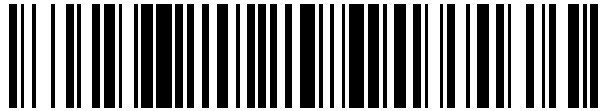


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 600 861**

21 Número de solicitud: 201500494

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

03.07.2015

43 Fecha de publicación de la solicitud:

13.02.2017

Fecha de concesión:

14.11.2017

45 Fecha de publicación de la concesión:

21.11.2017

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2016/000073

73 Titular/es:

**GAMESA INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L.
(100.0%)**

**Parque Tecnológico de Zamudio, Edificio 100
48170 Zamudio (Bizkaia) ES**

72 Inventor/es:

**VITAL AMUCHASTEGUI , Pablo ;
HERNANDEZ MASCARRELL , Octavio ;
MORENO ROBLES , Alberto ;
PIZARRO DE LA FUENTE , Carlos y
SUAREZ AIZPUN , Jaime**

54 Título: **Sistema de control para detectar y evitar situaciones de desalineamiento en aerogeneradores**

57 Resumen:

Sistema de control para detectar y evitar situaciones de desalineamiento en aerogeneradores que comprende una unidad de adquisición (8) de parámetros que relacionan la dirección del viento con la desviación de la góndola del aerogenerador, una unidad de cálculo (9) de la función de eficiencia del aerogenerador y una unidad de comparación (10) de desviación de la góndola (4) y que mediante un algoritmo orienta progresivamente la góndola (4) del aerogenerador (1) hacia posiciones que maximizan la función de eficiencia.

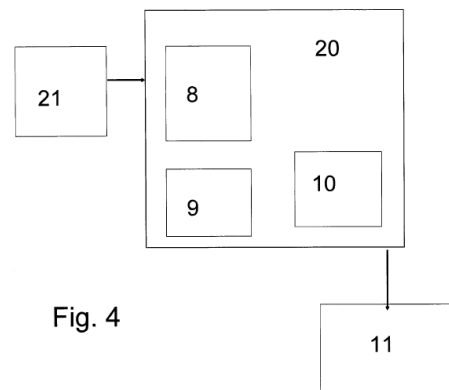


Fig. 4

ES 2 600 861 B1

DESCRIPCIÓN

SISTEMA DE CONTROL PARA DETECTAR Y EVITAR SITUACIONES DE DESALINEAMIENTO EN AEROGENERADORES

Objeto de la invención.

5

La presente invención se refiere a un sistema de control para detectar y prevenir situaciones de desalineamiento en aerogeneradores, del tipo que emplea algoritmos basados en variables operacionales para minimizar las pérdidas de producción de energía anual (AEP) del aerogenerador.

10

Antecedentes de la invención.

15

Los aerogeneradores constan de una torre fija que eleva sobre el suelo una góndola que porta un generador eléctrico conectado a un rotor por medios mecánicos. El rotor está conformado por un buje que une al menos una pala que se encarga de transformar la energía cinética del viento en movimiento de rotación del rotor.

20

El punto de funcionamiento óptimo de un aerogenerador se obtiene cuando el eje del rotor es paralelo a la dirección del viento, ya que se maximiza la energía producida y se minimizan las cargas.

25

30

La góndola es capaz de tener movimiento respecto a la torre que la sustenta, de modo que permite al rotor orientarse en la dirección del viento mediante un sistema mecánico que lo mueve a una orientación deseada (sistema de guiñada) con objeto de aprovechar al máximo el viento y producir el máximo de potencia. Este sistema de guiñada gira la góndola del aerogenerador alrededor de un eje vertical de guiñada, coincidente con el eje vertical de la torre, hasta que el eje de rotación de las palas queda en paralelo con la dirección del viento. Cuando esta posición óptima no se alcanza, el aerogenerador tiene un error de guiñada determinado por el ángulo de desviación con respecto a dicha posición óptima.

35

Sin embargo, dada la variabilidad natural de la dirección del viento se hacen necesarios sistemas que constantemente detecten la dirección del

viento y en consecuencia, ajusten la posición del aerogenerador de cara a un máximo aprovechamiento del viento que permita producir el máximo de potencia. Por otro lado, un desalineamiento extremo respecto a la dirección del viento provoca también el aumento de cargas en los componentes del aerogenerador que deriva en un deterioro de los mismos.

En este sentido, el sistema de guiñada dispone de un sistema de medición de la dirección del viento compuesto por sensores, ubicados habitualmente en la parte superior de la góndola del aerogenerador, detrás del rotor.

