vórtice aerodinámicos controlables**

30 Prioridad:

11.06.2010 US 813650

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

08.04.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

XIONG, WEI

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 533 251 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

Palas de turbina eólica con elementos de vórtice aerodinámicos controlables

La presente invención se refiere en general al campo de las turbinas eólicas, y más en particular, se refiere a palas de turbina que tienen una configuración de superficie aerodinámica.

5 Las palas de turbina son los elementos primarios de las turbinas eólica para la conversión de la energía del viento en energía eléctrica. El principio de funcionamiento de las palas se asemeja al de las alas de un avión. Las palas tienen un perfil de sección transversal como un perfil aerodinámico de tal manera que, durante el funcionamiento, el aire circula sobre la pala produciendo una diferencia de presión entre los lados. Como consecuencia, una fuerza de sustentación, que está dirigida desde un lado de presión hacia un lado de succión, actúa sobre la pala. La fuerza de sustentación genera un par de torsión en el árbol del rotor principal, que está engranado a un generador para producir electricidad.

10 El flujo de aire sobre el borde de ataque de la pala es principalmente laminar en una región de "flujo unido". La fuerza de sustentación es generada principalmente en esta región de flujo unido. A medida que el aire se mueve hacia el borde de salida de la pala, se produce la separación de flujo y las transiciones del flujo de aire a una región de "flujo separado", en la que el flujo es más turbulento. La separación de flujo depende de un número de factores, tales como las características del flujo de aire de entrada (por ejemplo, número de Reynolds, velocidad del viento, turbulencia atmosférica en el flujo) y las características de la pala (por ejemplo, las secciones de perfil aerodinámico, las cuerdas y el grosor de la pala, la distribución de giro, ángulo de cabeceo, etc.). La región de flujo separado también conduce a un incremento de la fuerza de arrastre, debido principalmente a una diferencia de presión entre la región de flujo unido aguas arriba y la región de flujo separado aguas abajo.

15 Por lo tanto, con el fin de incrementar la eficiencia de la conversión de energía durante el funcionamiento normal de la turbina eólica, se desea incrementar la fuerza de sustentación, mientras que disminuye la fuerza de arrastre. Para este fin, es ventajoso incrementar la región de flujo unido y reducir la región de flujo separado produciendo la separación de flujo más cerca del borde de salida de la pala, es decir, en una región aguas abajo de la pala. Además, se desea en general tener una separación de flujo estable con el fin de incrementar la estabilidad de funcionamiento y disminuir la generación de ruido de la pala.

20 Es conocido en la técnica cambiar las características aerodinámicas de las palas de turbina eólica mediante la adición de huecos, protuberancias, u otras estructuras en la superficie de la pala. Estas estructuras son denominadas a menudo como "generadores de vórtice" y sirven para crear regiones microturbulentas del flujo de aire sobre la superficie de la pala. Esto produce la estabilidad de la transición de flujo en regiones de la pala de velocidad relativamente baja en general más cerca de la raíz de la pala. En las regiones de velocidad relativamente altas de la pala más cerca de la punta de la pala, los generadores de vórtice sirven para extender la separación de flujo del flujo de aire hacia el borde de salida de la pala para generar más sustentación y reducir el arrastre.

25 Los elementos generadores de vórtice estáticos o fijos son conocidos. Se hace referencia, por ejemplo, a los documentos WO 2007/065434; WO 00/15961; y a la patente norteamericana número 7.604.461. Los elementos de vórtice en estas referencias tienen una forma, tamaño y configuración definidos que no cambian y, por lo tanto, la versatilidad de los elementos para variar las condiciones de flujo de aire es limitada.

30 También se conocen generadores de vórtice retráctiles o pivotantes que se despliegan con relación a la superficie de una pala. Se hace referencia, por ejemplo, a la patente norteamericana número 4.039.161; la patente norteamericana número 5.253.828; la patente norteamericana número 6.105.904; la patente norteamericana número 6.427.948; y el documento WO 2007/005687.

35 El documento EP 1 896 323 B1 describe un generador de vórtice pivotante en forma de un elemento plano que se encuentra en la superficie de control de flujo en un estado retraído y pivota en un ángulo desde la superficie en un estado extendido. El generador de vórtice puede estar formado de una aleación con memoria de forma que es actuada por un calentador. La referencia describe que otros tipos de actuadores pueden ser utilizados para impartir una acción de pivotamiento al generador de vórtice, incluyendo un actuador piezoeléctrico bimorfo.

