



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 362 395**

51 Int. Cl.:  
**F03D 11/02** (2006.01)  
**F03D 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07075909 .7**  
96 Fecha de presentación : **22.10.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2053240**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **29.04.2009**

54 Título: **Turbina eólica con control de capa límite.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**04.07.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**04.07.2011**

73 Titular/es: **ACTIFLOW B.V.**  
**Rotterdamseweg 145**  
**2628 AL Delft, NL**

72 Inventor/es: **Campe, Roy y**  
**Terry, Eric Louis Norbert**

74 Agente: **Morgades Manonelles, Juan Antonio**

ES 2 362 395 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

Turbina eólica con control de capa límite.

5 **Antecedentes de la presente invención**

La presente invención se refiere a una turbina eólica que comprende un rotor con álabes y que comprende asimismo un sistema de control de capa límite para dichos álabes de turbina.

10 La industria de turbinas eólicas está creciendo muy rápidamente. Debido al incremento del precio de los combustibles fósiles y debido a cuestiones medioambientales, existe una demanda creciente de energía ecológica. Con el objetivo de asegurar el éxito duradero de las turbinas eólicas y para satisfacer los requisitos futuros de dichas turbinas, se están llevando a cabo muchos proyectos de I+D en relación con todas sus características.

15 Tomando en consideración las turbinas eólicas modernas de eje horizontal, el objetivo de los proyectos de I+D es maximizar el valor de la producción energética de una turbina eólica dividido por sus costes de producción y sus costes de explotación. En el pasado, la mayoría del presupuesto de I+D se dedicaba al desarrollo estructural de los álabes de la turbina eólica y al desarrollo de todos los componentes mecánicos y eléctricos de una turbina eólica. En este momento, sin embargo, la optimización aerodinámica de los álabes de una turbina eólica se convierte cada vez en un factor más importante. Dado que la energía producida por una turbina eólica es una función directa del diámetro del rotor, un diámetro de grandes dimensiones favorece la producción energética total de una turbina eólica. Sin embargo, los grandes diámetros de los rotores requieren que los álabes de la turbina eólica sean muy rígidos y se requiere un procedimiento de control activo para las cargas aerodinámicas que actúan sobre los mismos. Se necesita una rigidez de valor suficiente para evitar pérdidas aerodinámicas o incluso para evitar el choque de un álabes contra la torre debido a su deflexión excesiva. El control activo de las cargas aerodinámicas que actúan sobre los álabes de la turbina eólica se convierte en un factor más importante cuando la potencia del viento capturada por el rotor a velocidades del viento elevadas excede ampliamente los límites establecidos de resistencia diseñada de la estructura del rotor. Ello se revela especialmente importante en el caso de turbinas eólicas de grandes dimensiones, dado que el margen de seguridad de los límites de resistencia de los componentes se reduce a medida que aumenta el tamaño de la turbina. Por ejemplo, el documento US2004/057828 trata del choque de un álabes contra la torre en el caso de aerogeneradores de grandes dimensiones. A partir de dicha publicación, se conocen mediciones de desviación fuera del plano y mediciones de deformación para controlar una turbina eólica. Un controlador se encarga de utilizar la señal procedente del sensor para determinar el riesgo de choque de un álabes contra la torre. El controlador emprende una acción de control necesaria para prevenir el choque. Las acciones de control propuestas son la inclinación de los álabes, la guiñada del cabezal del rotor o bien la detención de la turbina. En un proceso de optimización aerodinámica dos factores son importantes para maximizar la producción energética de una turbina eólica: su rendimiento global y un control activo de la carga.

40 El rendimiento global de una turbina eólica de eje horizontal se puede mejorar maximizando la relación sustentación/resistencia de un álabes para diferentes condiciones del viento y/o ángulos de ataque. Incluso en el caso de un flujo de aire ideal y de conversión sin pérdidas, la relación de trabajo mecánico extraíble respecto a la potencia del viento está limitada al valor de 0,593. En la práctica, este valor teórico máximo no se puede alcanzar debido a distintas pérdidas aerodinámicas. La mayoría de las pérdidas aerodinámicas son resultado de la creación de una capa límite en la superficie del álabes de la turbina eólica. Introduciendo técnicas de control de dicha capa límite se pueden minimizar las pérdidas aerodinámicas, lo que conlleva una producción energética más elevada de la turbina eólica.

Una mejora adicional posible que conlleva una producción energética más elevada y una eficiencia más elevada de una turbina eólica moderna de eje horizontal es un sistema activo para controlar las cargas aerodinámicas que actúan sobre un álabes de dicha turbina eólica. Las turbinas eólicas están sometidas a cargas variables relevantes que resultan de la cizalladura del viento, las rachas de aire, el desalineamiento de guiñada y las estelas de turbina contra el viento, lo que reduce significativamente su eficacia y resistencia a la fatiga. La pérdida de sustentación se ha identificado como uno de los factores clave de ineficiencia y de disminución de la resistencia a la fatiga. Asimismo, el diseño de las turbinas eólicas cada vez de mayores dimensiones está limitado, puesto que la potencia y masa del rotor son proporcionales a la potencia segunda y tercera del diámetro de una turbina eólica, respectivamente. Con el objetivo de mejorar la eficiencia y resistencia a la fatiga de las turbinas eólicas existentes y futuras, se pretende controlar de modo eficaz la capa límite en los álabes de la turbina eólica.

A partir del documento GB 2186033 se conoce un sistema de control de la capa límite. En dicho documento se describe un álabes de una turbina eólica provista de una entrada a través de la que el aire penetra y circula a lo largo de una trayectoria interna, y una salida adyacente y esencialmente paralela al borde de ataque del álabes, adaptada para dirigir el flujo de aire procedente de la trayectoria a lo largo de la superficie del álabes hacia el borde de escape del álabes y por lo tanto aumentando su sustentación aerodinámica. El flujo de aire a lo largo de la trayectoria hacia la salida se puede controlar mediante válvulas accionables por centrifugación. Cerrando las válvulas cuando el rotor se encuentra en condiciones de sobrevelocidad y de este modo reduciendo el flujo de aire a lo largo de la trayectoria y por la salida, la corriente de aire a lo largo de la superficie del álabes empeora, por lo que la sustentación aerodinámica disminuye y el rotor se ralentiza. El efecto principal del soplado de la capa límite tangencial propuesto es el incremento de la corriente de aire a lo largo de la superficie del álabes y por lo tanto el incremento de la sustentación aerodinámica. La presión requerida se genera pasivamente mediante la fuerza centrífuga. La entrada de la trayectoria se describe como

## ES 2 362 395 T3

una entrada adaptada para recibir un flujo de aire que circula a lo largo de la superficie del álabe para aumentar el flujo laminar a lo largo de dicha superficie, y por lo tanto aumentando la sustentación aerodinámica.