Sin embargo, hay varios factores a tener en cuenta en la medición de la dirección del viento que hacen que no se obtenga un valor correcto de las mediciones; la influencia del rotor sobre las corrientes de aire descendentes, el funcionamiento deficiente de los sensores por una instalación y/o configuración errónea, el flujo ascendente derivado de la ubicación de cada aerogenerador y por último, la evolución de los diseños de las secciones interiores de las palas que han evolucionado hacia una mayor efectividad aerodinámica y que producen una mayor deflexión de la corriente. Todo ello provoca que el aerogenerador no opere en las condiciones deseadas.

Se encuentran soluciones en el estado de la técnica que abordan la problemática del desalineamiento posicionando los sensores delante del rotor del aerogenerador, como la patente EP2626549, sin embargo dado que los emplazamientos de los aerogeneradores en un parque son diferentes para cada unidad, esta solución no puede estandarizarse, ya que no se puede realizar un ajuste en una máquina y luego propagarlo al resto, sino que implica realizar un ajuste individual máquina a máquina.

La patente US2013114067 describe un sistema de control óptico para un aerogenerador que comprende la incorporación de unos sensores, por delante del rotor del aerogenerador, que proporcionan unas mediciones que, en combinación con las obtenidas en los sensores de la góndola del aerogenerador, permiten posicionar el aerogenerador en la posición óptima.

35

Se conocen del Estado de la técnica otras soluciones como la patente EP2267301 que describe un sistema de control de la guiñada de un aerogenerador que incorpora un canal de viento que pasa a través del buje del aerogenerador y que comprende un dispositivo de medición del flujo de
5 aire pasante para, mediante un sistema de control, determinar el error de guiñada, sin embargo esta solución no puede aplicarse a aerogeneradores ya instalados.

A la vista de los inconvenientes de las soluciones anteriores, se prevé
10 la necesidad de implementar una solución que, utilizando los medios ya existentes en los aerogeneradores, garantice la correcta medición del error de guiñada y permita posicionar el aerogenerador en el punto óptimo de funcionamiento.

15 **Descripción de la invención**

Es un objeto de la invención un sistema de control del desalineamiento de la góndola de un aerogenerador con respecto a la dirección del viento que sea general y cuasi-automático, de forma que pueda
20 ser aplicado a cualquier tipo de aerogenerador instalado en cualquier localización de un parque y que no implique añadir dispositivos de medición adicionales a los ya existentes.

Se conoce del Estado de la Técnica que la pérdida de potencia
25 generada por el aerogenerador, derivada de un error de guiñada, sigue una curva basada en la ley del \cos^2 (ver figura 2), pudiendo estimarse las pérdidas de potencia partiendo de diferentes ángulos de desalineamiento.

En este sentido, es un objeto de la invención que el sistema de control
30 determine la necesidad de realizar mediciones del ángulo de guiñada, así como que el sistema de control cuantifique el valor del desalineamiento, no solo mediante la directa medición de la dirección del viento, sino también mediante un conjunto de valores que sean función de la velocidad del viento.

35 Es otro objeto de la invención mitigar los efectos del desalineamiento

mediante medidas correctivas que apliquen los valores obtenidos en las mediciones, bien en el PLC o bien en el hardware de adquisición de datos.

5 Para ello el sistema prevé la implementación de unos algoritmos optimizadores de potencia basados en la influencia del desalineamiento en la curva de potencia del aerogenerador. Este tipo de algoritmos pueden implementarse en cualquier tipo de aerogenerador.

10 Es otro objeto de la invención que el sistema de control sea capaz de anticiparse a cualquier fallo que pueda ocasionarse en los sensores de medición, para ello el sistema de control realiza mediciones redundantes de la dirección del viento.

15 Estos y otros aspectos de la invención se describirán de una forma más detallada con ayuda de los dibujos que se describen a continuación.

Breve descripción de los dibujos.

20 La invención y su modo de operación se entenderán de manera más completa a partir de la siguiente descripción detallada junto con las siguientes figuras;

25 La figura 1 muestra una vista en perspectiva de un aerogenerador convencional.

Las figura 2 muestra una curva de la relación existente entre la potencia generada y el ángulo de guiñada del aerogenerador según el Estado de la Técnica.

30 Las figuras 3a y 3b muestran respectivamente una vista en planta de un aerogenerador cuya góndola desviada de la dirección del viento y un aerogenerador con su góndola alineada con la dirección del viento.