40 La patente norteamericana número 7.293.959 describe una pala de turbina eólica que tiene un medio de regulación de sustentación en forma de aletas flexibles que se extienden en la dirección longitudinal a lo largo del borde de seguimiento y del borde de ataque del lado de succión de la pala. Las aletas se activan a altas velocidades del viento para reducir la sustentación de la pala. El medio de activación puede ser piezoeléctrico.

45 Aunque los generadores de vórtice que se han explicado en las referencias que se han citado más arriba pueden ser considerados "dinámicos" puesto que se despliegan a un estado activo, la utilidad de los elementos en el estado "de reposo" es mínima.

En consecuencia, la industria se beneficiaría de una pala de turbina eólica que tuviese elementos de generación de vórtice dinámicos que proporcionasen características de superficie aerodinámica mejoradas tanto en un estado activo como no activo en un rango más amplio de condiciones viento y de flujo de aire.

5 Varios aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la descripción que sigue, o pueden ser evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender mediante la práctica de la invención.

De acuerdo con diversos aspectos de la invención, se proporciona una pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1.

10 La superficie de la pala respectiva incluye una depresión formada en la misma en la ubicación de cada uno de los elementos de vórtice. Los elementos de vórtice están hechos de una lámina de material flexible que se dispone sobre la depresión. La lámina de material se conforma dentro de la depresión en la primera posición retraída y se expande hacia fuera sobre la depresión en la segunda posición extendida. Un mecanismo de activación se configura con la lámina de material para mover o desplegar la lámina de material entre las posiciones respectivas. La lámina de material comprende un material piezoeléctrico y el mecanismo de activación incluye una fuente de energía controlable conectada al material piezoeléctrico. Las características de la energía alimentada al material piezoeléctrico determinan si el material asume una configuración extendida o retraída con respecto al plano neutro de la superficie de la pala. Las características de energía se pueden variar para producir una forma correspondientemente variada de los elementos de vórtice en la configuración extendida.

20 En una realización particular, la pluralidad de elementos de vórtice puede ser alimentada por una fuente de energía controlada común de manera que los mismos actúan al unísono, o puede ser alimentada y controlada individualmente para un control más preciso. Alternativamente, los elementos de vórtice pueden subdividirse en grupos, estando controlado individualmente cada uno de los grupos.

En todavía otra realización, la pala de turbina eólica puede incluir elementos de vórtice estáticos además de los elementos de vórtice dinámicos. Los elementos estáticos pueden estar separados de o intercalados entre los elementos de vórtice dinámicos.

25 La forma y la configuración particulares de los elementos de vórtice dinámicos no son un factor limitante. En una realización particular, los elementos son en general de forma hemisférica tanto en la configuración retraída como en la expandida. Cualquier forma, orientación, u otra característica geométrica deseada de los elementos de vórtice está dentro del alcance y espíritu de la invención.

30 En otra realización única, los elementos de vórtice también pueden ser configurados para asumir una tercera posición neutra en la que los elementos son de la misma extensión que el plano neutro de la superficie de la pala y por lo tanto se encuentran esencialmente a ras con la superficie de la pala.

Las realizaciones de la invención también abarcan una turbina eólica que tiene una o más palas de turbina configuradas con los elementos de vórtice dinámicos como se ha descrito en la presente memoria descriptiva.

35 Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la descripción que sigue y a las reivindicaciones que se adjuntan. Los dibujos que se acompañan, que se incorporan y que constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran realizaciones de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

la figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica convencional;

40 la figura 2 es una vista en perspectiva de una realización de una pala de turbina eólica de acuerdo con aspectos de la invención;

la figura 3 es una vista lateral en diagrama de una realización de una pala de turbina eólica;

la figura 4 es una vista en perspectiva de una realización alternativa de una pala de turbina eólica;

la figura 5 es una vista lateral en diagrama de una realización alternativa de una pala de turbina eólica;

45 la figura 6 es una vista lateral en diagrama y operativa de una realización particular de un elemento de vórtice en una posición extendida con respecto a una superficie de la pala de turbina;

la figura 7 es una vista lateral en diagrama y operativa del elemento de vórtice de la figura 6 en una posición retraída con respecto a la superficie de la pala de turbina;

la figura 8 es una vista en diagrama superior de una realización semiesférica de un elemento de vórtice; y,

la figura 9 es una vista frontal de un cubo de rotor de turbina y de las palas.