5 El documento WO 00/50778 describe un sistema de control de la capa límite en el que las vibraciones de una cierta estructura, por ejemplo un álabe de una turbina eólica, proporcionan impulsos de partículas fluidizadas procedentes de una cámara a través de una boquilla en el interior de la capa límite de una superficie de dicha estructura para frecuencias relacionadas con la frecuencia de vibración de dicha estructura.

### 10 Resumen de la presente invención

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema mejorado de control de la capa límite para álabes de turbinas eólicas que se pueda emplear para múltiples aplicaciones, en función de las condiciones atmosféricas momentáneas y de las cargas que actúen en cada instante sobre los álabes de la turbina eólica.

15 Dicho objetivo se alcanza mediante una turbina eólica que comprende un rotor con álabes y que asimismo comprende un sistema de control de capa límite para dichos álabes, en la que se disponen múltiples cámaras de presión en el álabe distribuidas a lo largo de su longitud, de modo que cada cámara de presión se comunica con el exterior del álabe a través de una o más aberturas correspondientes en la superficie exterior del álabe de la turbina, y en la que 20 asimismo en el interior del álabe se extienden un canal de aspiración y un canal de soplado para conferir una presión negativa y una sobrepresión, respectivamente, a la cámara de presión, estando conectada cada cámara de presión con por lo menos uno de dichos canales a través de una vía de paso de aire en la que se dispone una válvula accionable activamente que está conectada con una unidad de control, a fin de poder comunicar selectivamente dicha cámara de presión con dicho(s) canal(es) o cortar la comunicación y de este modo poder soplar aire hacia el exterior de la cámara de presión o inyectar aire en dicha cámara a través de la(s) correspondiente(s) abertura(s) en la superficie del álabe.

El sistema de control de capa límite para los álabes de la turbina eólica proporciona la capacidad de aplicar localmente en la superficie del álabe una aspiración o soplado activa de aire, en función de la carga que momentáneamente actúe sobre el álabe. Mediante aspiración, la carga aerodinámica en el álabe se incrementa localmente y la relación 30 sustentación/resistencia aumenta, mientras que mediante el soplado perpendicular a la superficie del álabe, la carga aerodinámica disminuye localmente.

El sistema de control de capa límite se puede integrar en un álabe y puede maximizar la producción energética del aerogenerador. El sistema de control de capa límite se puede instalar en un diseño de álabe de una turbina eólica con 35 perfiles convencionales, aunque también es posible integrarlo en un diseño de álabe novedoso con perfiles optimizados para el empleo de un sistema de control de capa límite. Como resultado del control de la capa límite en el álabe de una turbina eólica, se puede optimizar la relación sustentación/resistencia del álabe para diferentes condiciones de viento y/o distintos ángulos de ataque, dependiendo de las condiciones de trabajo de la turbina eólica. El sistema de control de capa límite se puede emplear asimismo para controlar la distribución de la carga a lo largo de la envergadura del álabe de la turbina eólica. El sistema de control de capa límite se puede alimentar activamente mediante un dispositivo de aspiración/soplado, aunque también se puede hacer funcionar pasivamente empleando la fuerza centrífuga como resultado del movimiento de rotación del álabe.

En particular, el sistema de control de capa límite se adapta para aplicar aspiración o soplado activo esencialmente 45 perpendicularmente a la superficie del álabe de la turbina eólica, dependiendo de la carga (que preferentemente se mide) que actúa momentáneamente sobre el álabe. Mediante aspiración, la carga aerodinámica en el álabe se incrementa y la relación sustentación/resistencia aumenta, dado que el flujo de aire a lo largo de la superficie del álabe se incrementa. Mediante soplado perpendicular a la superficie del álabe, la carga aerodinámica disminuye, dado que el flujo de aire a lo largo de la superficie del álabe queda perturbado. La diferencia entre la carga aerodinámica inducida por la aspiración máxima y la carga aerodinámica inducida por el soplado máximo se puede emplear para controlar el 50 álabe de la turbina eólica.

Aplicando aspiración de la capa límite, la parte de baja energía de la capa límite más cerca de la superficie del álabe queda eliminada, lo que proporciona a la capa límite un perfil de elevada velocidad (mayores velocidades cerca 55 de la superficie del álabe). Gracias a dicho perfil de elevada velocidad, la capa límite es capaz de soportar un gradiente de presión desfavorable más elevado, lo que implica que la separación de flujo se puede evitar o mover a un punto más cerca del borde de escape del álabe de la turbina eólica. Una segunda consecuencia de la aspiración de la capa límite es que el espesor de la capa límite disminuye. Aplicando soplado de la capa límite perpendicularmente a la superficie del álabe, se puede inducir la separación controlada de la capa límite de la superficie del álabe, si ello se pretende.

60 Todos los resultados del control de la capa límite mencionados anteriormente se pueden emplear para distintas aplicaciones. En primer lugar, se explicará el efecto de la aspiración de la capa límite sobre el rendimiento global de una turbina eólica. A continuación, se indican distintas ventajas:

65 - Gracias a la aspiración de la capa límite, se pueden utilizar álabes de mayor grosor sin provocar una separación temprana de flujo. Los álabes cuyo grosor es mayor presentan una rigidez más elevada, lo que permite emplear menos material a fin de obtener la misma rigidez que con un álabe convencional de una turbina eólica. Una menor cantidad de material implica un menor coste de producción y un peso más reducido. Gracias a la rigidez

## ES 2 362 395 T3

más elevada de los álabes de mayor grosor, se pueden emplear materiales más flexibles para la fabricación de álabes de turbinas eólicas. Por ejemplo, la fibra de carbono de elevado coste que se emplea para la fabricación de álabes se podría sustituir por fibra de carbono más económica. Con diámetros de rotor cada vez más grandes, la elevada rigidez y el reducido peso, los álabes de las turbinas eólicas se están convirtiendo en elementos cada vez más relevantes.