35 La figura 4 muestra un esquema del sistema de control implementado en el aerogenerador según la invención.

Descripción de una realización preferencial

La figura 1 es una vista en perfil que muestra un aerogenerador (1) de acuerdo con una realización preferente de la invención. El aerogenerador (1) incluye una torre (2) que se eleva verticalmente sobre una cimentación (3), una góndola (4) montada en la parte superior de la torre (2), y un rotor (5) montado en el final frontal de la góndola (4) de forma que se soporta de forma rotativa con respecto a un eje sustancialmente horizontal X1-X1.

El rotor (5) tiene al menos una pala (6), como se muestra en la figura 1, montada en un patrón radial con respecto a su eje de rotación. Por lo tanto, la energía del viento al soplar contra las palas (6) del aerogenerador desde la dirección del eje de rotación del rotor (5) se convierte en energía de movimiento que hace girar el rotor (5) con respecto al eje de rotación. Un anemómetro (7) mide la velocidad del viento en la vecindad y un anemoscopio (7) mide la dirección del viento, y para ello se disponen en localizaciones adecuadas de la superficie externa periférica (por ejemplo, en la parte superior) de la góndola (4) del aerogenerador.

Se entiende como desalineamiento del aerogenerador, la condición en la que la góndola del aerogenerador se encuentra desviada un ángulo (α) con respecto a la dirección real (γ) del viento en instantes puntuales, ver figura 3a. Esta desviación (α) de la góndola (4) con respecto a la dirección (γ) del viento puede sospecharse por diferentes motivos; por la obtención de una curva de potencia generada menor de la estimada para condiciones óptimas de funcionamiento, mediante una comparación de la posición real (α) de la góndola (4) y de la posición que debería de tener en función de los datos de la dirección real (γ) del viento obtenidos del anemoscopio (7) o visualmente al observar una alineación diferente a la que determinan los aerogeneradores de alrededor.

La figura 3a muestra un aerogenerador cuya góndola muestra una desviación (α) con respecto a la dirección del viento (γ), de forma que el viento no incide en las palas de forma correcta disminuyendo la producción de potencia, mientras que la figura 3b, muestra un aerogenerador

correctamente orientado respecto a la dirección del viento (γ).

Por otro lado, se conoce del Estado de la Técnica que la pérdida de potencia generada por el aerogenerador, derivada de un error de guiñada, sigue una curva basada en la ley del \cos^2 (ver figura 2), pudiendo estimarse las pérdidas de potencia partiendo de diferentes ángulos (α_i) de desalineamiento.

En este sentido, resulta imperativo conocer el valor real de la desviación de la góndola (4) del aerogenerador (1) con respecto de la dirección del viento (γ) de manera que ésta pueda ser corregida. Sin embargo, se sabe que debido al ruido, las turbulencias, la oscilación de la góndola (4) y otros factores, la medida de la dirección del viento (γ) por parte del anemómetro (7) puede verse afectada, por lo que se precisa relacionar el desvío en el ángulo (α) de guiñada con respecto a otra variable, como la velocidad del viento.

Para ello, el sistema de control (20) de la invención realiza movimientos periódicos en la guiñada de la góndola (4) y extrae los datos de variación de potencia con técnicas de modulación y demodulación conocidas, lo cual se combina con un algoritmo denominado ESC que se basa en la obtención del valor óptimo de una función de eficiencia obtenida del modelo de potencia aerodinámica de cada aerogenerador (1). Esta función de eficiencia es el ratio entre la potencia medida por los sensores del aerogenerador y la potencia disponible en el viento. La guiñada de la góndola (4) se orienta progresivamente hacia las posiciones que maximizan esa función de eficiencia, hasta que se alcanza el máximo y se mantiene estable en un valor de desviación predeterminado.

El sistema de control (20) de la invención, tal y como se muestra en la figura 4 comprende una unidad de adquisición (8) de parámetros que relacionan la dirección del viento (γ) con la desviación (α) de la góndola (4) del aerogenerador, una unidad de cálculo (9) de la función de eficiencia del aerogenerador (1) y una unidad de comparación (10) de desviación de la góndola (4) y porque mediante un algoritmo orienta progresivamente la

góndola (4) del aerogenerador hacia posiciones que maximizan la función de eficiencia.

5 Tal y como se muestra en la figura 4 el sistema de control (20) sigue los siguientes pasos;

10 - Obtención de valores de diferentes parámetros mediante el hardware (21) existente en el aerogenerador, pudiendo ser estos parámetros la dirección de viento, la velocidad de viento, la posición de góndola, la potencia producida, las condición de desenrolle del cableado entre la torre y la góndola, la condición de orientación de la góndola y/o el estado de operación del aerogenerador, siendo estos estados de operación; emergencia, stop, pausa y producción

15 - Comprobación del estado de operación del aerogenerador, verificando la producción de energía en funcionamiento normal, es decir en producción, dentro de los rangos de viento predefinidos (5-12m/s) y sin que se detecten alarmas.