Se hará referencia a continuación en detalle a las realizaciones de la invención, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no como limitación de la invención. De hecho, será evidente a los expertos en la técnica que se pueden hacer diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance o espíritu de la invención. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de una realización se puede utilizar con otra realización para producir una realización adicional. Por lo tanto, se pretende que la presente invención incluya tales modificaciones y variaciones que se encuentran dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.

La figura 1 ilustra 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 turbina 16 están montadas en un cubo de rotor 18, que a su vez está conectado a una brida principal que hace girar un árbol de rotor principal. Los componentes de generación y de control de energía de las turbinas eólicas se encuentran alojados dentro de la góndola 14. La vista de la figura 1 se proporciona con fines ilustrativos solamente para situar la presente invención en un campo de uso ejemplar. Se debe apreciar que la invención no está limitada a ningún tipo particular de configuración de turbina eólica.

Las figuras 2 y 4 representan realizaciones de una pala 16 de turbina eólica que incorporan aspectos de la invención. Las palas 16 incluyen una superficie de lado de succión 20 y una superficie de lado de presión 22. Una pluralidad de elementos de vórtice dinámicos 24 están formados en una o ambas de las superficies 22 y 24. En la realización que se ilustra en las figuras 2 y 4, los elementos de vórtice 24 se representan en el lado de succión 20. Los elementos de vórtice 24 son "dinámicos" puesto que se activan o se despliegan entre diferentes posiciones operativas. En particular, los elementos de vórtice 24 se activan a una primera posición retraída en la que los elementos 24 están embutidos hacia el interior con relación a un plano neutro de la superficie respectiva sobre la que se forman. Una realización de un elemento de vórtice 24 en este estado retraído se representa en la figura 7. Los elementos de vórtice 24 se despliegan o se activan a una segunda posición extendida que sobresale hacia fuera con respecto al plano neutro de la superficie sobre la que se forman, como se representa en la figura 6. Por lo tanto, se debe apreciar que los elementos de vórtice 24 forman generadores de vórtice embutidos en un primer estado y generadores de vórtice sobresalientes en un segundo estado.

Los elementos de vórtice 24 puede ser usados en combinación con generadores de vórtice fijos convencionales 25 (tales como aletas fijas, cuñas, y otros elementos similares) en cualquier patrón sobre la superficie de la pala de turbina para modificar las características aerodinámicas de la pala 16. Por ejemplo, en la realización que se representa en la figura 2, los elementos oscuros son elementos de vórtice dinámicos 24 (embutidos o sobresalientes), localizados en la sección de punta de la pala 16, y los elementos más claros son generadores de vórtice estáticos o fijos 25. En la realización de la figura 4, los elementos de vórtice dinámicos 24 están situados a lo largo de la longitud de la pala 16, como lo están los generadores de vórtice estáticos 25. Además, la pluralidad de elementos de vórtice 24 puede ser dividida en grupos distintos, en el que un primero de los grupos incluye todos los elementos de vórtice 24 en una posición extendida y un grupo distinto separado incluye todos los elementos de vórtice 24 en una posición retraída o embutida .

Las superficies 20, 22 de la pala 16 en la que se forman los elementos de vórtice 24 tienen un plano "neutro" que corresponde a la superficie lisa de la pala entre los elementos de vórtice 24. Haciendo referencia a la figura 6, el elemento de vórtice 24 en su estado expandido se extiende en una altura "H" por encima del plano neutro que rodea al elemento de vórtice 24. De manera similar, en la configuración del elemento de vórtice 24 en la figura 7, el elemento 24 tiene una profundidad de rebaje "D" con respecto al plano neutro de la superficie que rodea al elemento de vórtice 24. Haciendo referencia en particular a las figuras 6 y 7, las palas 16 incluyen un revestimiento exterior 28 formado de cualquier material adecuado, tal como un material moldeado, material laminado, y así sucesivamente. Una depresión 26 está formada en el material de revestimiento 28 en la ubicación de cada uno de los elementos de vórtice 24. Los elementos de vórtice 24 incluyen una lámina de material flexible 30 que está dispuesta sobre la depresión 26. En la posición retraída del elemento de vórtice 24, esta lámina de material flexible 30 se ajusta en la depresión 26 para definir un generador de vórtice embutido. En la segunda posición extendida del elemento de vórtice 24, la lámina de material flexible 30 se expande hacia fuera sobre la depresión 26 para definir un generador de vórtice que sobresale con respecto al plano neutro del revestimiento 28, como se muestra en la figura 6. La lámina de material flexible 30 puede ser definida por cualquier material que sea lo suficientemente flexible para ajustarse dentro de la depresión 26 y para expandirse hacia fuera de la depresión, al mismo tiempo que resiste las condiciones ambientales de la pala de turbina eólica. Se debe apreciar que las realizaciones no se limitan a ningún tipo particular de lámina de material flexible 30. Un anillo de retención u otra estructura 36 se pueden utilizar para fijar la lámina de material flexible 30 al revestimiento 28. Este anillo 36 puede estar integrado dentro de una ranura o canal definido alrededor de la depresión 26, como se ilustra en las figuras 6 y 7. En una realización alternativa, la lámina de material flexible 30 puede ser adherida o fijada mecánicamente al revestimiento 28 alrededor de la depresión 26.

