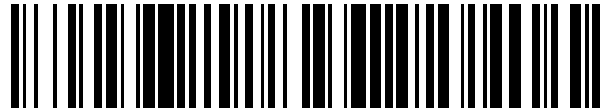


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 469 515**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.06.2003 E 03756398 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2014 EP 1534952**

54 Título: **Álabe de turbina eólica de longitud variable**

30 Prioridad:

04.06.2002 US 164959

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

18.06.2014

73 Titular/es:

**FRONTIER WIND, LLC (100.0%)
100 Four Falls Corporate Center Suite 215
West Conshohocken, PA 19428, US**

72 Inventor/es:

**DAWSON, MARK H. y
WALLACE, JACK A.**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 469 515 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

Álabe de turbina eólica de longitud variable

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a turbinas eólicas. Específicamente, la invención se refiere a una turbina eólica para un álabe telescópico en el que la longitud del álabe es variable.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10 Las turbinas eólicas generan una energía proporcional al área de barrido de sus álabes. El aumento de la longitud de los álabes de una turbina eólica aumenta el área de barrido, lo que produce más energía. El generador, los engranajes, los cojinetes y la estructura de soporte de una turbina eólica deben ser diseñados teniendo en cuenta la carga de viento y la producción de energía esperadas. A bajas velocidades de viento, se desean álabes muy largos para obtener tanta energía como sea posible del viento disponible. A altas velocidades de viento, una turbina eólica debe controlar la producción de energía y las cargas mecánicas desarrolladas. Con el tiempo, el viento se vuelve suficientemente fuerte como para que la turbina eólica deba ser detenida para no dañar los componentes, así que son deseables álabes cortos para mantener la turbina eólica produciendo potencia en condiciones de viento fuerte.

20 La elección de un diámetro de rotor para una turbina eólica es un compromiso de diseño entre la producción de energía en condiciones de poco viento y la limitación de la carga en condiciones de viento fuerte. Frecuentemente, los fabricantes de turbinas eólicas comercializan una diversidad de tamaños de rotor para un modelo de turbina eólica determinado. Estos tamaños de rotor están optimizados para sitios que tienen una velocidad media anual del viento baja, media o alta. Sin embargo, el tamaño del rotor seleccionado es siempre un compromiso y hay condiciones para las que la turbina no se comporta de manera óptima debido a que el rotor es demasiado grande o demasiado pequeño.

25 Sería deseable proporcionar a una turbina eólica un rotor grande que pueda producir una gran cantidad de energía en condiciones de poco viento y un rotor pequeño para limitar la energía y las cargas mecánicas durante condiciones de viento fuerte. Preferiblemente, dicha una turbina tendría un rotor de diámetro variable que puede ser ajustado a las condiciones de viento actuales.

30 Se han diseñado muchos rotores de diámetro variable para aviones. Uno de los primeros se muestra en la patente US N° 1.077.187. Desde entonces, se han patentado muchos otros rotores de diámetro variable, y mejoras de los mismos. Algunas de esas patentes son las patentes US N° 3.768.923, 5.299.912, 5.636.969, 5.642.982 y 5.655.879. Todos estos diseños de rotor son para su uso en aeronaves de diversos tipos y carecen de cualquier enseñanza para utilizar dicho un rotor en una turbina eólica.

35 En el pasado, cuando se ha instalado una turbina eólica en un sitio con una velocidad de viento inferior a aquella para la que fue diseñada originalmente, los álabes se han alargado añadiendo extensores de cubo, que alejan los álabes radialmente hacia fuera desde su montaje original. Los extensores de cubo consiguen el objetivo de aumentar el área de barrido, pero presentan las siguientes desventajas:

- 40 1. Los extensores de cubo no pueden ser cambiados o quitados fácilmente, ya que son dispositivos relativamente pesados. Debido a que se requiere una grúa y horas de mano de obra para cambiar los extensores de cubo en las turbinas eólicas de tamaño comercial, se termina por dejarlos en su sitio una vez instalados.
- 45 2. Debido a que los extensores de cubo no pueden ser quitados fácilmente, se aplican cargas adicionales sobre la turbina cada vez que se producen vientos fuertes, y
- 50 3. La longitud de los extensores de cubo está limitada por la resistencia del tren de accionamiento existente y otros componentes. La vida de la turbina eólica se acorta o el tren de accionamiento, el generador y otros componentes deben ser actualizados para soportar las cargas más elevadas causadas por los álabes más largos. Debido a que todo el tren de accionamiento no puede ser actualizado de manera económica, el uso de extensores de cubo es limitado como una manera de aumentar la salida de energía de una turbina eólica.

55 Sería ventajoso proporcionar una manera de extender la longitud de los álabes de las turbinas eólicas que sea fácilmente reversible de manera que la turbina eólica pueda aprovechar la producción de energía extra de los álabes más largos, pero no tengan la desventaja de los álabes largos durante períodos de viento fuerte.

60 Los frenos aerodinámicos son secciones móviles del álabe situadas en el extremo de un álabe de una turbina eólica. Un diseño mostrado en la patente US N° 4.715.782 reduce la eficiencia del álabe mediante un giro de 90 grados y causando una resistencia aerodinámica. La parte de la punta del álabe está montada en un eje que

permite que la punta sea girada 90 grados con respecto al álabe. Esto actúa como una resistencia aerodinámica que se usa como un freno para ralentizar la rotación de los álabes. Estos dispositivos permiten que la punta del álabe se mueva longitudinalmente una corta distancia con el fin de desconectar la punta del extremo del álabe. Una vez libre de la parte fija del álabe, la punta se hace girar 90 grados completos para destruir efectivamente la capacidad del álabe para producir energía. Estos frenos aerodinámicos no están diseñados para funcionar en cualquier posición diferente a una posición completamente girada, o completamente alineada con el álabe. Su función es la de actuar como un dispositivo de seguridad, reduciendo la capacidad del álabe de la turbina para producir energía. El movimiento longitudinal de la punta es mínimo, y sirve al propósito de enclavar y desenclavar la punta de manera que puede ser girada.

Otro diseño de los frenos aerodinámicos se muestra en la patente US N° 4.710.101. Este dispositivo usa un procedimiento puramente telescópico para frenar la turbina eólica. Una parte del borde de ataque de la punta del álabe se extiende, exponiendo una superficie no aerodinámica al viento y exponiendo una superficie no aerodinámica en el borde de salida de la punta del álabe. Estos factores se combinan para producir un efecto de frenado.

A pesar de que la acción telescópica en este diseño es mayor que en otros diseños de freno aerodinámico, la función sigue siendo la misma; inhibir la producción de energía de la turbina eólica alterando la forma aerodinámica del álabe. Aunque los frenos aerodinámicos comprenden una sección de álabe móvil y una sección de álabe fija:

1. No permiten cambiar la longitud efectiva del álabe;
2. No mejoran la producción de energía del álabe;
3. No optimizan el ángulo de incidencia del extremo del álabe con los cambios en la longitud, y
4. No funcionan en posiciones intermedias entre las posiciones completamente desplegada o completamente alineada.

El documento FR2751693 describe un álabe de longitud variable para una turbina de viento, en el que la longitud de los álabes es variada telescópicamente en respuesta a la variación de la velocidad del viento. El documento US5630705 describe una construcción de rotor para un molino de viento que comprende una serie de álabes de rotor alargados conectados al soporte de rotor mediante una conexión articulada para inclinar el eje longitudinal del álabe de rotor o parte del mismo. El documento JP57032074 describe un molino de viento que comprende dos álabes, cada uno de los cuales es expansible radialmente.

Sería ventajoso proporcionar un procedimiento de reducción de cargas y de salida de energía de la turbina eólica durante condiciones de viento fuerte sin inhibir completamente la producción de energía, permitiendo de esta manera la producción continua de energía durante condiciones de viento fuerte.

SUMARIO DE LA INVENCION

Según la presente invención, se proporciona una turbina eólica según se describe en la reivindicación 1 independiente para su uso con un álabe de turbina eólica de longitud variable y un procedimiento de control de una turbina eólica según se describe en la reivindicación 2 independiente.

