

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 613 181**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.03.2013 E 13001038 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.08.2016 EP 2636895**

54 Título: **Métodos y sistemas para aliviar cargas en aerogeneradores marinos**

30 Prioridad:

08.03.2012 ES 201200239

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

23.05.2017

73 Titular/es:

GAMESA INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L.
(100.0%)
Avenida. Ciudad de la Innovación 9-11
31621 Sarriguren (Navarra), ES

72 Inventor/es:

PLANO MORILLO, EUGENIO y
FERNÁNDEZ ROMERO, IGNACIO

ES 2 613 181 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

METODOS Y SISTEMAS PARA ALIVIAR CARGAS EN AEROGENERADORES MARINOS

CAMPO DE LA INVENCION

5

La invención se refiere a métodos y sistemas para aliviar las cargas generadas por las asimetrías de viento en aerogeneradores y, más en particular, en aerogeneradores marinos.

10

ANTECEDENTES

15 Cuando un pala de aerogenerador barre todo el 'disco del rotor' experimenta cambios en la velocidad y dirección del viento, como resultado de la cortadura del viento, la sombra de la torre, la desalineación en guiñada y la turbulencia. A medida en que los tamaños de los rotores aumentan con respecto a los tamaños típicos de los remolinos turbulentos, la importancia de las variaciones turbulentas de la velocidad del viento a través del disco del rotor se hace mayor.

20 Estas variaciones resultan en un gran componente de las cargas de la pala por cada vuelta, o 1P, junto con los armónicos de esta frecuencia, es decir, 2P, 3P, 4P y así sucesivamente. En un rotor de tres palas, estos componentes de carga tienen un desfase de 120° entre las tres palas, con el resultado de que el buje del rotor y el resto de la estructura experimentarán los armónicos de 3P, 6P, etc., pero el componente 1P y los otros armónicos tienden a cancelarse.

25 Ahora bien, esta cancelación se basa en suposiciones de estacionariedad y linealidad, pero cuando los aerogeneradores se hacen más grandes con respecto a las escalas de longitud de la turbulencia, estas suposiciones resultan menos válidas.

30 Esto significa que las cargas asimétricas que resultan de los componentes 1P y los armónicos ya no se anulan y que los componentes de carga a estas frecuencias pueden contribuir muy significativamente a cargas de fatiga en el buje del rotor, los ejes, los cojinetes de guiñada, la torre, etc.

Para reducir esos efectos perjudiciales, la técnica anterior enseña el uso de un control individual del ángulo de paso añadido al control colectivo del ángulo de paso y también del control del ángulo de guiñada. Los comandos del ángulo de paso y del ángulo de guiñada para reducir dichas cargas asimétricas se calculan utilizando mediciones de dichas cargas o de los desplazamientos causados por ellas.

Los componentes de carga 1P son particularmente significativos en los aerogeneradores grandes, y, en principio, debería ser posible reducirlos por medio de la acción individual sobre el ángulo de paso de las palas en la frecuencia 1P, con un desfase de 120° entre las tres palas. Esta acción individual sobre el ángulo de paso en la frecuencia 1P puede ser calculada por un algoritmo de control que utiliza, como entrada, las cargas de la pala fuera del plano.

Un ejemplo de esta técnica anterior se puede encontrar en US. 2006/002792 donde se describe un método para reducir las cargas y para proporcionar alineamiento en guiñada en un aerogenerador que incluye la medición de desplazamientos o momentos resultantes de cargas asimétricas en el aerogenerador. Estos momentos o desplazamientos medidos se utilizan para determinar la contribución del ángulo de paso que tratará de reducir o contrarrestar la carga asimétrica del rotor y lograr una fácil alineación del sistema de orientación.

Si los dispositivos de medición de dichos desplazamientos o momentos fallan y por lo tanto dicha acción individual sobre el ángulo de paso no puede ser implementada, la técnica anterior sugiere la operación del aerogenerador a un nivel de producción menor para la reducción de la carga asimétrica del rotor hasta que el fallo sea reparado.

En el caso de los aerogeneradores marinos, la reparación de los aparatos de medición se puede retrasar durante largos períodos de tiempo lo que implica pérdidas importantes de producción.

30

SUMARIO DE LA INVENCION

Es un objeto de esta invención proporcionar métodos y sistemas de control para mejorar la producción de energía de los aerogeneradores marinos que tienen un sistema individual de control del ángulo de paso para contrarrestar cargas asimétricas del rotor cuando falla el sistema de medición de cargas utilizado por dicho sistema individual de control del ángulo de paso.