Un mecanismo de activación, en general 38, se proporciona para el despliegue de la lámina de material flexible 30 entre los estados retraído y extendido.

El mecanismo de activación 38 incluye un material piezoeléctrico 32 que está incorporado en el material de lámina flexible 30. El material piezoeléctrico 32 puede ser en forma de tiras (como se indica en la figura 8) que están integradas o fijadas de otra manera a las porciones del material de lámina flexible 30. En una realización alternativa, el material piezoeléctrico 32 puede ser en forma de fibras que están distribuidas con cualquier patrón o configuración deseada a lo largo de la lámina de material flexible 30.

El funcionamiento de los actuadores piezoeléctricos es bien conocido y no tiene que ser descrito en detalle en la presente memoria descriptiva. En general, los actuadores de compuesto de fibras piezoeléctricas convencionales incluyen una capa de fibras piezoeléctricas extrusionadas incrustadas en un material de matriz polímera protectora. Los electrodos interdigitados se graban o se depositan de otra manera sobre las capas de película de polímero en la parte superior e inferior de las fibras para formar un laminado actuador delgado que puede ser fácilmente integrado dentro o colocado en diversos tipos de superficies. Las características de frecuencia y tensión de la energía alimentada al material piezoeléctrico dicta la forma que el material asume cuando se activa. Un tipo particular de material piezoeléctrico 32 que puede ser útil en la práctica de la presente invención se describe, por ejemplo, en la patente norteamericana número 6.629.341. Se debe apreciar, sin embargo, que otros materiales piezoeléctricos también pueden ser adecuados.

Las figuras 6 a 8 representan los elementos de vórtices individuales 24 como de forma general semiesférica. Esta forma se puede lograr mediante el uso de distintas piezas igualmente espaciadas de material piezoeléctrico, tal como se representa en la figura 8, que hacen que la lámina de material flexible 30 sobresalga hacia fuera en una forma semiesférica en general uniforme cuando se aplica un voltaje / frecuencia determinado a los materiales 32, y que se conforman hacia dentro a la forma generalmente semiesférica de la depresión 26 en la posición retraída del elemento de vórtice 24.

Las características de la energía alimentada a los materiales piezoeléctricos 32 también se pueden controlar para producir diversos grados de extensión, y por lo tanto diferentes formas de los elementos de vórtice.

Se podrá apreciar fácilmente, sin embargo, que los elementos de vórtice 24 no están limitados a ninguna forma o configuración particular, y que cualquier forma o configuración de los materiales piezoeléctricos 32 pueden ser utilizada para lograr cualquier forma deseada de un elemento de vórtice, incluyendo formas de cuña, aletas, y otras similares.

Los materiales piezoeléctricos 32 pueden ser alimentados por una fuente de energía por medio de cables 34. Los cables 34 se pueden incorporar en la estructura del anillo de retención 36, que puede actuar por lo tanto como un colector de distribución eléctrica o bus para todas las diversas piezas de material piezoeléctrico 32 asociadas con un elemento de vórtice 24 en particular. Otras configuraciones para alimentar con energía a los materiales piezoeléctricos 32 se encuentran dentro del alcance y espíritu de la invención.