Se proporciona una turbina eólica que tiene un álabe de longitud variable, con el fin de cambiar el área barrida por la sección transversal del rotor y para regular la cantidad de energía interceptada del viento. En condiciones de poco viento, la longitud del álabe se extiende para proporcionar un rotor con un área de barrido máxima, de manera que puede extraerse la máxima cantidad de energía del viento. En condiciones de viento fuerte, el álabe se retrae para minimizar la carga aerodinámica y para mantener las cargas estructurales dentro de los criterios de diseño.

Además, se proporciona un procedimiento de control de una turbina eólica, en el que la energía generada por la turbina eólica es medida y usada para ajustar el diámetro del rotor de la turbina durante el funcionamiento de la turbina eólica. El ajuste del diámetro del rotor está basado en la medición de energía. Los cambios en la longitud del álabe son suficientemente lentos para que las turbulencias y las ráfagas no causen fatigas indebidas en el mecanismo de ajuste del diámetro del rotor.

El álabe de longitud variable incluye una parte interior y una parte exterior. La parte exterior es móvil longitudinalmente con relación a la parte interior. Conforme la parte exterior es movida longitudinalmente, se varía la longitud efectiva del álabe.

La manera de montar el álabe de longitud variable a una turbina eólica es idéntica a los procedimientos de uso actual con los álabes de longitud fija. Concretamente, la base del álabe está compuesta de una brida provista de orificios o pernos que coinciden con el cubo de una turbina eólica. Esta brida o estos pernos se atornillan al cubo de

la turbina eólica. El cubo soporta el peso del ábabe y transmite la energía rotacional y las cargas estructurales del ábabe al eje de accionamiento de la turbina eólica. Debido a que el montaje de un ábabe de longitud variable se lleva a cabo de la misma manera que un ábabe convencional, los ábabes de longitud variable pueden ser readaptados fácilmente a las turbinas eólicas existentes. El ábabe puede ser montado al cubo mediante un cojinete de orientación de ábabes de manera que pueda ajustarse el ángulo de incidencia de los ábabes. El ábabe funciona también con cojinetes de orientación de ábabes y rotores de paso variable.

Una turbina eólica típica tiene dos o tres ábabes. Para mantener el equilibrio, todos los ábabes en una turbina deberían ser ábabes de longitud variable. Si la longitud del ábabe es ajustada mientras la turbina eólica está funcionando, todos los ábabes deben ser movidos simultáneamente para mantener la masa equilibrada. Como una característica opcional, los ábabes podrían ser ajustables individualmente para permitir el equilibrado de masas del rotor en tiempo real. La longitud del ábabe se cambia mediante la activación de un mecanismo de accionamiento. El mecanismo de accionamiento puede ser activado manual o automáticamente. El mecanismo de accionamiento se activa en respuesta a la velocidad del viento y/o la salida del generador de la manera siguiente:

Durante períodos de poco viento, los ábabes se mueven a su posición más larga para proporcionar la mayor área de barrido posible. Esto maximiza la producción de energía. A medida que aumenta la velocidad del viento, la turbina producirá más energía. Cuando el nivel de producción de energía comienza a exceder la capacidad máxima de la turbina eólica, la longitud del ábabe puede ser reducida hasta que el área de barrido resultante y la producción de energía se encuentren dentro de los límites de seguridad para la turbina. Esto previene que la turbina eólica sea impulsada demasiado fuertemente en condiciones de viento fuerte. El movimiento longitudinal simple del ábabe puede conseguirse mientras el ábabe está girando mediante el uso de mecanismos de accionamiento y actuadores convencionales. Estos incluyen juntas rotativas, anillos colectores, cilindros hidráulicos, accionamientos por cable y accionamientos de tornillo, etc. Conforme la velocidad del viento sigue aumentando, el ábabe puede ser acortado adicionalmente, hasta alcanzar la posición más corta. Esta posición más corta permite que la turbina continúe funcionando durante los períodos de viento fuerte sin sobrecargar el tren de accionamiento u otros componentes.

Debido a que el ábabe puede ser ajustado de manera incremental, la longitud del ábabe puede ser configurada para maximizar la producción de energía en un amplio intervalo de velocidades de viento, mientras se previenen cargas excesivas sobre el tren de accionamiento de la turbina. Conforme las velocidades del viento se ralentizan a partir de una condición de alta velocidad, la salida de energía se reduce, y la longitud del ábabe puede ser aumentada para seguir produciendo la cantidad máxima de energía para la que están diseñados el tren de accionamiento y otros componentes. A velocidades bajas del viento, los ábabes se configuran de nuevo a su posición más larga para producir la máxima energía posible. Con poco viento, la salida de energía de los ábabes de longitud variable será mayor de la que sería producida por un ábabe convencional más corto. Debido al gran número de horas con vientos de menos de aproximadamente 24 km/h) (15 millas por hora) en la mayoría de las ubicaciones, el ábabe de longitud variable permanecerá en la posición más larga durante varios miles de horas al año. Esto aumenta la producción anual, mientras que la capacidad de acortar los ábabes cuando el viento sopla con fuerza evita daños en la turbina, que serían causados debido a los ábabes convencionales sobredimensionados. También, el acortamiento de los ábabes retrasa el frenado y la detención de la turbina debidas al fuerte viento hasta que los vientos son extremadamente fuertes, extendiendo de esta manera la cantidad total de tiempo durante la que se está produciendo energía.

Se proporcionan ábabes de turbina eólica de longitud ajustable que cambian directamente la cantidad de energía producida a una velocidad específica del viento. Esto permite que la turbina eólica produzca más energía de la que produciría con los ábabes convencionales.

Se proporciona un ábabe de turbina eólica de longitud ajustable cuya longitud puede ser cambiada con un mínimo de mano de obra, rápidamente, sin el uso de una grúa u otro equipo pesado a cualquier posición entre las configuraciones "más larga" y "más corta" de los ábabes, permitiendo muchos cambios de longitud en el curso de un día.

Se proporciona un ábabe de turbina eólica de longitud variable cuya longitud puede ser ajustada mientras la turbina está funcionando, eliminando la necesidad de realizar una parada para ajustar la longitud del ábabe.

Se proporciona un ábabe de turbina eólica de longitud variable que puede ser ajustado automáticamente para compensar cualquier combinación de entre los siguientes: velocidad del viento, salida de energía, tensión sobre los componentes mecánicos, temperatura, densidad del aire y cualquier otro factor que podrían ser compensados variando la longitud del ábabe. Esto permite una operación libre de problemas y la maximización de la disponibilidad de la turbina eólica.