20 a) Si el estado de operación no es el adecuado, se vuelve a comprobar hasta que el aerogenerador se encuentre en estado producción.

25 b) Si el estado de operación es el adecuado, se comprueba que las condiciones de orientación y/o de desenrolle están activadas.

- Si las condiciones de orientación y/o de desenrolle están activadas se inhiben las oscilaciones de la guiñada de cálculo de la función de eficiencia.

30 - Si las condiciones de orientación y/o de desenrolle están desactivadas se lanza un algoritmo denominado ESC, que sigue los siguientes pasos;

35 a. Adecuación de la integridad de las variables de entrada, comprobación de que se encuentran dentro límites mediante un filtrado siendo los límites de estos parámetros determinados en función de las características particulares del aerogenerador (1).

40 b. Obtención de una función de eficiencia mediante el cálculo de ratio entre la potencia generada obtenida y la potencia teóricamente producible, calculándose la potencia teórica mediante la multiplicación de un parámetro configurable que depende de las características particulares del aerogenerador (1) y de la velocidad viento.

c. Filtrado de la función de eficiencia obtenida del paso anterior.

- 5
- d. Demodulación de la señal obtenida en el paso anterior, multiplicándola por el valor actual que tenga la señal de la oscilación de la guiñada.
 - e. Filtrado de la señal obtenida y obtención de una señal denominada gradiente.
 - f. Acumulación de todos los valores obtenidos de la señal gradiente desde que se iniciaron los cálculos e integración obteniéndose una señal denominada desviación externo.
- 10
2. Envío de la señal desviación externo al sistema de control de guiñada (11).
 3. Comparación entre el valor de desviación externo calculado y el valor de desviación (α) determinado por los sensores de viento (7).
 - 15 -Si el valor obtenido excede de unos valores predeterminados dependientes de las particulares características del aerogenerador (1), el sistema de orientación de guiñada moverá la góndola (4) siguiendo la referencia que hayan acumulado la suma de la orientación y la desviación externa.
 - 20 - Si el valor obtenido no excede los valores predeterminados, el sistema de control (20) impondrá un movimiento oscilatorio al sistema de guiñada adicional al movimiento del paso anterior, siempre que las condiciones de viento estén dentro de los límites de seguridad prefijados (5-12 m/s).
- 25
- La suma de los movimientos de guiñada descritos, junto con las variaciones propias del viento determinarán un nuevo estado de operación y funcionamiento del aerogenerador (1) que será registrado por el hardware (21) del mismo, y con estos datos se comenzará un nuevo ciclo.
- 30

Aunque la presente invención se ha descrito enteramente en conexión con realizaciones preferidas, es evidente que se pueden introducir aquellas modificaciones dentro de su alcance, no considerando éste como limitado por las anteriores realizaciones, sino por el contenido de las reivindicaciones siguientes.

35

Reivindicaciones

1.- Sistema de control para detectar y evitar situaciones de desalineamiento en aerogeneradores, del tipo que emplea algoritmos basados en variables operacionales, caracterizado porque comprende una
5 unidad de adquisición (8) de parámetros que relacionan la dirección del viento (γ) con la desviación (α) de la góndola (4) del aerogenerador, una unidad de cálculo (9) de la función de eficiencia del aerogenerador y una
10 unidad de comparación (10) de desviación de la góndola (4) y porque mediante un algoritmo orienta progresivamente la góndola (4) del aerogenerador (1) hacia posiciones que maximizan la función de eficiencia.

2.- Sistema de control para detectar y evitar situaciones de desalineamiento en aerogeneradores, según la primera reivindicación, caracterizado porque la unidad de adquisición (8) de parámetros utiliza el
15 hardware existente en el propio aerogenerador (1) para obtener datos entre la dirección de viento, la velocidad de viento, la posición de góndola, la potencia producida, las condición de desenrolle del cableado entre la torre (2) y la góndola (4), la condición de orientación de la góndola (4) y/o el
20 estado de operación del aerogenerador (1).

3.- Sistema de control para detectar y evitar situaciones de desalineamiento en aerogeneradores, según la primera reivindicación, caracterizado porque la unidad de cálculo (9) de la función de eficiencia del
25 aerogenerador (1) calcula la función de eficiencia mediante el ratio entre la potencia generada obtenida y la potencia teóricamente producible.

4.- Sistema de control para detectar y evitar situaciones de desalineamiento en aerogeneradores, según la tercera reivindicación, caracterizado porque la potencia teórica se calcula mediante la multiplicación
30 de un parámetro configurable dependiente de las características de cada aerogenerador (1) y de la velocidad viento.