En una realización particular, todos o distintos grupos de los elementos de vórtice 24 en una pala 16 pueden ser alimentados por una fuente de energía controlable común 40, como se representa en la figura 3. Con esta configuración, todos los elementos de vórtice 24 en comunicación con la misma fuente de energía 40 asumirán el mismo estado de funcionamiento. En otras palabras, todos los elementos 24 dentro de un grupo conectado a la misma fuente de energía 40 se expandirán o se retraerán dependiendo de las características de la energía alimentada por la fuente de energía común 40. En la realización que se ilustra en la figura 3, los elementos de vórtice 24 en la superficie del lado de succión 20 son alimentados por una única fuente de energía 40 y los elementos 24 en la superficie del lado de presión 22 son alimentados por una fuente de energía diferente 40. De esta manera, con esta disposición, los elementos 24 en el lado de succión pueden ser desplegados a un estado expandido que se ilustra en la figura 6, mientras que los elementos 24 en el lado de presión 22 pueden ser activados a un estado embutido como se indica en la figura 7. Las figuras 4 y 5 ilustran una realización en la que los elementos de vórtice 24 en las superficies respectivas 20, 22 son controlados individualmente por fuentes de energía respectivas 40. De esta manera, cualquier patrón o configuración de los elementos de vórtice embutidos y expandidos 24 deseada pueden ser diseñados, como se representa en la figura 4 en la que los elementos oscuros 24 pretenden representar los elementos de vórtice expandidos y los elementos de sombra más clara 24 pretenden representar los elementos de vórtice embutidos.

Haciendo referencia a las figuras 6 y 7, puede ser deseable en ciertas situaciones que los elementos de vórtice 24 asuman un tercer estado operativo en el que la superficie de los elementos de vórtice 24 tiene la misma extensión que el plano neutro de la superficie circundante de la pala, como se representa por la líneas de trazos en las figuras 6 y 7. Es posible que haya condiciones de viento y de flujo de aire existentes en las que la utilidad o conveniencia de los elementos vórtice sea mínima y posiblemente perjudicial debido al arrastre inducido por los elementos de vórtice. En tales condiciones, la lámina de material flexible 30 puede ser desplegada al estado de perfil "plano" ilustrado por las configuraciones de trazos en las figuras 6 y 7, en las que los elementos 24 se hacen esencialmente no operativos.

La figura 9 representa un cubo de rotor 18 con una pluralidad de palas 16 configuradas de acuerdo con aspectos de la invención. En esta realización particular, cada una de las palas 16 incluye una pluralidad de grupos 50 de elementos de vórtice 24 como se ha descrito en la presente memoria descriptiva. Cada uno de los grupos 50 está en comunicación con un controlador 48 asociado a cada pala 16. El controlador 48 determina las características de la fuente de energía alimentada a los grupos individuales 50, o a los elementos de vórtice individuales dentro de cada uno de los grupos 50, dependiendo del esquema de control utilizado para cada pala 16. Los controladores respectivos 48 se encuentran en comunicación, a su vez, con una fuente de control / energía central 46 que puede ser configurada operativamente dentro del cubo 18 o de la góndola 14 (figura 1). Los controladores individuales 48 pueden ser alimentados con señales de control en respuesta al viento u otras condiciones ambientales respectivas experimentadas por la pala individual 16 como es detectado de cualquier manera por el sensor 42 proporcionado sobre una superficie de la pala 16. Por ejemplo, el sensor 42 puede ser un sensor de carga, sensor de pérdida, o cualquier otro tipo de sensor que sea útil para determinar las condiciones aerodinámicas de las palas 16. El sensor 42 puede suministrar una señal por medio de la línea 44 a los controladores individuales respectivos 48 para el control casi instantáneo de los elementos de vórtice 24 asociados con cada una de las respectivas palas 16.

Haciendo referencia todavía a la figura 9, también se debe apreciar que, aunque el control individual de las palas respectiva puede ser deseable, el citado control no es obligatorio y que los diversos aspectos de la invención abarcan el control común de todos los elementos de vórtice 24 asociados con las palas 16 sobre la base de las condiciones detectadas por una cualquiera o por todas las palas 16 por medio de los sensores 42.

Aunque la presente materia objeto se ha descrito en detalle con respecto a realizaciones y procedimientos ejemplares específicos de la misma, se apreciará que los expertos en la técnica, cuando consiguen un entendimiento de lo que antecede, pueden producir fácilmente alteraciones, variaciones, y equivalentes a tales realizaciones. En consecuencia, el alcance de la presente revelación es a modo de ejemplo en lugar de a modo de limitación, y la revelación de la materia objeto no excluye la inclusión de tales modificaciones, variaciones y / o adiciones a la presente materia del objeto como será fácilmente evidente a una persona de experta en la técnica.