- 5 Se proporciona un ábabe de turbina eólica de longitud variable que, mediante la reducción de las fuerzas que actúan sobre el tren de accionamiento, permite que la turbina produzca más energía durante el año sin aumentar el tamaño de los componentes principales, tales como la caja de engranajes y el generador. La producción de más energía con el tren de accionamiento del mismo tamaño reduce el coste de la producción de energía eléctrica.
- 10 Se proporciona un ábabe de turbina eólica de longitud variable que puede extender su longitud para producir más energía en condiciones de poco viento, aumentando de esta manera la salida de energía durante la mayor parte del tiempo del año.
- 15 Se proporciona un ábabe de turbina eólica de longitud variable que puede, en su posición más corta, funcionar con vientos más fuertes que una turbina equipada con álabes convencionales, mejorando de esta manera la producción de energía con vientos fuertes.
- 20 Se proporciona un ábabe de turbina eólica de longitud variable en el que la parte móvil del ábabe puede ser girada conforme es extendida para optimizar el ángulo de incidencia del ábabe, conforme cambia su longitud. Los ángulos de incidencia optimizados producen la máxima energía de un perfil aerodinámico.
- 25 Se proporciona un ábabe de turbina eólica de longitud variable que es compatible con la mayoría de las turbinas eólicas existentes, ya que usa hardware de montaje estándar, y puede ser adaptado para incorporar características tales como frenos aerodinámicos. De esta manera, el ábabe es compatible con las turbinas eólicas existentes de ángulo de incidencia fijo, de ángulo de incidencia variable y de velocidad variable, y es adecuado para su incorporación en diseños nuevos.
- 30 Se proporciona un ábabe de turbina eólica de longitud variable que, en su posición retraída, es más corto y, por lo tanto, más fácil de transportar que una pieza de ábabe más larga. El presente ábabe puede ser ensamblado completamente en su posición retraída y no requiere montaje en obra.
- 35 Se proporciona un ábabe de turbina eólica de longitud variable, construido de manera simple, por lo que es capaz de muchos ajustes de longitud con una necesidad mínima de mantenimiento.
- 40 Se proporciona un ábabe de turbina eólica de longitud variable que está construido a partir de más de dos partes aumentando la gama de posibles longitudes, aumentando de esta manera el beneficio descrito en los objetos anteriores.
- 45 Se proporciona un ábabe de turbina eólica de longitud variable que es compatible con los diseños de cubo convencionales, de manera que el ábabe puede ser adaptado a turbinas eólicas existentes.
- 50 Se proporciona un ábabe de turbina eólica de longitud variable que es compatible con diversos tipos de turbinas. Se pretende que los álabes puedan ser usados en turbinas de parada controlada, turbinas de ángulo de incidencia controlado y turbinas de velocidad variable. Los álabes de longitud variable pueden incorporar también frenos aerodinámicos.
- 50 Los objetos y ventajas de la invención, indicados anteriormente, se comprenderán más completamente a partir de la descripción detallada siguiente de la invención y los dibujos adjuntos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- 55 La Figura 1 muestra una turbina eólica con álabes de longitud variable en su posición extendida.
La Figura 2 muestra una turbina eólica con álabes de longitud variable en su posición retraída.
La Figura 3 es una vista en corte parcial de un ábabe de longitud variable.
La Figura 4 es una vista en corte parcial de un ábabe de longitud variable con un segundo ejemplo del sistema de accionamiento del ábabe móvil.
La Figura 5 es una vista en sección tomada a lo largo de las líneas 5-5 en la Figura 3.
La Figura 6 es una vista esquemática de un segundo ejemplo de un ábabe de longitud variable.
60 La Figura 7 es una vista esquemática de un tercer ejemplo de un ábabe de longitud variable.
La Figura 8 es una vista esquemática de un cuarto ejemplo de un ábabe de longitud variable.

La Figura 9 es una vista esquemática de un quinto ejemplo de un álabe de longitud variable.

La Figura 10 muestra un diagrama de bloques de un circuito de control y de potencia para el actuador del álabe de longitud variable.

La Figura 11 es un gráfico que muestra un posible algoritmo de control para su uso con el álabe de longitud variable.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

El álabe de rotor de longitud variable se describe en la presente memoria para su uso con una turbina 2 eólica de producción de electricidad, tal como se muestra en la Figura 1. La turbina 2 eólica consiste en una base 4, una torre 6, una góndola 8 y un número de álabes 10 de longitud variable. Típicamente, hay dos o tres álabes 10 en una turbina 2 eólica productora de electricidad. Los álabes 10 están fijados a un cubo 12 mediante una brida 14 con pernos. De manera alternativa, los álabes 10 pueden incorporar pernos que se incrustan en la estructura del álabe y se atornillan al cubo 12. La brida 14 con pernos en la mayoría de las turbinas 2 eólicas es una de entre diversos tamaños estándar, de manera que la readaptación de las turbinas 2 eólicas existentes con nuevos álabes 10 es relativamente simple. La patente US N° 4.915.590, cuyas enseñanzas describen diversos tipos de conexiones álabe-cubo.

Los álabes 10 de longitud variable consisten en dos partes. Hay una sección 16 fija del álabe, que está fijada firmemente al cubo 12, y una sección 18 móvil del álabe, que puede ser extendida o retraída. La sección 18 móvil del álabe se muestra en la Figura 1 en una posición extendida y se muestra en la Figura 2 en una posición retraída. Conforme se extienden los álabes, aumenta el diámetro efectivo del rotor de la turbina eólica. Conforme se retraen los álabes, el diámetro disminuye. La producción de energía es proporcional al diámetro del rotor elevado al cuadrado, de manera que un pequeño cambio en el diámetro del rotor puede proporcionar un cambio relativamente grande en la salida de energía. Además, muchas de las cargas estructurales son proporcionales al diámetro del rotor elevado a la quinta potencia (si la velocidad de rotación permanece constante conforme aumenta el diámetro del álabe) de manera que es posible una reducción dramática de las cargas cuando se retraen los álabes.

La Figura 3 es una vista del álabe 10 de longitud variable, que muestra todos los componentes principales del sistema de extensión y retracción del álabe. La brida 14 con pernos está en la base de la sección 16 fija del álabe y un nervio estructural anti-cizallamiento o larguero 20 se extiende hacia abajo a lo largo de la longitud de la sección 16 fija del álabe. El larguero 20 se muestra posicionado cerca del borde de ataque del álabe. Es típico que el larguero esté más cerca del 40% de la ubicación de la cuerda, pero la ubicación del larguero debe dejar una holgura para la parte 18 de álabe extensible. Se requiere un análisis de diseño detallado para determinar la mejor ubicación y el tamaño necesario del larguero 20. Una persona con conocimientos ordinarios en la materia es capaz de diseñar un álabe con un larguero situado en la parte delantera de la cuerda del álabe para permitir una holgura para el mecanismo de álabe telescópico.

Se contempla que el álabe 10, incluyendo la parte 16 fija y la parte 18 móvil, esté realizado en materiales de fibra de vidrio convencionales. Sin embargo, pueden estar realizados en un material compuesto de carbono, material compuesto de fibra de vidrio y madera laminado, metal o cualquier otro material adecuado. Aparte de la readaptación del larguero 20 en la parte 16 fija del álabe, el diseño de los álabes es similar al de los álabes convencionales en la mayoría de los aspectos. El álabe 10 está conformado como un perfil aerodinámico. El tipo de perfil aerodinámico seleccionado es una cuestión de elección de diseño y una persona con conocimientos ordinarios en la materia sería capaz de seleccionar un perfil aerodinámico adecuado. El perfil aerodinámico preferido se selecciona de entre la familia de perfiles aerodinámicos para turbinas eólicas desarrollados por el National Renewable Energy Laboratory y descritos en las patentes US N° 6.068.446, 5.562.420 y 5.417.548. Los álabes 10 pueden presentar una torsión y un ahusamiento o pueden ser estructuras simples con secciones transversales constantes a lo largo de su longitud.

Una de las cuestiones que presenta el álabe de longitud variable a los diseñadores de álabes es el de la dinámica estructural. Un álabe de turbina eólica tiene ciertas formas con frecuencias y modos naturales característicos que pueden ser excitados por fuerzas mecánicas o aerodinámicas. Los diseñadores de álabes tienen mucho cuidado al adaptar la rigidez y la masa del álabe de manera que sea dinámicamente estable durante el funcionamiento. El álabe de longitud variable presenta desafíos adicionales debido a la rigidez y los cambios de distribución de masas conforme la parte 18 móvil del álabe es desplazada dentro y fuera de la parte 16 fija del álabe. Sin embargo, un diseñador de álabes de turbina eólica con conocimientos ordinarios en la materia sería capaz de abordar con éxito estas cuestiones en el diseño del álabe, siempre que se tengan en consideración. Las cuestiones dinámicas estructurales son particularmente importantes si el álabe de longitud variable debe ser usado en una turbina eólica de velocidad variable. La cuestión de las consideraciones dinámicas estructurales en un álabe telescópico para aeronaves se aborda en la patente US N° 5.636.969. Puede encontrarse información adicional sobre el diseño del álabe para aplicaciones de turbinas eólicas en diversos libros de texto incluyendo "Wind Turbine Engineering

Design”, escrito por Eggleston y Stoddard y publicado por Van Nostrand Reinhold en 1987, “Windturbines”, escrito por Hau y publicado por Springer en 2000, “Wind Turbine Technology”, editado por Spera y publicado por ASME Press en 1994, y “Wind Energy Conversion Systems”, escrito por Freris y publicado por Prentice Hall en 1990.