- La sección transversal del álabe cerca del cubo de la turbina eólica es mayoritariamente circular a fin de posibilitar la inclinación de dicho álabe. Con el objetivo de evitar una transición abrupta en el perfil, existe una zona amplia de la envergadura en la que el perfil pasa de ideal a circular. En esta zona, el álabe de la turbina eólica no presenta una forma aerodinámica óptima, lo que localmente causa la temprana separación de flujo sin la aplicación de aspiración. Mediante aspiración de la capa límite, la sección transversal cerca del pie del álabe puede ser también eficiente, proporcionando una contribución más elevada a la producción energética de la turbina eólica.
- Postergando o evitando la separación de flujo mediante aspiración, el valor del coeficiente de sustentación máximo del álabe de la turbina eólica se puede incrementar. Con una carga máxima constante de valor aceptable en el álabe, un coeficiente de sustentación máximo de valor más elevado significa que la profundidad de ala del álabe se puede reducir. Un álabe cuya profundidad de ala sea menor es menos sensible a las rachas intensas de aire durante el funcionamiento o incluso durante los periodos de paro, lo que significa que se reducirán los daños por fatiga.
- En el caso de turbinas eólicas de alta tecnología y grandes dimensiones, el ruido del borde de escape es el factor dominante de la emisión de ruido. El ruido del borde de escape es una función directa del espesor de la capa límite en el borde de escape de un álabe de una turbina eólica. Dado que el espesor de la capa límite se puede reducir mediante aspiración de la capa límite, con dicha técnica se obtiene una emisión de ruido menor. Dado que la máxima velocidad del extremo de un aerogenerador está limitada debido a la restricción de la emisión de ruido de la turbina, la aspiración de la capa límite permite a los ingenieros realizar diseños con velocidades más elevadas. La energía producida por la turbina eólica está relacionada directamente con la velocidad de rotación. Por este motivo, la aspiración de la capa límite permite incrementar la velocidad en el extremo y consecuentemente, una producción energética mayor.
- Mediante la aspiración de la capa límite, se puede postergar o evitar la separación de flujo y el espesor de la capa límite disminuye. Consecuentemente, la resistencia de presión del perfil disminuye, y el coeficiente de sustentación se incrementa debido a una curvatura efectiva mayor experimentada por el flujo de aire sobre el álabe. Combinando dichas ventajas, la relación sustentación/resistencia para un cierto valor del ángulo de ataque se puede incrementar de modo importante. Incrementando dicha relación, el rendimiento global de la turbina eólica aumenta.

Tal como ya se ha mencionado anteriormente, la presente invención se refiere un sistema de control de capa límite que está adaptado para efectuar tanto aspiración activa como soplado activo perpendicular a la superficie de un álabe de la turbina eólica, dependiendo de la carga que actúe momentáneamente sobre dicho álabe. Mediante la aspiración y el soplado, la distribución aerodinámica de fuerzas en el álabe de un aerogenerador se puede controlar, y asimismo se puede controlar la carga estructural sobre dicho álabe. Las ventajas de dicho sistema de control activo de carga figuran a continuación:

- Mediante aspiración de la capa límite, las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre un álabe de una turbina eólica se pueden incrementar. Soplando aire hacia el exterior de la superficie del álabe, se puede inducir la separación de flujo, lo que significa que las fuerzas aerodinámicas de sustentación que actúan sobre el álabe se reducirán. Controlando localmente la aspiración y soplado, basándose en medidas momentáneas locales de la carga aerodinámica que actúa localmente en el álabe o su desplazamiento debido a la carga aerodinámica, se puede evitar la fluctuación de la carga. Variando el valor de aspiración/soplado a lo largo de la envergadura del álabe, se puede obtener una distribución de carga óptima a lo largo de todo el álabe, evitando sobrepasar la sollicitación local máxima del material del álabe.
- A altas frecuencias, las fluctuaciones de la carga debido a rachas del viento o por otras condiciones de trabajo cambiantes, se pueden contrarrestar mediante el sistema de control de capa límite. Consecuentemente, el esfuerzo hasta la fatiga se puede reducir o evitar, y de este modo disminuir la posibilidad de daños por fatiga. Disminuyendo la fluctuación de la carga en un álabe de la turbina eólica, la carga que actúa en los componentes mecánicos de una turbina eólica, por ejemplo la transmisión y los rodamientos, se reduce, lo que posibilita un diseño con componentes mecánicos menos robustos, el ahorro de material, peso y coste.

Ocasionando que la carga que actúa en los álabes de la turbina eólica sea más constante, se puede obtener una eficiencia mecánica y eléctrica más elevada, lo que incrementa la producción energética neta de la turbina eólica.

- A bajas frecuencias, las variaciones de la carga aerodinámica por las condiciones de viento cambiantes se pueden contrarrestar con el sistema de control de capa límite. Se diseña un álabe de una turbina eólica para que funcione con un ángulo local de ataque de modo que el perfil alcance localmente un valor máximo de la

relación sustentación/resistencia. Con velocidad del viento cambiante, el ángulo de ataque del álabe de una turbina eólica varía, lo que significa que el álabe deja de funcionar en condiciones óptimas. Normalmente, en el caso de turbinas con control de inclinación, el sistema de inclinación se emplea para adaptar el ángulo del álabe y asegurar que el álabe funcione de nuevo para un ángulo de ataque local de valor óptimo. Empleando un sistema de control de capa límite en lugar de un sistema de inclinación, se puede aplicar aspiración o soplado localmente sobre el álabe, de modo que el valor de la relación sustentación/resistencia para ángulos de ataque no previstos en la construcción se aproxime al valor de la relación sustentación/resistencia diseñada en todos los puntos de la envergadura del álabe. A este respecto, se puede sustituir el sistema de inclinación por un sistema de control de capa límite. Sin un sistema de inclinación, la separación de flujo en la zona de la envergadura de un álabe en el que el perfil varía de la forma óptima a la forma circular se puede evitar, dado que ya no se necesita el perfil circular. Asimismo, la sustitución del sistema de inclinación por un sistema de control de capa límite disminuye el coste de la turbina eólica, puesto que el sistema de inclinación es un elemento caro y complejo del aerogenerador. Alternativamente, un sistema de control de capa límite se puede combinar con un sistema de inclinación, reduciéndose la utilización del sistema de inclinación. En este caso, los daños en el sistema de inclinación producidos por la carga disminuyen y la vida útil del sistema de inclinación aumenta.