25

REIVINDICACIONES

1. Una pala de turbina eólica (16), comprendiendo la citada pala:
 - una superficie de lado de succión (20) y una superficie de lado de presión (22);
 - una pluralidad de elementos de vórtice dinámicos (24) formados sobre al menos una de entre las citadas superficies de lado de succión o las citadas superficies de lado de presión;
 - los citados elementos de vórtice pueden ser activados a cualquiera de una primera posición retraída, que está embutida hacia dentro con respecto a un plano neutro que es de la misma extensión que una de las citadas superficies (20, 22), o una segunda posición extendida que sobresale hacia fuera con respecto al citado plano neutro;
 - una depresión (26) en la citada superficie (20, 22) en la ubicación de cada uno de los citados elementos de vórtice (24), comprendiendo los citados elementos de vórtice una lámina de material flexible (30) dispuesta sobre la citada depresión, en el que la citada lámina de material se conforma dentro de la citada depresión en la citada primera posición retraída y se expande hacia fuera sobre la citada depresión en la citada segunda posición extendida, y un mecanismo de activación (38) configurado con la citada lámina de material (30) para mover la citada lámina de material entre la citada primera posición retraída y la citada segunda posición extendida; **que se caracteriza porque:**
 - la citada lámina de material (30) comprende un material piezoeléctrico (32), comprendiendo el citado mecanismo (38) de activación una fuente de energía controlable (40) conectada al citado material piezoeléctrico; y
 - en el que los citados elementos de vórtice (24) son en general hemisféricos en la citada primera posición retraída y en la citada segunda posición extendida.
2. La pala de turbina eólica (16) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que a la citada pluralidad de elementos de vórtice (24) se le suministra una fuente de energía controlada común (46).
3. La pala de turbina eólica (16) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la citada pluralidad de elementos de vórtice (24) están divididos en grupos controlados por separado, siendo alimentado cada uno de los citados grupos por una fuente de energía regulada correspondiente (40).
4. La pala de turbina eólica (16) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la citada pluralidad de elementos de vórtice (24) son controlados individualmente con una fuente de energía regulada correspondiente (40).
5. La pala de turbina eólica (16) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los citados elementos de vórtice (24) comprenden una tercera posición neutra de la misma extensión que el citado plano neutro de la citada superficie.
6. La pala de turbina eólica (16) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los citados elementos de vórtice (24) están formados en la citada superficie de lado de succión (20) y la citada superficie de lado de presión (22).
7. Una turbina eólica (10), comprendiendo la citada turbina eólica una pluralidad de palas de turbina (16) formadas de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6.