5 El movimiento de la sección 18 móvil del álabe es guiado dentro de la sección 16 fija del álabe por una guía 30 de
 álabe lineal. La guía 30 de álabe lineal puede ser relativamente compleja o puede ser bastante simple. Se prefiere
 la simplicidad en el diseño en la medida en que reduce los costos y los requisitos de mantenimiento. En el ejemplo,
 la guía de álabe lineal es simplemente una conexión deslizante. Hay un par de carriles 50 de deslizamiento
 10 montados en la parte 16 fija del álabe 10. Un par de correderas 52 de acoplamiento están fijadas a la parte 18 móvil
 del álabe 10. Las correderas 52 son guiadas dentro de los carriles de deslizamiento y restringen el movimiento de la
 parte 18 móvil del álabe en cualquier dirección diferente a la dirección longitudinal. Preferiblemente, los carriles 50
 de deslizamiento y las correderas 52 están realizados en acero, aunque puede usarse cualquier material que pueda
 15 soportar las fuerzas impuestas por las secciones de álabe. Preferiblemente, los carriles 50 de deslizamiento y las
 correderas 52 tienen un contacto de baja fricción entre los mismos. Es probable que el desgaste sea un problema
 importante con el álabe de longitud variable y el diseñador debería tener cuidado de diseñar los carriles 50 de
 deslizamiento y las correderas 52 de manera que requieran muy poco mantenimiento. El diseñador debería tener
 cuidado también de que las correderas 52 no se agarroten conforme el álabe 10 flexiona bajo una carga
 aerodinámica. Es de esperar que el agarrotamiento no sea un tema crítico, pero debería ser considerado en el
 20 diseño de los álabes. Las opciones alternativas para reemplazar los carriles 50 de deslizamiento y las correderas 52
 podrían incluir cojinetes lineales, pastillas de baja fricción, secciones conformadas realizadas en plástico, aluminio
 u otros materiales, o un simple anidamiento de la sección 18 móvil del álabe a la sección 16 fija del álabe.

La sección 18 móvil del álabe es desplazada por un dispositivo 21 de accionamiento. El recorrido del
 desplazamiento lineal de la parte móvil del álabe está comprendido entre una posición completamente retraída y
 25 una posición completamente extendida. En la posición completamente retraída, la punta de la sección 18 móvil del
 álabe está expuesta sólo mínimamente o no está expuesta en absoluto. En la posición completamente retraída, la
 base de la sección 18 móvil del álabe está en una posición profunda dentro de la sección 16 fija del álabe, pero no
 interfiere con ninguno de los otros componentes del sistema, tales como el actuador 21 lineal. En la posición
 completamente extendida, la base de la sección 18 móvil del álabe se extiende al punto más lejano en el que la
 30 sección 18 móvil del álabe recibe un soporte estructural adecuado de la sección 16 fija del álabe. El dispositivo 21
 de accionamiento mostrado aquí como parte del ejemplo tiene forma de una varilla 22 roscada y un motor 23 que
 hace girar la varilla 22 roscada. La varilla roscada está soportada por cojinetes 24 que están fijados a la parte 16
 fija del álabe. Un conjunto de tuercas 25 apiladas están fijadas a la parte 18 móvil del álabe y en acoplamiento con
 la varilla 22 roscada de manera que extienden y retraen la parte 18 móvil del álabe conforme el motor 23 hace girar
 35 la varilla 22 roscada. El dispositivo 21 de accionamiento lineal debe ser capaz de posicionar la sección 18 móvil del
 álabe en cualquier lugar en todo el recorrido desde la posición completamente extendida a la posición
 completamente retraída.

En caso de pérdida de energía de la red, sería deseable poder retraer los álabes para ayudar al frenado. En este
 40 caso, no habrá energía disponible para hacer funcionar el dispositivo 21 de accionamiento. Por lo tanto, es
 preferible que se proporcione una batería 40 en el rotor para proporcionar energía de reserva de emergencia para el
 dispositivo 21 de accionamiento. Puede proporcionarse una única batería 40 en el cubo 12 para proporcionar
 energía de reserva para los dispositivos 21 de accionamiento en todos los álabes 10.

45 La Figura 4 muestra un segundo ejemplo para el dispositivo de accionamiento. En este ejemplo, el dispositivo 21 de
 accionamiento consiste en un cabrestante 26 con un cable 27 que es controlado por el cabrestante 26. El cable 27
 se enrolla con dos pasadas en el cabrestante 26, de manera que el cabrestante 26 tira de un extremo del cable 27,
 mientras que el otro extremo se deja libre. El cable 27 está soportado y guiado en el extremo exterior de la sección
 16 fija del álabe por una polea 28. Hay un bloque 29 de retención fijado a la parte 18 móvil del álabe y el bloque 29
 50 de retención agarra el cable 27 de manera que la parte 18 móvil del álabe es desplazada longitudinalmente cuando
 el cabrestante 26 avanza o retrae el cable 27.

Otros ejemplos posibles del dispositivo 21 de accionamiento incluyen un cilindro hidráulico, un motor fijado a la
 sección 18 móvil del álabe con dientes que se acoplan a un carril en la sección 16 fija del álabe, u otras técnicas
 55 adecuadas para proporcionar un movimiento lineal a la parte 18 móvil del álabe. Una persona con conocimientos
 ordinarios en la materia reconocerá que hay muchos mecanismos de accionamiento diferentes posibles, y se
 pretende que cualquier mecanismo adecuado esté incluido en el alcance de la presente invención. Un
 procedimiento para su uso en una turbina eólica de dos álabes sería el uso de un sistema de cremallera y piñón con
 una cremallera fijada a cada una de las partes 18 móviles del álabe y el piñón situado en el cubo 12. Esto limitaría
 60 mecánicamente los álabes para extenderse y retraerse a la misma velocidad y eliminaría la necesidad de un control
 electrónico para mantener una longitud igual de los álabes 10.

Es importante que la totalidad de las tres partes 19 móviles de álabe se extiendan y retraigan al mismo tiempo y en la misma cantidad de manera que los álabes permanezcan equilibrados, tanto en términos de equilibrio dinámico de masas como en términos de equilibrio aerodinámico. En el ejemplo, un controlador automático supervisa las posiciones de los álabes y garantiza que se extienden por igual. Sin embargo, en un ejemplo alternativo, podría ser deseable proporcionar una extensión y retracción separadas e individuales para cada una de las partes 18 móviles de álabe. De esta manera, sería posible corregir las desigualdades en el equilibrio de masas y aerodinámico de los álabes y las cargas sobre el rotor pueden mantenerse en equilibrio. En este ejemplo alternativo, sería necesario proporcionar un acelerómetro, galgas extensométricas o algún otro sensor para supervisar el equilibrio de las fuerzas sobre el rotor. La extensión de cada una de las partes 18 móviles de álabe podría ser ajustable individualmente en respuesta al equilibrio de cargas medido en el rotor con el fin de equilibrar mejor las cargas aerodinámicas y mecánicas. Puede encontrarse información acerca del equilibrio de los álabes en las patentes N° 5.219.454 y 5.219.454. Al extender y retraer de manera individual las partes 18 móviles de álabe, sería posible ajustar de manera continua el equilibrio del rotor en tiempo real.

En un ejemplo alternativo, los carriles 50 de deslizamiento y las correderas 52 podrían formarse en una forma espiral, de manera que tengan una pequeña cantidad de torsión. En este ejemplo, la parte móvil del álabe 18 se hace girar, o se inclina, conforme se extiende y se retrae. Esto permite que toda la longitud del álabe 10 sea retorcido y permite que el ángulo de incidencia del álabe sea variado a lo largo de la longitud del álabe. Pueden realizarse mejoras de rendimiento adicionales mediante la formación de canales 50 de deslizamiento y correderas 52 en esta configuración. Sin embargo, aumenta también la complejidad de la fabricación del dispositivo.