- Para velocidades del viento demasiado elevadas o en el caso de avería del generador eléctrico de una turbina eólica, la alta velocidad de rotación de los álabes de la turbina eólica se debe disminuir. Ello se puede efectuar reduciendo el ángulo de ataque de los álabes de la turbina eólica mediante el control de inclinación, aunque de nuevo es posible evitar la sobrevelocidad mediante el sistema de control de capa límite activando el soplado perpendicular a la superficie del álabe.

A consecuencia del soplado, la separación de flujo se produce gradualmente, sin el efecto aerodinámico inestable que surge en el caso de sobrevelocidad para turbinas normales con control de parada. Gracias a la separación de flujo, la fuerza aerodinámica que actúa en el álabe disminuye y como resultado la velocidad de rotación del álabe de la turbina eólica disminuye.

La turbina eólica se puede construir a prueba de fallos por sobrevelocidad diseñando las válvulas situadas entre las cámaras de presión y los canales de aire de modo que se produzca el soplado pasivo cuando exista un fallo eléctrico. Consecuentemente, no se producen sobrecargas en el caso de fallos eléctricos o fallos del sistema de inclinación.

- El rendimiento aerodinámico de un álabe de una turbina eólica depende en gran medida del grado de suciedad de la superficie de dicho álabe debido a influencias ambientales. Especialmente en el caso de turbinas con control de parada dicho efecto se revela importante, puesto que el ángulo de ataque en el que se produce la separación de flujo depende en gran medida de la suciedad del álabe. El resultado del grado de suciedad es que se crea una capa límite de mayor espesor sobre la superficie del álabe, que se separa de la superficie para un ángulo de ataque menor que sin la suciedad. Dicha sensibilidad por el grado de suciedad se reduce significativamente influyendo en el flujo de aire a lo largo del álabe de la turbina eólica mediante un sistema de control de capa límite. De este modo, el sistema de control de capa límite permite evitar la carga de la fatiga debido a una separación de flujo incontrolada o imprevista.
- La aspiración de la capa límite se puede emplear como ayuda en el arranque de una turbina eólica. Durante dicho proceso, la velocidad del flujo de aire a lo largo de un álabe de la turbina eólica es relativamente baja. Si el álabe no se inclina de modo que el ángulo de ataque sea suficientemente pequeño, entonces el flujo de aire se separará de la superficie del álabe y no se generará ninguna sustentación como ayuda para el arranque de la turbina eólica. Mediante la aspiración de la capa límite en el álabe, el flujo no se separa de la superficie del álabe y en consecuencia el álabe genera una fuerza de sustentación que posibilita un arranque más eficaz de la turbina eólica.

En todos los casos, el sistema de control de capa límite puede sustituir a un sistema de control de inclinación. Sin embargo, para obtener redundancia, el sistema de control de capa límite se puede combinar con un sistema de inclinación. En este caso, el sistema de control de capa límite se puede emplear durante el funcionamiento normal del aerogenerador, empleando el sistema de inclinación para el arranque y en casos de emergencia, por ejemplo sobrevelocidad.

### Descripción breve de los dibujos

En las figuras 1 y 2 se representa un posible perfil de álabe de una turbina eólica, típico para la aplicación de la aspiración de la capa límite.

En la figura 3 se representa una vista posterior de una turbina eólica según la presente invención.

En la figura 4 se representa más detalladamente una parte del álabe de la turbina eólica de la figura 3.

En la figura 5 se representa una sección en perspectiva de un álabe de la turbina eólica de la figura 3.

## ES 2 362 395 T3

En la figura 6 se representa una sección en perspectiva de un álabe de la turbina eólica de la figura 3, en la que se han eliminado elementos porosos de la superficie que cubren unas cámaras de presión.

5 En la figura 7 se representa una sección de un álabe de la turbina eólica de la figura 3, mostrándose un posicionamiento alternativo del sistema de control de capa límite.

En la figura 8a se representa una sección de un álabe de la turbina eólica de la figura 3, en la que se emplea una ranura como conexión entre una cámara de presión y la superficie del álabe.

10 En la figura 8b se representa una sección de un álabe de la turbina eólica de la figura 3, en la que se emplean múltiples ranuras como conexión entre una cámara de presión y la superficie del álabe.

15 En la figura 8c se representa una sección de un álabe de la turbina eólica de la figura 3, en la que se emplea una ranura como conexión entre un canal de aire y la superficie del álabe sin emplear una cámara de presión.

En la figura 9 se representa una vista posterior en perspectiva de una turbina eólica según la presente invención, en la que el canal de aspiración de aire está abierto en la zona del extremo del álabe.

20 En la figura 10 se representa una vista lateral de una turbina eólica según la presente invención con sensores y unidad de control.

En la figura 11 se representa una forma de realización preferida de una turbina eólica según la presente invención.

25 En la figura 12 se representa un detalle de la turbina eólica de la figura 11.

En las figuras 13a y 13b se ilustra la aspiración y soplado de aire respectivamente hacia/desde la superficie del álabe de la turbina de la figura 11.

30 En la figura 14 se representa una forma de realización preferida adicional de una turbina eólica según la presente invención.

En la figura 15 se representa un extremo abierto del álabe de la turbina eólica de la figura 14.

35 Y finalmente, en las figuras 16a a 16c se ilustra la aspiración de aire y el soplado de aire hacia/desde la superficie del álabe de la turbina de la figura 14.

### Descripción detallada

40 Un objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema mejorado de control de la capa límite para álabes de turbinas eólicas que se pueda emplear para múltiples aplicaciones, en función de las condiciones atmosféricas momentáneas y de las cargas que actúen en cada instante sobre los álabes de la turbina eólica.