5.- Sistema de control para detectar y evitar situaciones de desalineamiento en aerogeneradores, según la primera reivindicación,
35

caracterizado porque la unidad de comparación (10) de desviación de la góndola (4) calcula la desviación entre el valor de desviación calculado por el algoritmo y el valor de desviación (α) determinado por los sensores de viento (7) y lo compara con valores predeterminados dependientes de las
5 particulares características del aerogenerador (1) determinando la desviación real de la góndola (4) con respecto a la dirección del viento.

6.- Sistema de control para detectar y evitar situaciones de desalineamiento en aerogeneradores, según la primera reivindicación, caracterizado porque el algoritmo de la invención comprende las siguientes
10 etapas;

- obtención de los parámetros a través hardware (21) existente en el propio aerogenerador (1)

- comprobación del estatus de operación del aerogenerador (1) en
15 funcionamiento normal de producción

- comprobación de activación de las funciones de orientación y/o desenrolle de la góndola (4)

- lanzamiento del algoritmo ESC

- obtención de la desviación real de la góndola (4) con respecto a la
20 dirección del viento

- comparación del valor desviación real obtenido con unos valores de desviación predeterminados en función de las características particulares del aerogenerador (1).

- orientación de la góndola (4) hacia una posición que maximice la
25 función de eficiencia.

7.- Sistema de control para detectar y evitar situaciones de desalineamiento en aerogeneradores, según la sexta reivindicación, caracterizado porque la etapa de comprobación del estatus del
30 aerogenerador (1) es iterativa hasta obtener como resultado el funcionamiento normal de producción del aerogenerador (1) estando este definido en función de valores predefinidos según las particulares características del aerogenerador (1).

8.- Sistema de control para detectar y evitar situaciones de
35

desalineamiento en aerogeneradores, según la sexta reivindicación, caracterizado porque la etapa de comprobación es iterativa hasta que las funciones de orientación y/o desenrolle de góndola (4) estén verificadas.

5 9.- Sistema de control para detectar y evitar situaciones de desalineamiento en aerogeneradores, según la sexta reivindicación, caracterizado porque si las funciones de orientación y/o desenrolle de góndola (4) están activadas el sistema de control (20) inhibe las oscilaciones de la góndola (4) para el cálculo de la función de eficiencia.

10 10.- Sistema de control para detectar y evitar situaciones de desalineamiento en aerogeneradores, según la sexta reivindicación, caracterizado porque el algoritmo ESC comprende las etapas de;

15 - comprobación y adecuación mediante un filtrado de la integridad de los parámetros obtenidos del hardware (21) del aerogenerador (1) con respecto a unos rangos predeterminados en función de sus características particulares.

20 - obtención de la función de eficiencia del aerogenerador (1) mediante el cálculo del ratio entre la potencia generada obtenida y la potencia teórica obtenible calculada a partir de las características particulares del aerogenerador (1).

 - filtrado de la función de eficiencia y demodulación de la señal obtenida

25 - obtención de la señal de gradiente mediante la multiplicación de la señal obtenida del paso anterior por el valor actual de la desviación de la góndola (4) y filtrado de la señal obtenida

 - acumulación del valor de la señal de gradiente obtenida e iteración de los pasos anteriores hasta obtener un valor estabilizado de la desviación con respecto a un valor predeterminado

30 - obtención de la desviación real de la góndola (4) con respecto a la dirección del viento.

35 11.- Sistema de control para detectar y evitar situaciones de desalineamiento en aerogeneradores, según la sexta reivindicación, caracterizado porque en la etapa de comparación del valor desviación real

obtenido con unos valores de desviación predeterminados en función de las características particulares del aerogenerador (1), en el caso de que dicho valor no exceda los valores predeterminados, el sistema de control (20) activará el sistema de oscilación de la góndola (4).