La Figura 5 muestra una vista en sección transversal del álabe 10 de longitud variable a lo largo de las líneas 5-5 en la Figura 3. La sección 18 móvil está anidada dentro de la sección 16 fija y ambas tienen una forma aerodinámica. La sección 18 móvil es suficientemente menor que la sección 16 fija para dejar espacio para el larguero 20. La sección 18 móvil del álabe incluye también un larguero 31 que debe estar dimensionado y separado apropiadamente para dejar una holgura para la varilla 22 roscada. La estructura 30 de soporte lineal se muestra claramente aquí en la forma de superficies 50 y 52 de acoplamiento lubricadas. El componente 50 es un carril de deslizamiento que está fijado a la parte 16 fija del álabe y el componente 52 es una corredera que está fijada a la parte 18 móvil del álabe. La forma exacta del carril 50 de deslizamiento y la corredera 52 pueden ser modificadas. También es concebible que el sistema podría emplear una sección 18 móvil con un mecanismo de freno aerodinámico, aunque la necesidad de frenos aerodinámicos se reduce drásticamente mediante la acción de los álabes 10 retráctiles. Si se usa un freno aerodinámico, sería necesario pasar los cables de control al extremo exterior de la sección 18 móvil del álabe. Una persona con conocimientos ordinarios en la materia sería capaz de diseñar una guía de cables de control adecuada.

En las Figuras 6 a 9 se muestran esquemáticamente varios ejemplos alternativos.

La Figura 6 muestra un ejemplo en el que la sección 18 móvil del álabe es mayor que la parte 16 fija del álabe y se mueve de manera telescópica sobre la parte exterior de la parte 16 fija del álabe.

La Figura 7 muestra un ejemplo en el que la parte 16 fija del álabe es un larguero de soporte estructural que puede tener o no una forma aerodinámica. Esto es similar al dispositivo descrito en la patente US N° 3.768.923 y las patentes subsiguientes que describen rotores para aeronaves con diámetro variable.

La Figura 8 muestra un álabe en el que tanto la parte 16 fija del álabe como la parte 18 móvil del álabe tienen una sección transversal constante (no inclinada y no ahusada) a lo largo de la mayor parte de su longitud. Esto simplifica la fabricación de álabes, aunque disminuye algo el rendimiento del rotor. Es probable que la mejora del rendimiento del rotor debida a los álabes telescópicos supere con creces la ventaja debida a la torsión y al ahusamiento. Con la mejora del rendimiento debida los álabes telescópicos, la simplicidad de fabricación de los álabes de sección transversal constante podría ser muy atractiva.

La Figura 9 muestra un álabe con dos secciones 18 móviles de álabe, etiquetadas como 18 y 18' en el dibujo. Este ejemplo aumenta la complejidad del álabe de longitud variable, pero permite un grado de variación considerablemente mayor en el diámetro del rotor. La mayor variación en el diámetro del rotor podría proporcionar, posiblemente, una mejora de producción de energía suficiente y una atenuación en la carga suficiente para justificar la complejidad añadida. En este ejemplo, el actuador 21 tendría que mover la segunda parte 18' móvil del álabe una distancia tan grande como el doble de la primera sección 18 móvil del álabe. El ejemplo mostrado en la Figura 9 podría configurarse con las tres secciones 16, 18 y 18' de álabe anidadas una dentro de la otra, tal como se muestra, o podría configurarse de manera que la sección 18 móvil sea más grande que la sección 16 fija y se mueva de manera telescópica en el exterior de la sección 16 fija. En ese caso, la segunda parte 18' móvil del álabe

sería incluso más grande todavía y se movería, de manera telescópica, en el exterior de la primera sección 18 móvil del álabe.

5 La Figura 10 muestra un diagrama de bloques de un posible ejemplo de un controlador para el álabe de longitud variable. El dispositivo 21 de accionamiento es alimentado y controlado por un circuito 32 de control de posición. El
 10 circuito de control de posición recibe datos y alimentación desde los componentes en la góndola 8 u otra parte estacionaria de la turbina 2 eólica, tal como un controlador lógico programable, un generador, un anemómetro, etc. La energía y los datos son transferidos al circuito 32 de control de posición desde la góndola 8 estacionaria al rotor de la turbina eólica a través de un conjunto de anillos colectores, a continuación, a lo largo de cables de
 15 alimentación y de datos. El circuito 32 de control de posición recibe también datos desde un sensor 34 en el interior del álabe 10, que detecta la posición lineal de la sección 18 móvil del álabe. Estos datos podrían provenir de una diversidad de tipos de sensores 34 de posición lineal. Podrían colocarse una pluralidad de sensores de proximidad a lo largo de la longitud de la sección 16 fija del álabe, un transformador diferencial variable lineal (LVDT) podría convertir directamente la posición del álabe, podría incorporarse un sensor de posición en el actuador 21 lineal. En el ejemplo, se coloca un sensor 32 de rotación en el eje de la varilla 22 roscada para detectar la posición lineal.

20 Puede haber un circuito 32 de control de posición por cada álabe 10, en cuyo caso el circuito 32 de control de posición estaría en comunicación con los otros circuitos 32 de control de posición con el fin de mantener la misma longitud para los álabes 10 o, de manera alternativa, podría usarse un circuito 32 de control de posición para todos los álabes 10 en la turbina eólica. Cabe señalar que la totalidad o parte del circuito 32 de control de posición y sus funciones pueden estar situados de manera remota con respecto al álabe 10 o integrados como parte del controlador principal de la turbina eólica. El circuito 32 de control de la posición puede comunicarse también con el controlador de ángulo de incidencia si la turbina es una máquina de ángulo de incidencia variable, o con el regulador de velocidad si se trata de una turbina de velocidad variable.

25 En caso de un corte de energía, sería deseable que los álabes 10 se movieran a la posición totalmente retraída. Con el fin de alimentar el dispositivo 21 de accionamiento, hay provista una batería 40 para suministrar energía de reserva. El circuito 32 de control de posición debería contener un circuito para detectar el corte de energía, conmutar al suministro desde la batería 40 y retraer las secciones 18 móviles de álabe. Además, el circuito 32 de
 30 control de posición debería contener un circuito para cargar la batería 40, una vez restablecida la alimentación al sistema.

35 El circuito 32 de control de posición comparte datos apropiados con los datos de turbina relevantes y los componentes 36 de control de la turbina eólica, que pueden incluir un controlador lógico programable (PLC) u otro controlador, un sistema de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA) y/u otros dispositivos. Si la turbina funciona a velocidad variable, entonces el circuito 32 de control debería comunicarse ciertamente con el controlador de velocidad de la turbina para mantener la velocidad de punta apropiada para los álabes. Conforme aumenta la velocidad de rotación de la turbina, la longitud del álabe debería ser retraída a fin de mantener una relación de velocidad de punta constante. Si una ráfaga de viento aumenta más rápido que el tiempo de respuesta del
 40 controlador de velocidad de la turbina, sería posible aumentar el diámetro del rotor mientras se aumenta la velocidad de rotación con el fin de aumentar la velocidad de punta de la turbina a la misma velocidad a la que aumenta la velocidad del viento.

45 El circuito 32 de control de posición transmite información acerca de la posición del álabe 10, el voltaje de la batería 40 y cualquier otro dato relevante. El circuito 32 de control de posición puede recibir información tal como la salida de energía de la turbina, la velocidad del viento, la disponibilidad de la red u otros datos. El circuito 32 de control de posición recibe energía desde una fuente de alimentación 38 de CA que sería suministrada desde el panel de control principal de la turbina. Puede haber un circuito para modificar el voltaje y/o rectificar la alimentación de CA como parte del circuito 32 de control de posición debido a que el actuador 21 lineal funciona preferiblemente a 12 V
 50 DC. El circuito 32 de control de posición acciona el actuador 21 lineal y recibe datos desde el sensor 34 de posición lineal, controlando y detectando, de esta manera, la posición detectada de la sección 18 móvil del álabe.