45 El sistema de control de capa límite se puede instalar en un diseño de álabe de una turbina eólica con perfiles convencionales, aunque también es posible integrarlo en un diseño de álabe novedoso con perfiles optimizados para el empleo de un sistema de control de capa límite (figuras 1 y 2).

50 El sistema de control de capa límite comprende múltiples cámaras de presión, designadas con la referencia numérica 1 en las figuras 5, 6, 7 y 8, situadas debajo de la superficie del extradós (parte posterior del lado de aspiración) del álabe 2 (véanse las figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13 y 15), sustituyendo parcialmente el material de la superficie por un material poroso 3 (representado en las figuras 4, 5, 7, 8, 9, 12, 13 y 15). La cámara de presión 1 es una cavidad en el álabe de la turbina eólica dispuesta justo por debajo de la superficie del álabe, dicha superficie posiblemente sustituida por material poroso 3, a través de la que el aire puede circular en distintas direcciones. Preferentemente, una cámara de presión presenta un volumen relativamente reducido a fin de evitar el retardo en la respuesta al cambiar de aspiración a soplado en el mismo lugar. Como alternativa para la superficie superior porosa del álabe, se pueden instalar una o más ranuras 4 (véase la figura 8) en el álabe a fin de conectar las cámaras de presión con la superficie del álabe.

55 Las cámaras de presión están conectadas con uno o más canales de aire 5 (véanse las figuras 5, 6, 7 y 8) con sección transversal constante o variable que están instaladas en el interior del álabe. Un canal de aire transporta aire en la dirección de la envergadura a través del álabe de la turbina eólica, entre por una parte una abertura en el pie o en el extremo del álabe y por otra parte una o más cámaras de presión y/o superficies porosas de sistema. En una forma de realización específica, una o más cámaras de presión pueden hacerse cargo de la función de un canal de aire.

60 La conexión entre las cámaras de presión y los canales de aire se realiza mediante uno o más dispositivos 6 o válvulas (véanse las figuras 5, 6, 7 y 8) que controlan el caudal entre las cámaras de presión y los canales de aire o en sentido opuesto. Dicho control del caudal se basa ya sea en un modelo matemático, en medidas locales e instantáneas de la carga aerodinámica que actúa sobre el álabe, en la deflexión del álabe debido a la carga aerodinámica o bien en la sollicitación del material de álabe debido a la carga aerodinámica. El modelo matemático puede ser una función de

## ES 2 362 395 T3

la velocidad de rotación del álabe de la turbina eólica, de la velocidad del viento, del ángulo de ataque del álabe, de la potencia instantánea producida por la turbina eólica, del momento instantáneo de fuerzas sobre el eje de la turbina y/o de un dispositivo que permita predecir rachas de viento. El principio de medida del desplazamiento local del álabe se representa en la figura 10.

5

En una forma de realización del sistema, los canales de aire (elemento 5) conducen a uno o más dispositivos de aspiración/soplado 7 (véanse las figuras 11 y 13), generándose la presión deseada a fin de aplicar aspiración y/o soplado en la superficie del álabe de la turbina eólica. El principio de aspiración/soplado mediante un dispositivo de aspiración/soplado se representa la figura 13.

10

En una forma de realización adicional del sistema, se utiliza la fuerza centrífuga obtenida a consecuencia del movimiento de rotación del álabe a fin de generar la presión deseada en los canales. En este caso, un canal de aire 5 conduce a una abertura dispuesta en el extremo del álabe 8 (véanse las figuras 9, 14 y 15) con el objetivo de generar una presión reducida en el canal, y un canal 5 conduce a una abertura dispuesta en el pie del álabe 9 (representada en la figura 16) con el objetivo de generar una presión elevada en el interior del canal. La abertura en el pie del álabe puede ser una abertura interna del cubo del rotor 10 (véanse las figuras 9, 14 y 16). En la figura 16 se representa el principio de aspiración/soplado mediante la fuerza centrífuga.

15

Las dos formas de realización mencionadas anteriormente se pueden combinar asimismo en una nueva forma de realización. En todas las formas de realización, es posible generar un flujo de aire a través del cubo del rotor 10 que se origina en el flujo de aire que sale del álabe o que penetra en el mismo. El flujo de aire a través del cubo del rotor refrigera la transmisión y la electrónica dispuesta en su interior.

20

En la forma de realización preferida del sistema de control de capa límite, las cámaras de presión 1 están conectadas con dos canales de aire distintos 5 a través de dispositivos/válvulas de regulación de caudal 6. Un canal de aire contiene aire a una presión variable que localmente es más elevada que la presión que actúa sobre la superficie externa del sistema (superficie porosa o ranura(s)) en la misma zona en la envergadura. Las presiones relativamente elevadas en el canal se pueden generar activamente mediante el dispositivo de aspiración/soplado 7, o pasivamente creando una conexión entre el canal de aire y el aire en el interior del cubo del rotor 10 o en el exterior de la turbina eólica en el pie del álabe, mediante la fuerza centrífuga. La abertura entre el pie del álabe y el cubo o la parte exterior puede ser fija, aunque también puede ser variable. El otro canal de aire contiene aire a una presión variable que localmente es menor que la presión que actúa sobre la superficie exterior del sistema (superficie porosa o ranura(s)) en la misma zona en la envergadura. Las presiones relativamente reducidas en el canal se pueden generar activamente mediante el dispositivo de aspiración/soplado 7, o pasivamente creando una conexión entre el canal de aire y el aire en el exterior de la turbina eólica en el extremo del álabe 8, mediante la fuerza centrífuga. La forma de la abertura en el extremo del álabe 8, así como la velocidad y ángulo de soplado en el extremo pueden ser fijos o variables, a fin de minimizar sustentación y/o la creación de ruido debido al aire que sale del canal de aire a baja presión. Controlando los dispositivos/válvulas de regulación de caudal 6, las cámaras de presión 1 situadas debajo de la superficie porosa del álabe 3 o debajo de la(s) ranura(s) 4 se conectan con el canal de baja presión o con el canal de alta presión, creándose aspiración o soplado en la superficie del álabe 2, respectivamente. Asimismo, la cantidad de aspiración/soplado se controla mediante dichos dispositivos/válvulas de regulación de caudal 6.