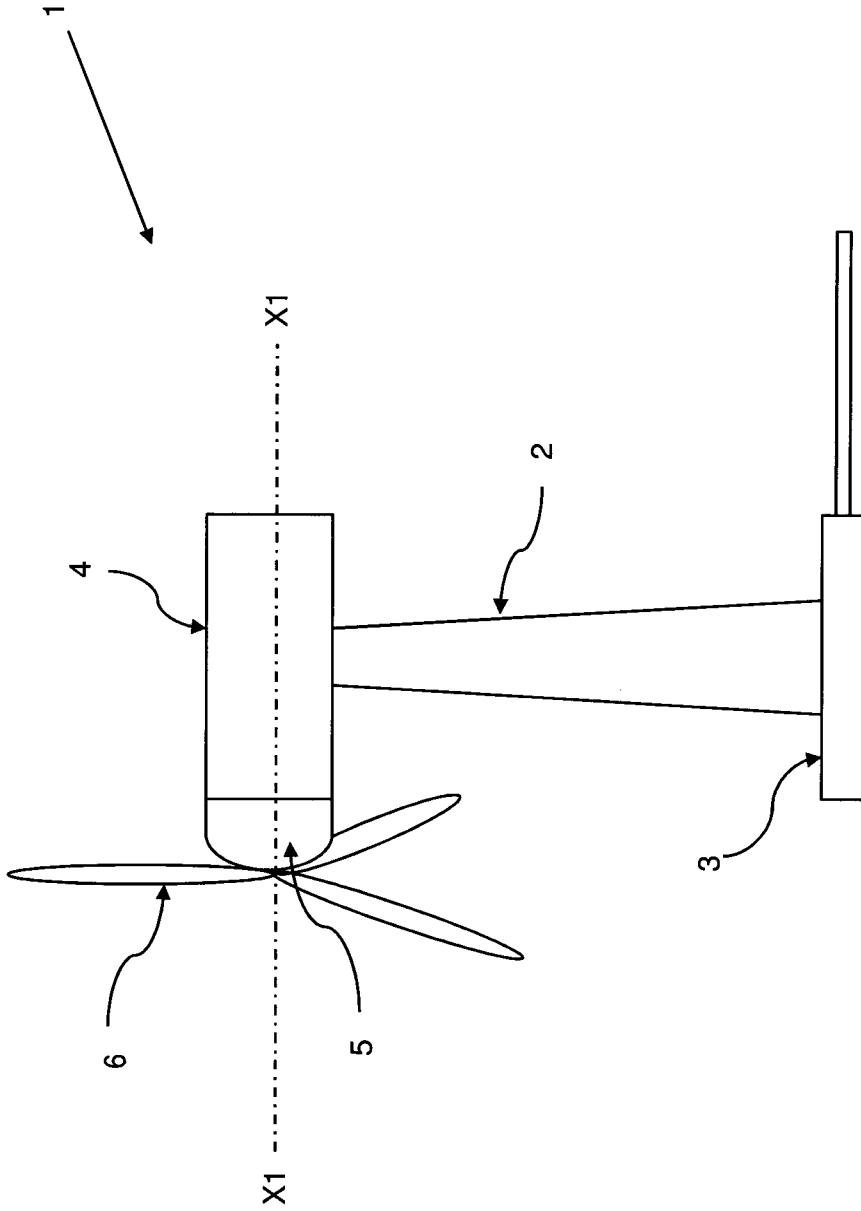


Fig. 1

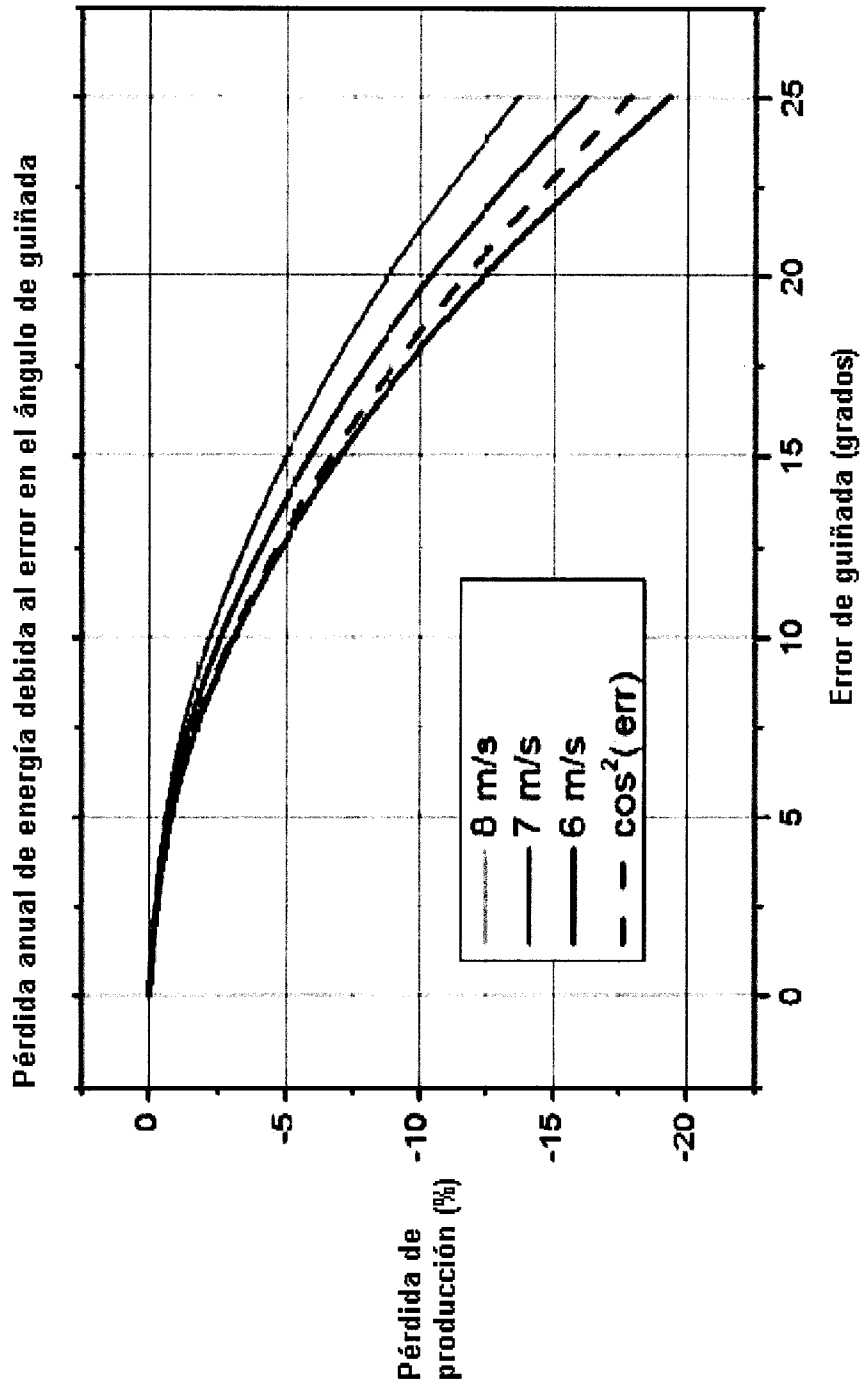