55 Hay muchos algoritmos de control que pueden emplearse para determinar la longitud del álabe 10 en un momento determinado. Además, el álabe 10 de turbina eólica de longitud variable es adaptable a una amplia gama de posibles algoritmos. Muchas de las decisiones que determinan qué algoritmo de control debería ser usado implican consideraciones que son específicas del sitio y de la turbina eólica. De esta manera, debería permitirse que una persona con conocimientos en la materia programara un algoritmo de control para el propósito específico para el cual está destinado el álabe 10. Por ejemplo, el algoritmo de control para una turbina eólica de ángulo de incidencia variable sería considerablemente diferente al de una turbina de para controlada. Aquí, se presenta a modo de
 60 ejemplo un algoritmo de control simple de muestra, pero podría ser sustituido por cualquier algoritmo de control usado para manipular un álabe 10 de turbina eólica de diámetro variable. Una persona con conocimientos

ordinarios en la materia sería capaz de idear un algoritmo de control apropiado.

5 Un posible algoritmo de control se muestra gráficamente en la Figura 11. El circuito 32 de control de posición
ajustaría la sección 18 móvil del álabe según la salida de energía producida por la turbina eólica. A bajos niveles de
producción de energía, el álabe 10 estaría en su posición más larga. Una vez que la producción de energía
aumenta a un primer punto de referencia (80% de la energía nominal, tal como se muestra en la Figura 11), la
longitud del álabe disminuiría progresivamente conforme aumenta la salida de energía hasta que la producción de
energía alcanza un segundo punto de referencia (100% de la energía nominal, tal como se muestra en la Figura
10 11), en cuyo punto el álabe estaría en su configuración más corta. El álabe permanecería en su configuración más
corta si la salida de energía aumenta por encima de la capacidad del 100%, en cuyo punto la turbina eólica
posiblemente estaría experimentando un procedimiento de frenado. Conforme disminuye la salida de energía, la
longitud del álabe simplemente sigue la inversa del algoritmo anterior, a menos que la disminución de la salida de
energía sea debida al frenado o una condición de fallo. Cabe señalar que la tasa de cambio de la longitud del álabe
debería mantenerse suficientemente lenta, de manera que la turbulencia y las ráfagas no causen un esfuerzo
15 excesivo del actuador 21 y debería ser suficientemente rápida para proteger la turbina eólica cuando la velocidad
del viento aumenta rápidamente en condiciones de viento turbulento.

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica que comprende:

5 un rotor con una pluralidad de álabes que giran alrededor de un eje sustancialmente horizontal, en el que dicho rotor tiene un diámetro definido por el área barrida por dichos álabes;
un mecanismo para variar el diámetro de dicho rotor por medio de un cambio de la longitud de los álabes; y
un controlador para controlar el mecanismo que varía el diámetro de dicho rotor, en el que dicho controlador supervisa la salida de energía de dicha turbina eólica y en el que dicho controlador disminuye el diámetro de
10 dicho rotor cuando la salida de energía supera un primer nivel predeterminado y aumenta el diámetro de dicho rotor cuando la salida de energía es inferior a un segundo nivel predeterminado, en el que los cambios correspondientes en la longitud del álabe son suficientemente lentos como para evitar una fatiga indebida del mecanismo de variación en condiciones de viento variable.

15 2. Un procedimiento de control de una turbina eólica según se define en la reivindicación 1, que comprende las etapas de:

proporcionar un rotor con una pluralidad de álabes y un diámetro definido por el área barrida por dichos álabes;
20 proporcionar un mecanismo para ajustar el diámetro de dicho rotor por medio de un cambio de la longitud de los álabes; y
medir la energía generada por dicha turbina eólica; y
ajustar el diámetro de dicho rotor durante el funcionamiento de dicha turbina eólica en base a dicha medición de energía, en el que los cambios correspondientes de la longitud del álabe son suficientemente lentos de
25 manera que las turbulencias y las ráfagas no causen una fatiga indebida del mecanismo para ajustar el diámetro de dicho rotor.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que la etapa de ajustar el diámetro de dicho rotor comprende seguir una estrategia de control que incluye tres regiones de funcionamiento en las que la primera región está
30 definida porque la energía generada por dicha turbina eólica es inferior a un primer nivel predeterminado y el diámetro de dicho rotor es máximo, la segunda región está definida porque la energía generada por dicha turbina eólica está entre comprendida entre un primer nivel predeterminado y un segundo nivel predeterminado y el diámetro de dicho rotor varía como una función de dicha medición de energía, y la tercera región está definida porque la energía generada por dicha turbina eólica es superior a dicho segundo nivel predeterminado y el diámetro
35 de dicho rotor es mínimo.