25

30

35

40

### Referencias citadas en la memoria descriptiva

45

La lista siguiente de los documentos mencionados por parte del solicitante ha sido realizada exclusivamente a fin de informar al lector y no forma parte del documento de patente europeo. Ha sido elaborada con mucho esmero; sin embargo, la Oficina Europea de Patentes no asume ninguna responsabilidad en el caso de errores u omisiones eventuales.

50

### Documentos de patente citados en la memoria descriptiva

- US 2004057828 A

55

- GB 2186033 A

- WO 0050778 A

60

65

# ES 2 362 395 T3

## REIVINDICACIONES

5 1. Turbina eólica que comprende un rotor con un cubo (10) y álabes de turbina (2) y que asimismo comprende un sistema de control de capa límite para dichos álabes, en la que se disponen múltiples cámaras de presión (1) en el álabe distribuidas a lo largo de su longitud, de modo que cada cámara de presión se comunica con el exterior del álabe a través de una o más aberturas correspondientes (4) en la superficie exterior del álabe de la turbina, **caracterizada** porque asimismo en el interior del álabe se extienden un canal de aspiración (8) y un canal de soplado (5) a para conferir una presión negativa y una sobrepresión, respectivamente, a la cámara de presión, estando conectada cada cámara de presión con por lo menos uno de dichos canales a través de una vía de paso de aire en la que se dispone una válvula accionable activamente (6) que está conectada con una unidad de control, a fin de poder comunicar selectivamente dicha cámara de presión con dicho(s) canal(es) o cortar la comunicación, y de este modo poder soplar aire hacia el exterior de la cámara de presión o inyectar aire en dicha cámara a través de la(s) correspondiente(s) abertura(s) en la superficie del álabe.

15 2. Turbina eólica según la reivindicación 1, en la que las aberturas de la superficie exterior del álabe están dispuestas de modo que si durante el funcionamiento se sopla aire hacia fuera, el flujo de aire a lo largo de la superficie del álabe queda perturbado.

20 3. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en la que las aberturas de la superficie exterior del álabe están dispuestas de modo que durante el funcionamiento el aire circula hacia el interior de la cámara de presión o sale de la misma en una dirección esencialmente perpendicular a la superficie exterior en dicho punto.

25 4. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, de modo que las aberturas de la superficie exterior están situadas en el extradós (parte posterior o lado de aspiración) del álabe en la zona del borde de escape.

30 5. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, de modo que la superficie exterior en la que se disponen las aberturas está formada por una estructura porosa (3) y por lo tanto las aberturas comprenden poros de dicha estructura porosa.

35 6. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, de modo que se proporcionan unos medios de medición en los álabes de la turbina, conectados con la unidad de control y adaptados para medir la desviación de los álabes y la solicitación de su material, a fin de determinar las condiciones de la carga que actúa sobre los álabes de la turbina.

40 7. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las válvulas son válvulas de regulación de caudal.

45 8. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, de modo que las válvulas dispuestas entre la(s) cámara(s) de presión y los canales se diseñan de modo que se produce el soplado pasivo en el caso de una avería eléctrica o de un fallo de un sistema de inclinación posiblemente existente.

50 9. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el canal de aspiración está conectado con un dispositivo de aspiración (7).

55 10. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el canal de soplado está conectado con un dispositivo de soplado (7).

60 11. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en la que el canal de soplado está abierto en su extremo en una zona (9) del cubo del rotor, de modo que por rotación del rotor se origina una sobrepresión en el canal de soplado por la fuerza centrífuga.

65 12. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, 10 y 11, en la que el canal de aspiración de aire está abierto en la zona del extremo (9) del álabe, de modo que por rotación del rotor se origina una presión negativa en el canal de aspiración por la fuerza centrífuga.

13. Turbina eólica según la reivindicación 12, de modo que en la zona del extremo del álabe, la abertura, la velocidad de soplado y/o el ángulo de soplado pueden ser fijos o variables, a fin de minimizar la generación de sustentación y/o ruido debido al aire que sale del canal de aspiración.

70 14. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, de modo que el aire que penetra en el canal de soplado procedente del cubo del rotor o que sale de dicho canal de soplado en dirección hacia el dicho cubo del rotor se conduce en calidad de un fluido refrigerante por los componentes electrónicos y mecánicos dispuestos en la turbina, por ejemplo una transmisión, un alternador y/o un controlador.

75 15. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las cámaras de presión presentan un volumen reducido, de modo que se evita el retardo en la respuesta al cambiar de aspiración a soplado y viceversa.



## ES 2 362 395 T3

16. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el sistema de control de capa límite se combina con un sistema de control de la inclinación de los álabes.

5 17. Procedimiento para controlar la carga que actúa sobre un álabe de una turbina eólica, en el que se emplea una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

10 18. Procedimiento según la reivindicación 17, en el que el control de las válvulas se basa en un modelo matemático, que puede ser una función de la velocidad de rotación del álabe de la turbina eólica, de la velocidad del viento, del ángulo de ataque del álabe, de la potencia instantánea producida por la turbina eólica, del momento instantáneo de fuerzas sobre el eje de la turbina y/o de un dispositivo que permita predecir rachas de viento.

15 19. Procedimiento según la reivindicación 17, en el que la solicitación del material del álabe de la turbina debido a la carga aerodinámica que actúa en dicho álabe se mide en uno o más puntos de dicho álabe y la apertura de las válvulas se controla instantáneamente basándose en las mediciones locales de la solicitación del material del álabe.