Fig. 2

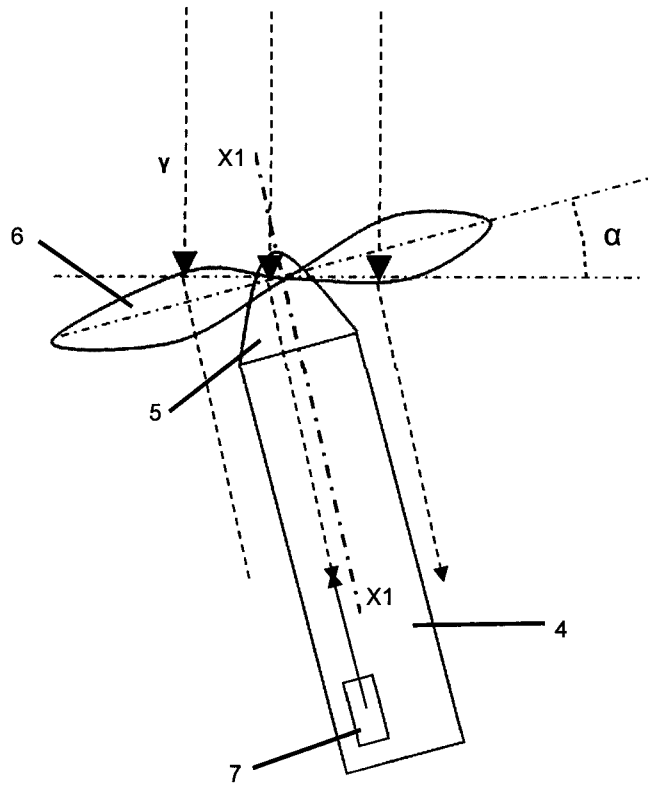


Fig. 3a