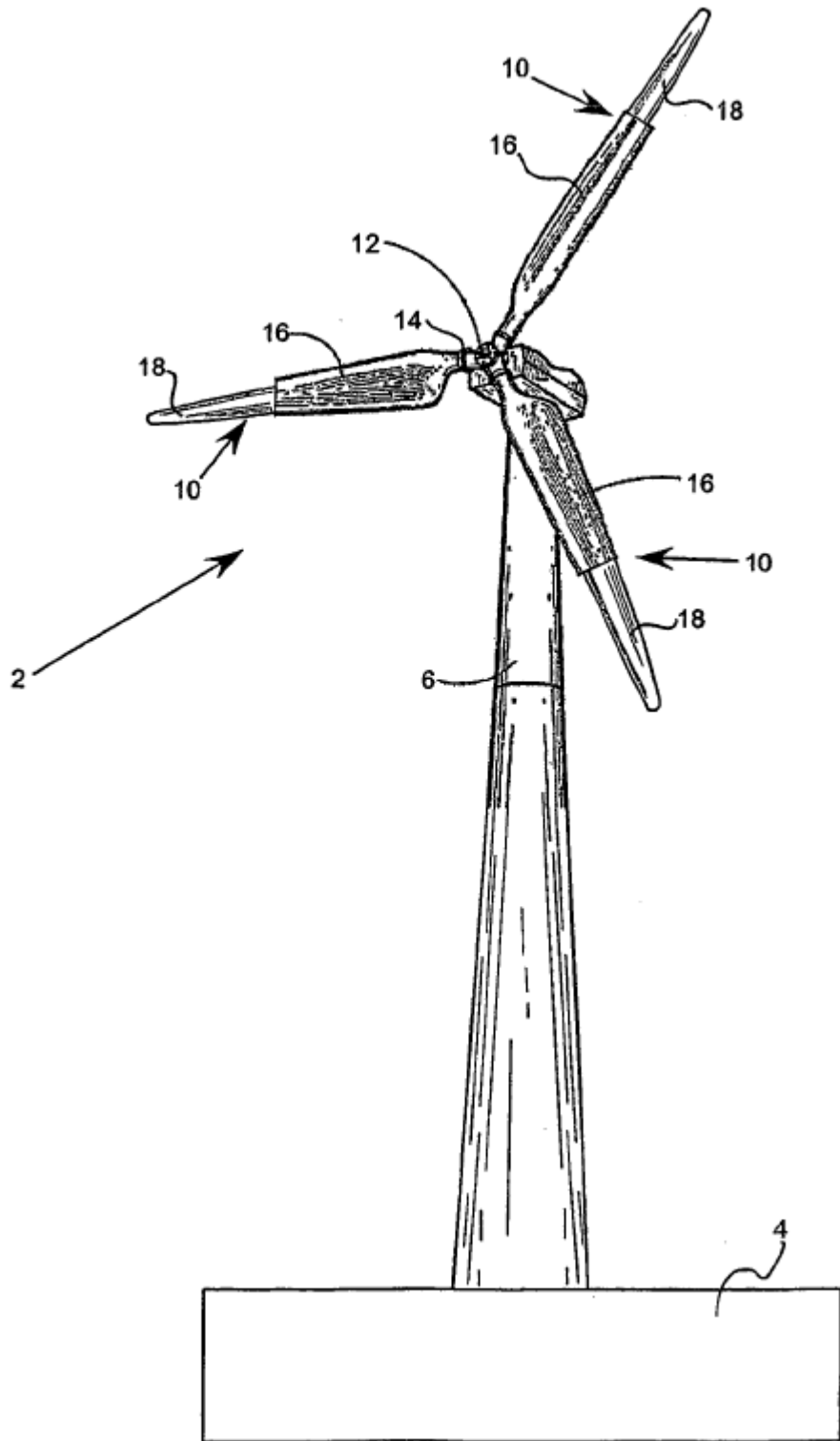


Figura 1

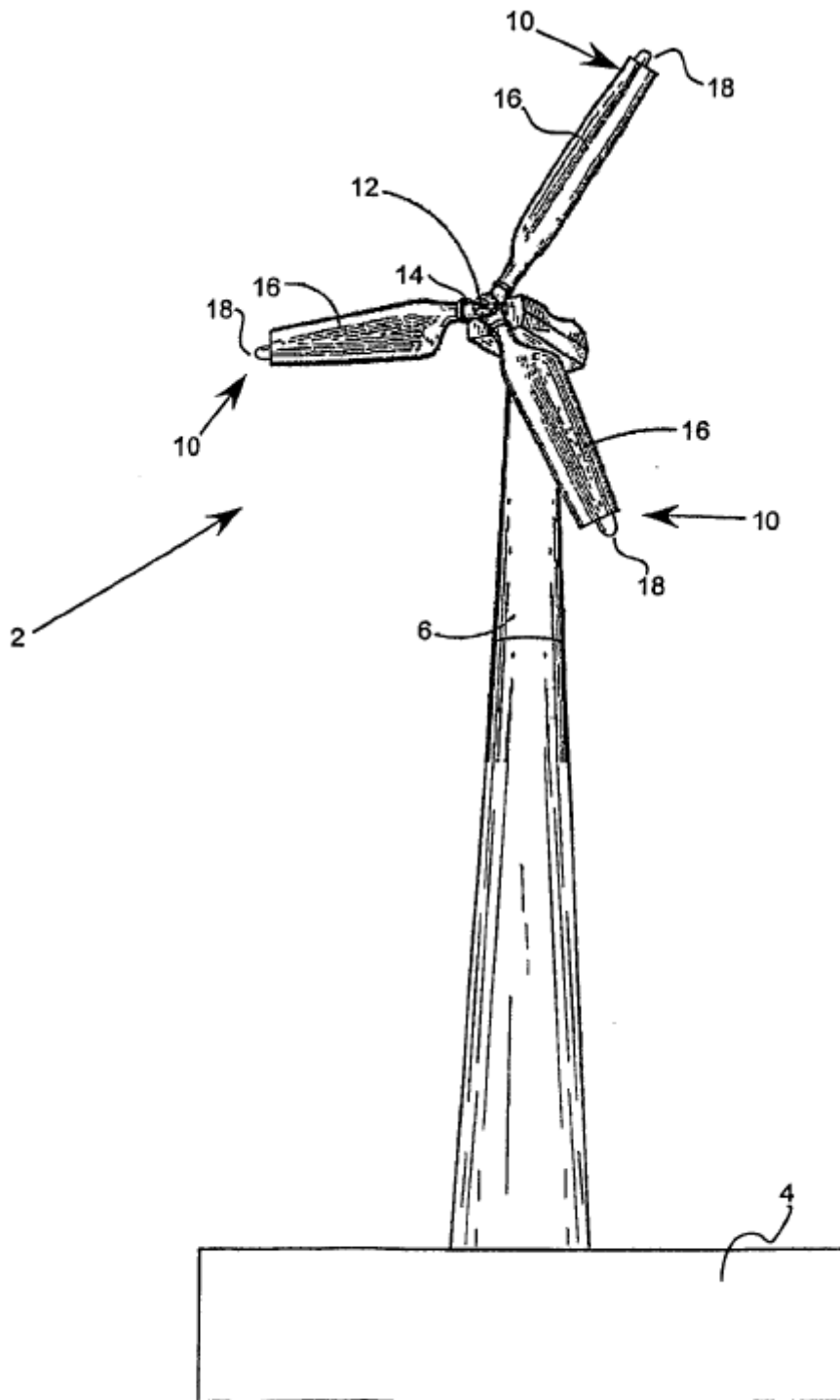


Figura 2

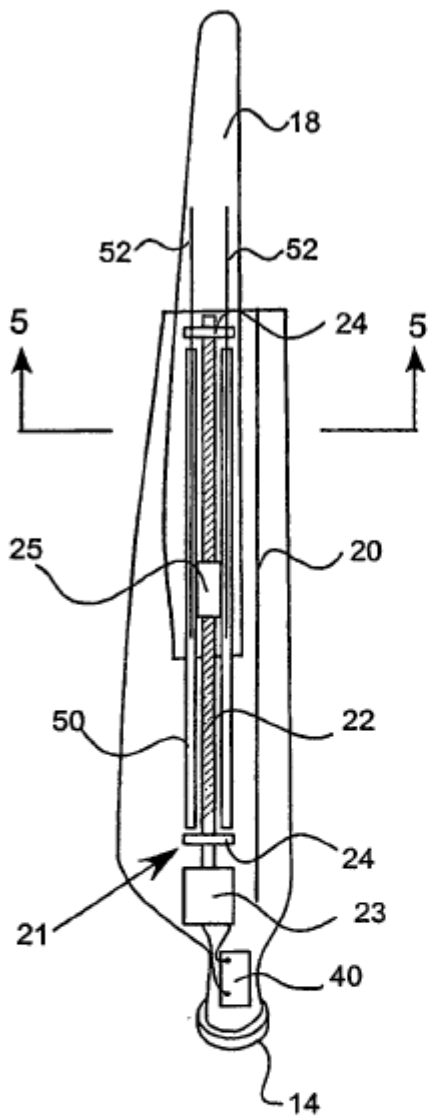


Figura 3

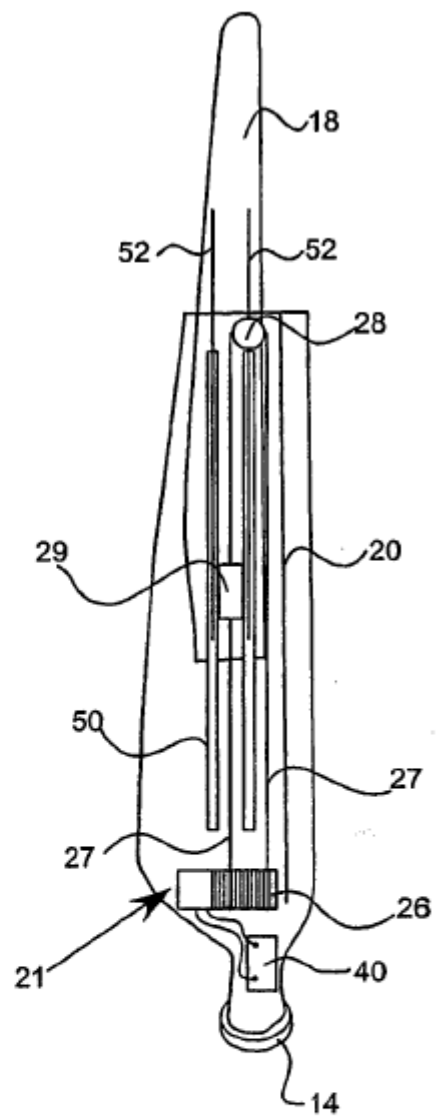


Figura 4

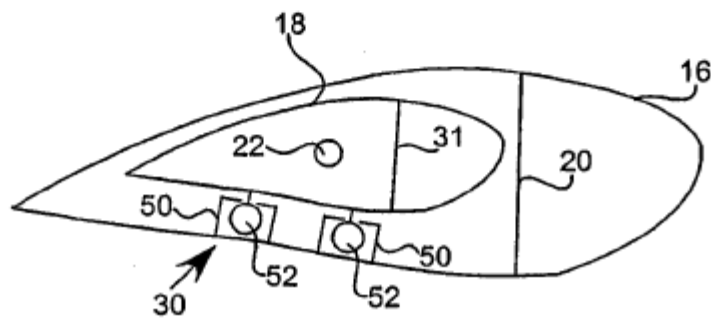


Figura 5

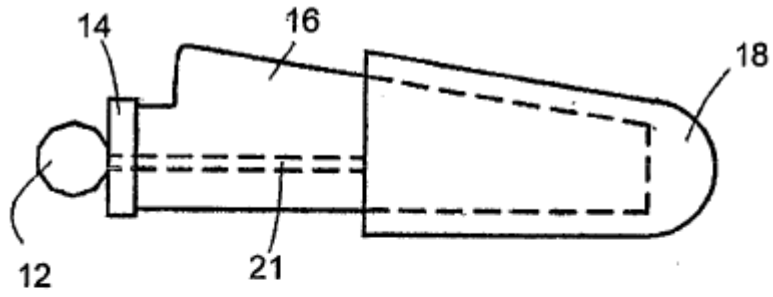