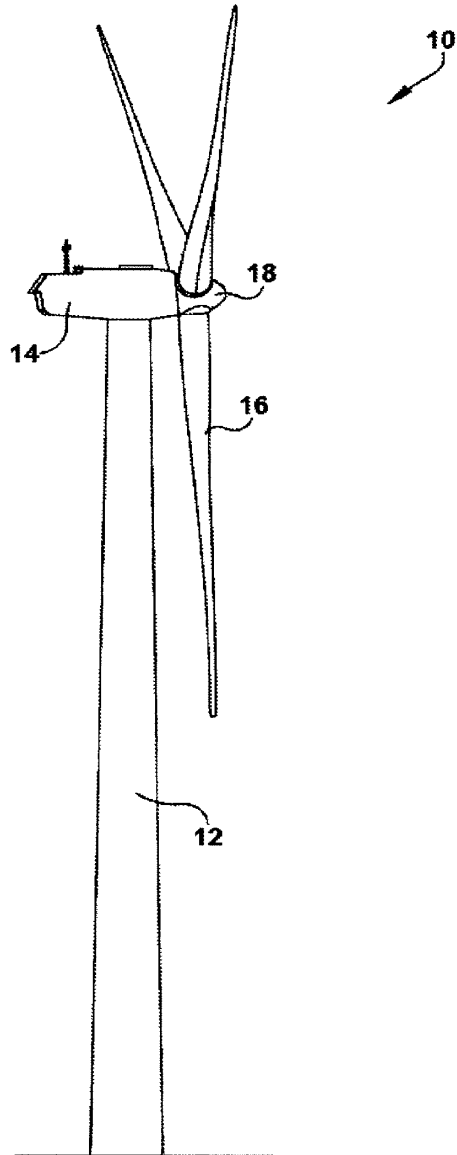
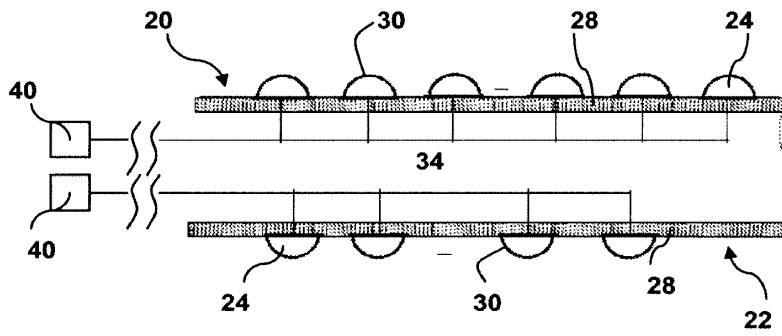
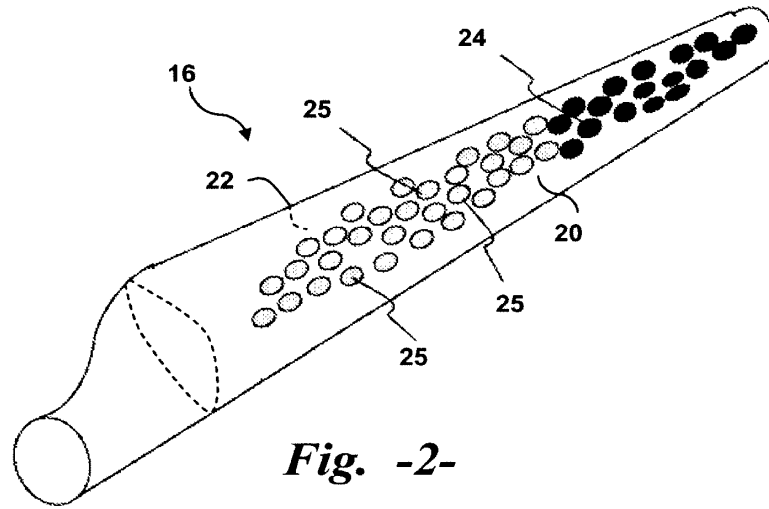
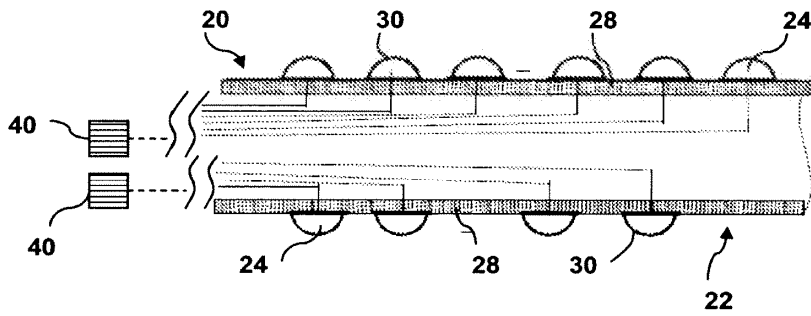
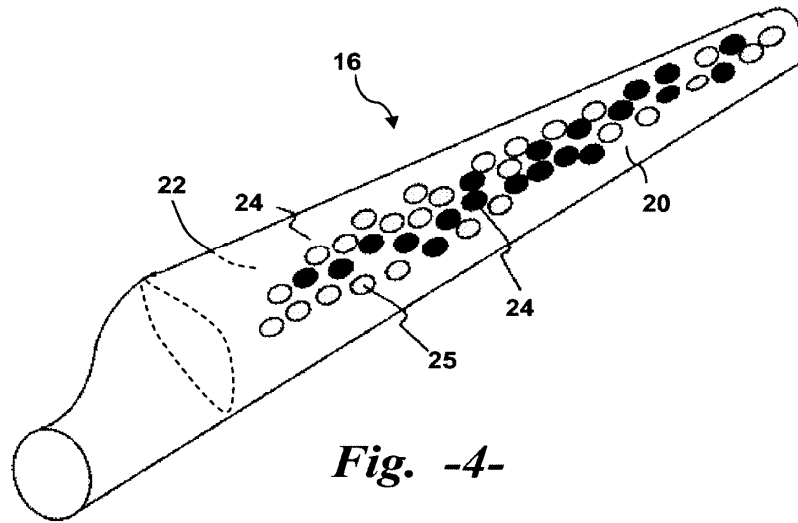