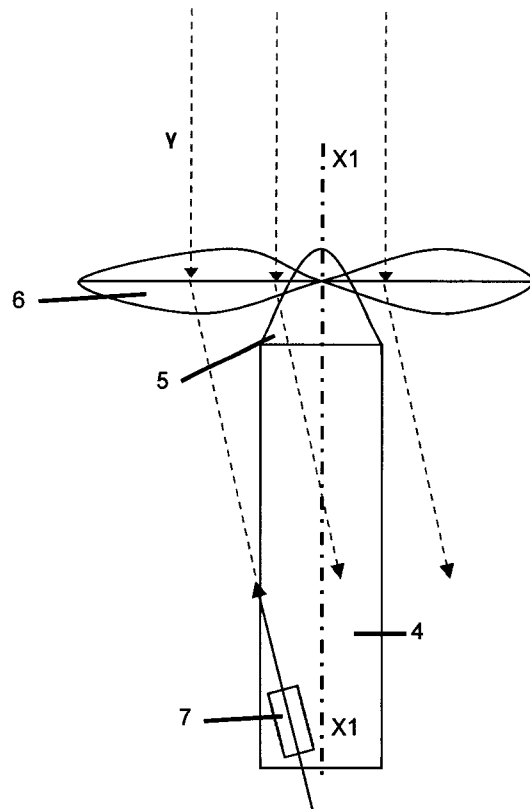


Fig. 3b

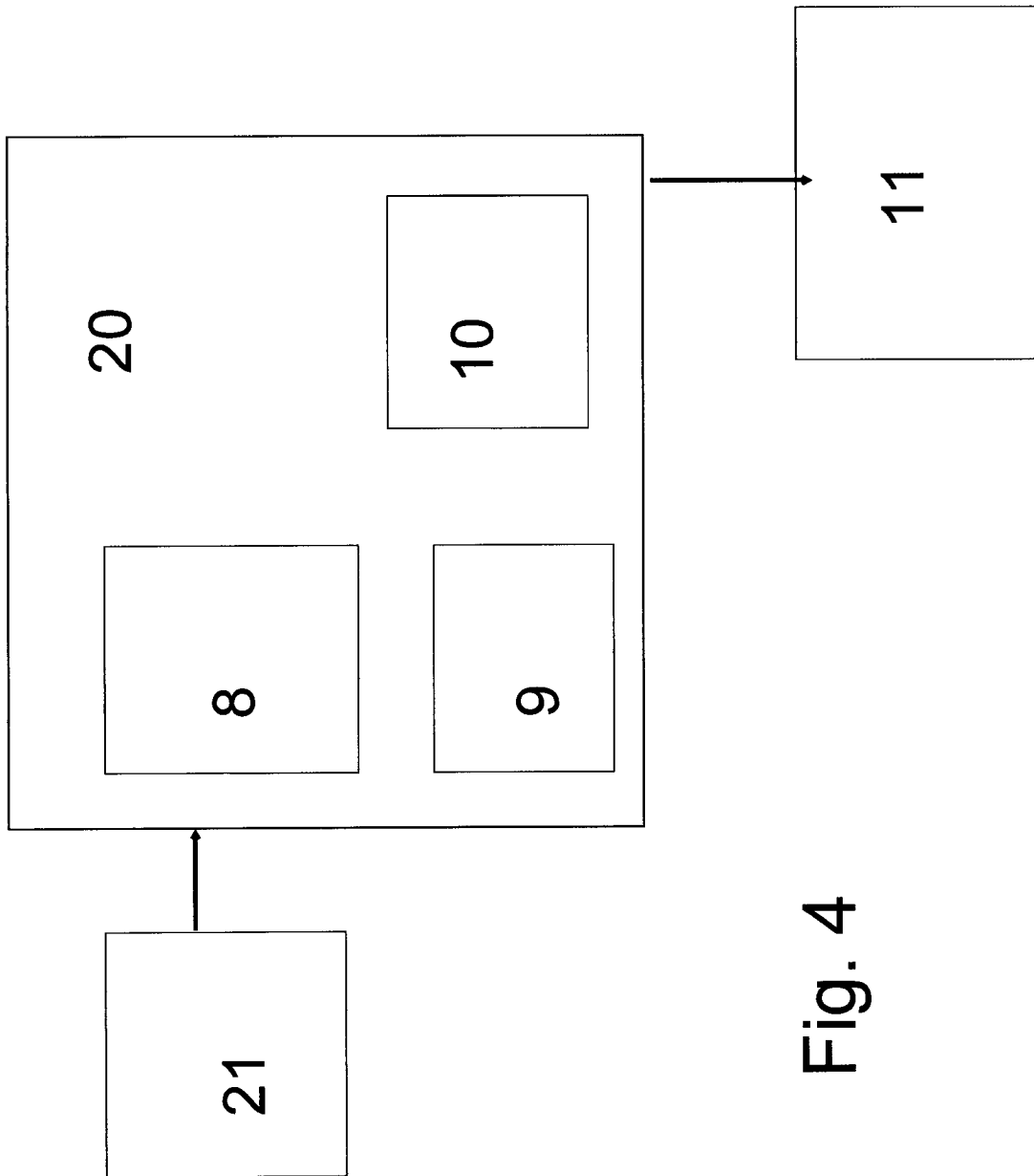


Fig. 4