20 20. Procedimiento según la reivindicación 17, en el que la deflexión del álabe de la turbina debido a la carga aerodinámica que actúa en dicho álabe se mide en uno o más puntos, y la apertura de las válvulas se controla instantáneamente basándose en las mediciones locales de la deflexión del álabe de la turbina.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

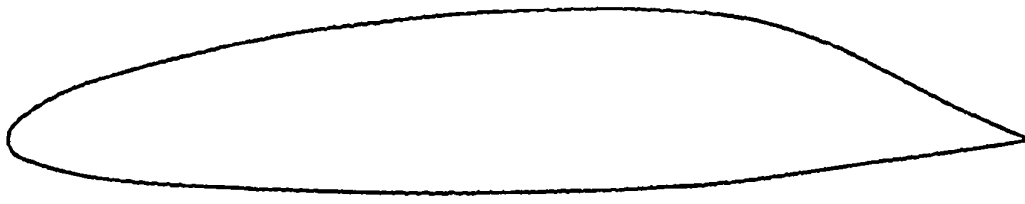


Fig. 1

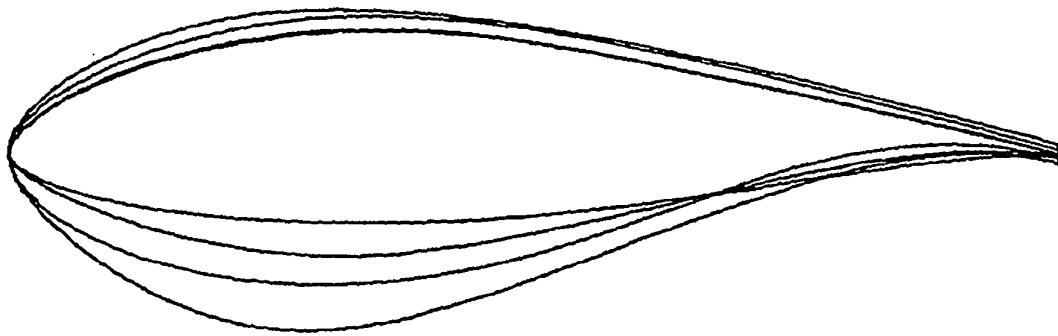