Fig. -1-





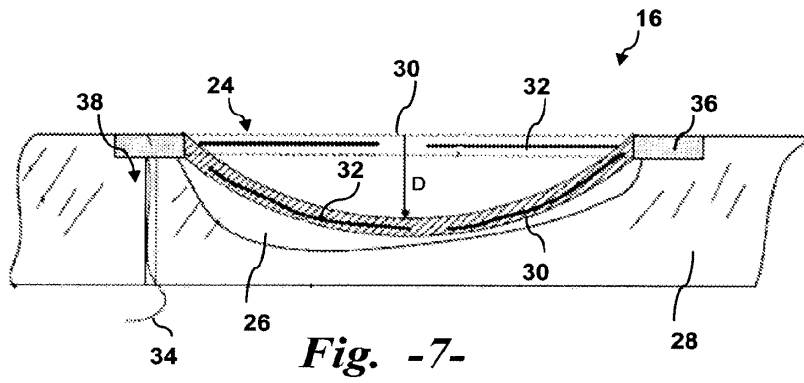
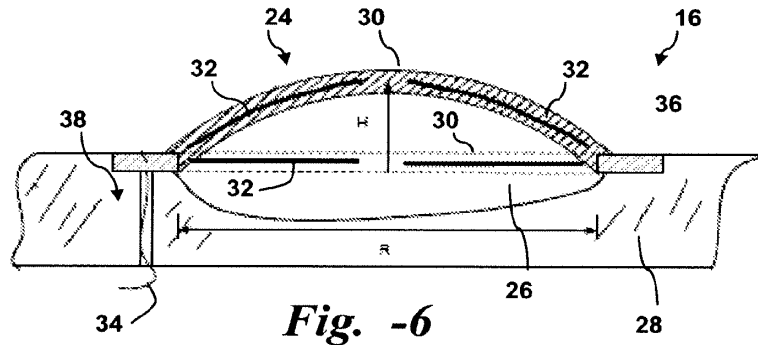
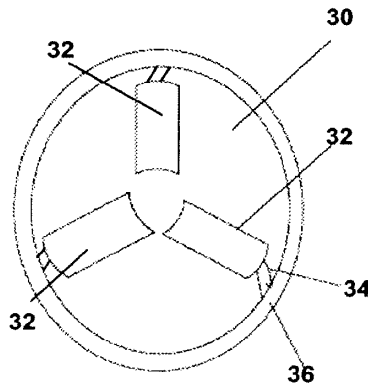


Fig. -8-



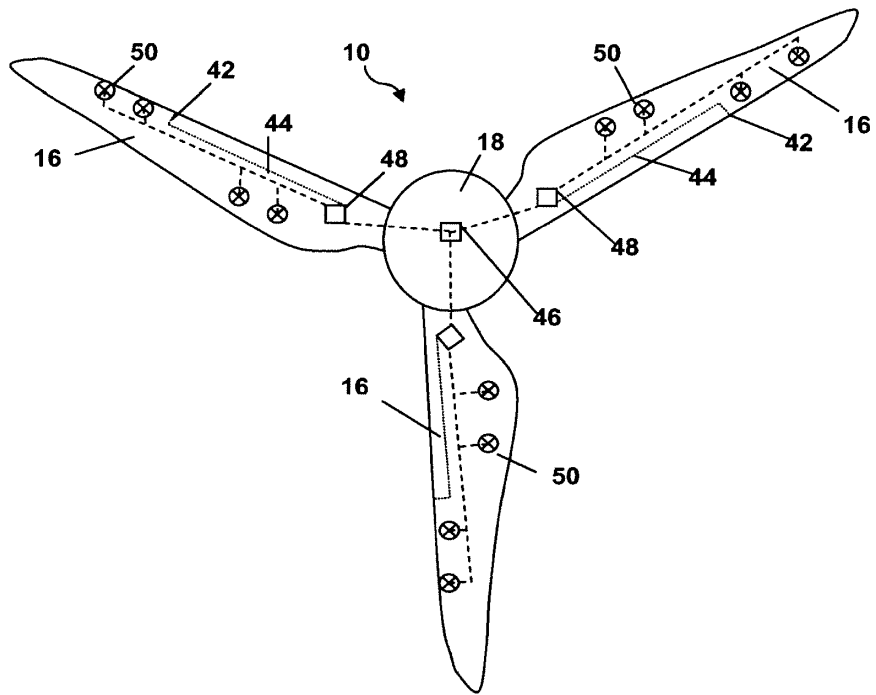


Fig. -9-