Figura 6

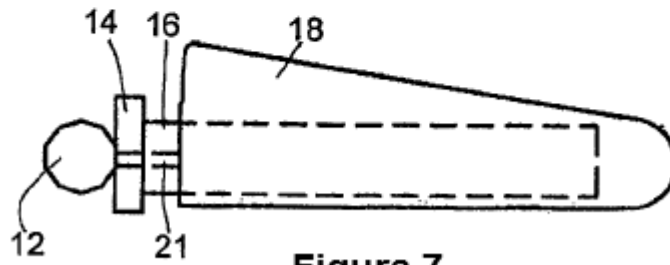


Figura 7

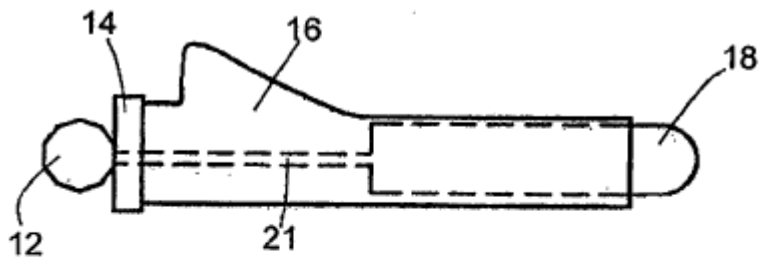


Figura 8

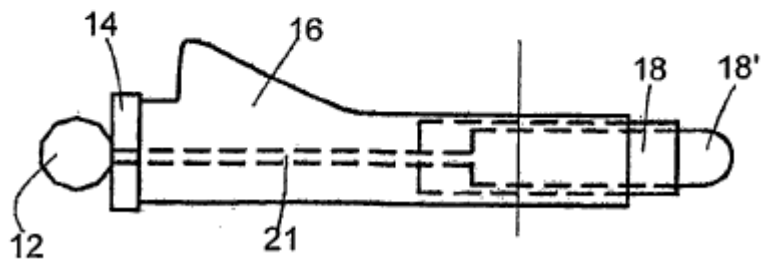


Figura 9

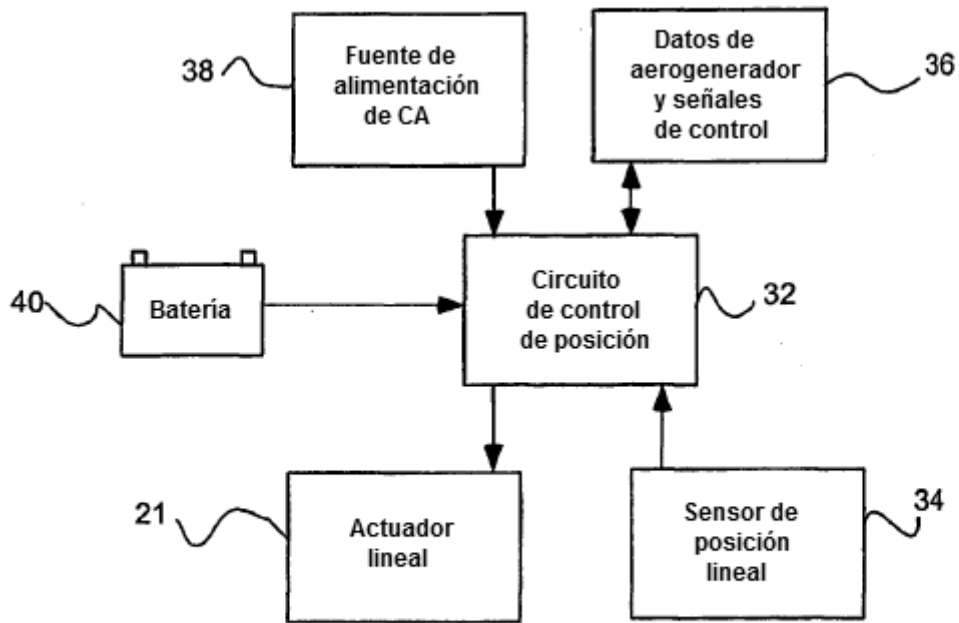


Figura 10

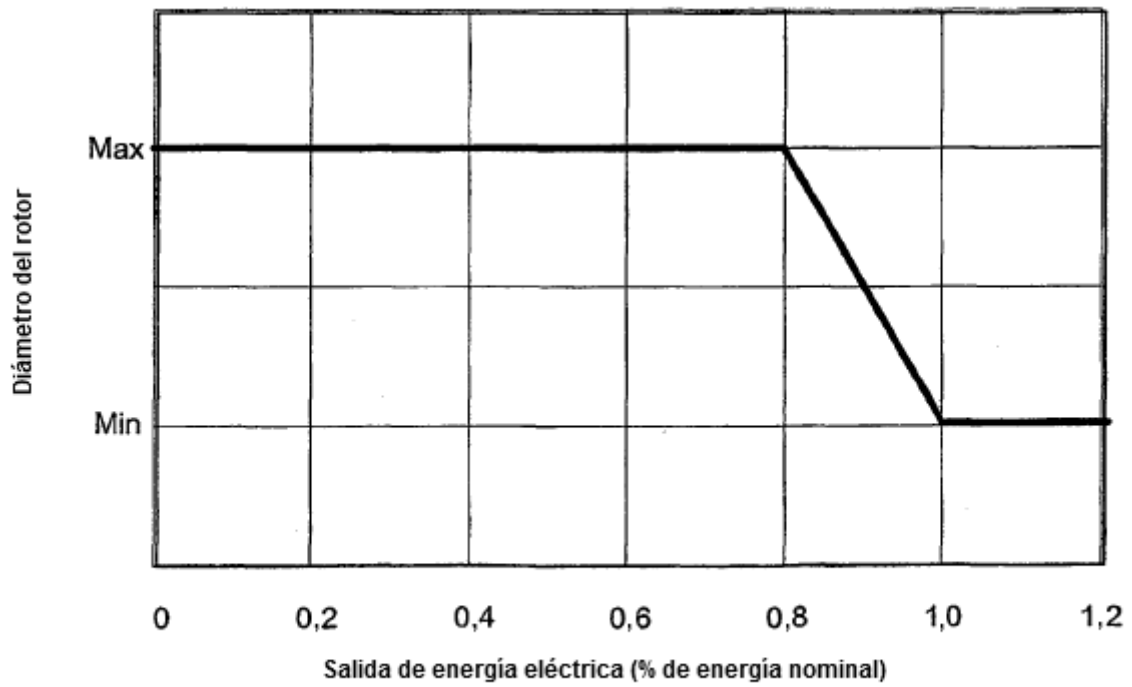


Figura 11