Fig. 2

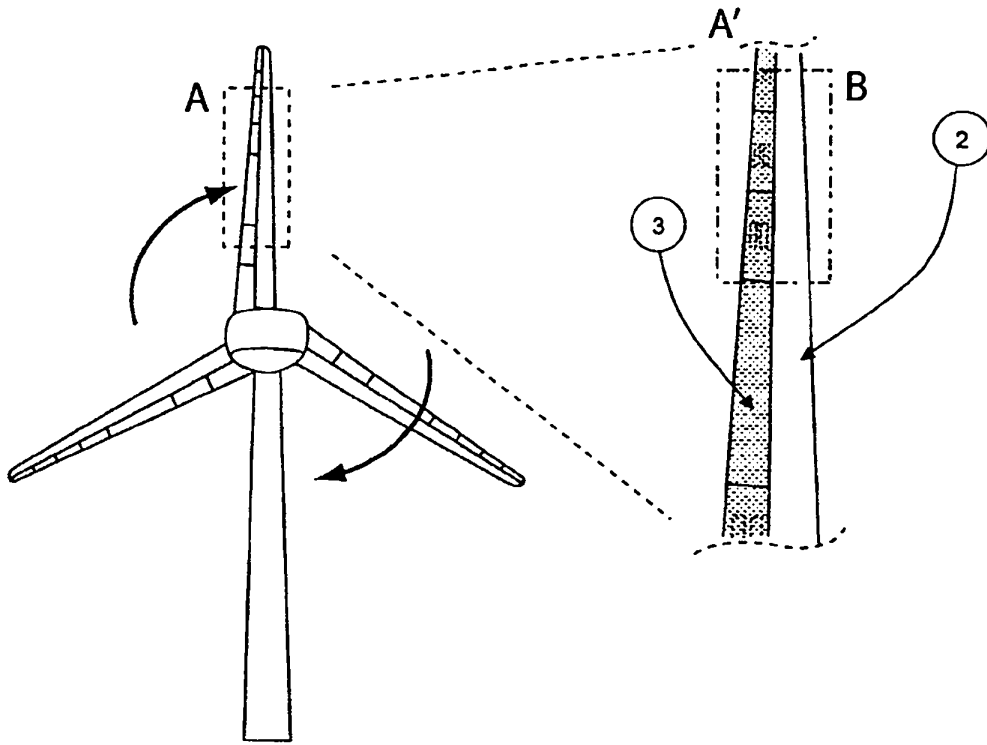


Fig. 3

Fig. 4

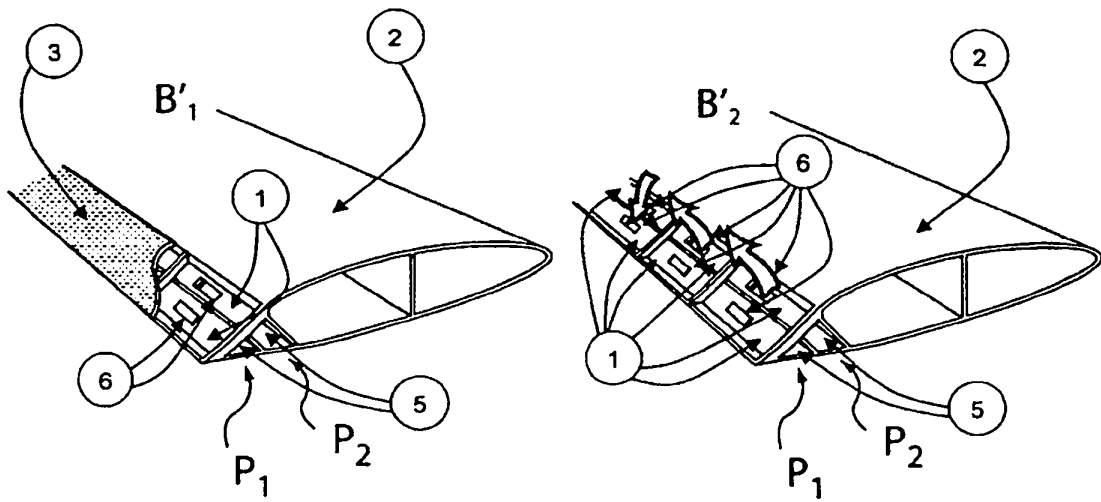


Fig. 5

Fig. 6

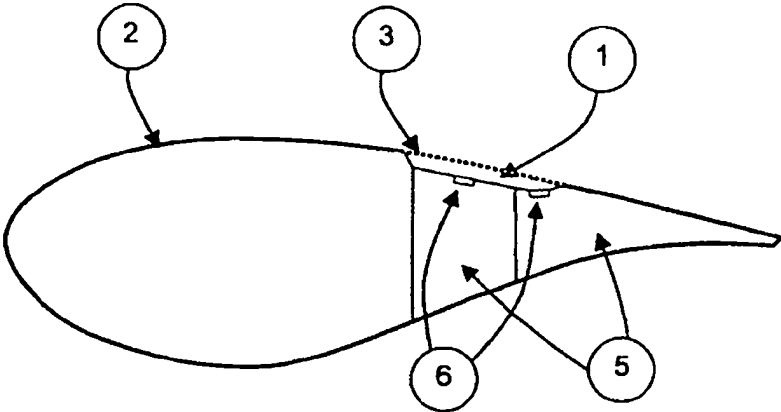


Fig. 7

Fig. 8a

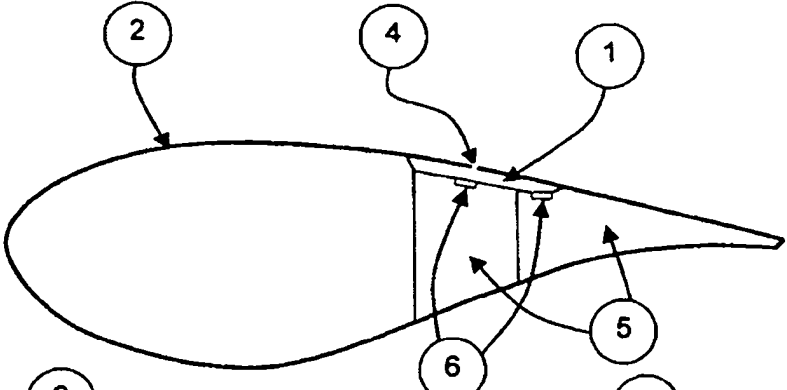


Fig. 8b

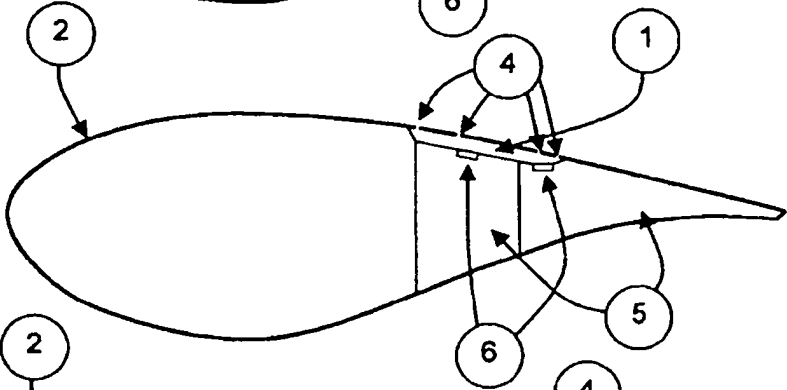
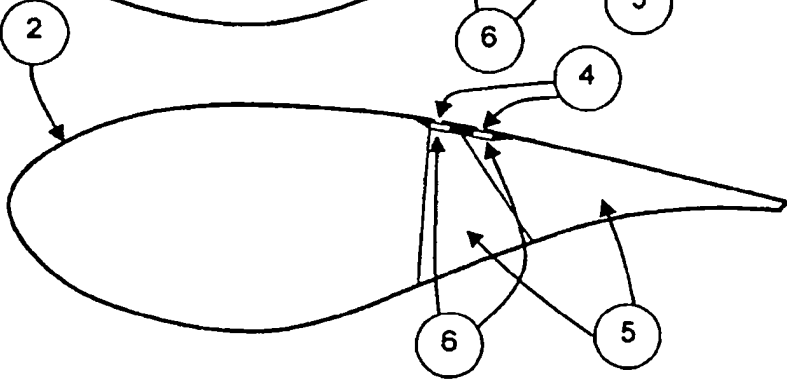


Fig. 8c



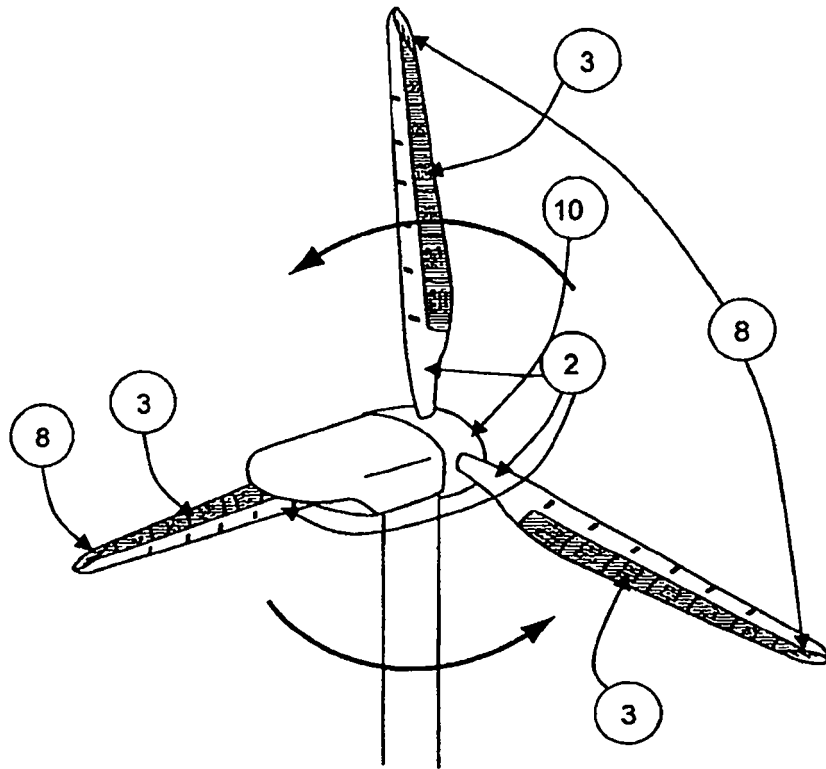


Fig. 9

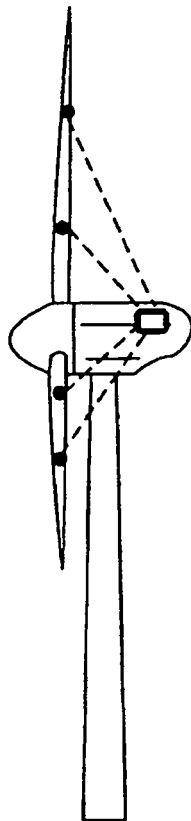


Fig. 10