Es otro objeto de la presente invención proporcionar métodos y sistemas de control para aliviar las cargas de los aerogeneradores marinos que tienen un sistema individual de control del ángulo de paso para contrarrestar cargas asimétricas del rotor cuando falla el sistema de medición de cargas utilizado por dicho sistema individual de control del ángulo de paso.

En un aspecto, estos y otros objetos se consiguen con un método de control que comprende el paso de usar, en caso de mal funcionamiento del sistema de medición de cargas, el siguiente vector de ángulo de paso para el cálculo del comando de ángulo de paso de cada pala:

- el vector de ángulo de paso que está siendo aplicado al mismo tiempo en un aerogenerador del parque eólico en el que funciona correctamente el sistema de medición de cargas (preferiblemente el aerogenerador más cercano) o un valor medio de los vectores de ángulo de paso que están siendo aplicados al mismo tiempo en un grupo de aerogeneradores del parque eólico en los que funciona correctamente el sistema de medición de cargas;

- el vector de ángulo de paso resultante de una ley de control, obtenida a partir de los registros históricos del aerogenerador cuando el sistema de medición de cargas funcionaba correctamente, definiendo el vector de ángulo de paso como una función de al menos la velocidad del viento V , si los anteriores vectores de ángulo de paso no están disponibles.

En otro aspecto, los objetos antes mencionados se consiguen con un sistema de control que está dispuesto para realizar una regulación del aerogenerador de acuerdo con una curva de potencia predeterminada para velocidades de viento por debajo de la velocidad de corte del viento V_{out}

incluyendo una regulación individual del ángulo de paso de cada basada en un sistema de medición de cargas, en el que el sistema de control también está dispuesto para realizar una regulación alternativa, en caso de mal funcionamiento de dicho sistema de medición de cargas, de acuerdo con una
5 curva de potencia alternativa, reduciendo la producción de energía con respecto a la curva predeterminada de potencia, e incluyendo un control individual alternativo del ángulo de paso para contrarrestar cargas asimétricas del rotor utilizando el siguiente vector de ángulo de paso para el cálculo del comando de ángulo de paso de cada pala:

10 - el vector de ángulo de paso aplicado al mismo tiempo en un aerogenerador del parque eólico en el que funciona correctamente el sistema de medición de cargas (preferiblemente el aerogenerador más cercano) o un valor medio de los vectores de ángulo de paso que se aplican al mismo tiempo en un grupo de aerogeneradores del parque eólico en los que funciona correctamente
15 el sistema de medición de cargas;

- el vector de ángulo de paso resultante de una ley de control, obtenida a partir de los registros históricos del aerogenerador cuando el sistema de medición de cargas funcionaba correctamente, definiendo el vector de ángulo de paso como una función de al menos la velocidad del viento V , si los anteriores
20 vectores de ángulo de paso no están disponibles.

El vector de ángulo de paso a ser aplicado en un aerogenerador cuando su sistema de medición de cargas falla puede ser obtenido del controlador del parque eólico en los tres casos mencionados, o de otro aerogenerador (si están provistos de medios de comunicación) o puede ser obtenido en el propio
25 aerogenerador (en el caso del vector de ángulo de paso resultante de una ley de control).

Otras características deseables y ventajas de dichos métodos y sistemas de control de aerogeneradores marinos se harán evidentes a partir de la descripción subsiguiente detallada de la invención y de las reivindicaciones
30 adjuntas, en relación con los dibujos adjuntos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Figura 1 es una vista esquemática en sección lateral esquemática de un aerogenerador.

5 La Figura 2 muestra una curva de potencia típica de un aerogenerador.

La Figura 3 es un diagrama que muestra el comando del ángulo de paso de la regulación colectiva del ángulo de paso y el comando del ángulo de paso que resulta de la adición de una regulación cíclica en una revolución de una pala de aerogenerador.

10 La Figura 4 muestra las curvas de potencia que se utilizan en la regulación del aerogenerador en los tres estados considerados en esta invención.

Las Figuras 5a y 5b muestran una ley de control de un control individual del ángulo de paso de acuerdo con la presente invención.

15 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Un aerogenerador marino convencional 11 de un parque eólico comprende una torre 13 soportando una góndola 21 que alberga un generador 19 para convertir la energía rotacional del rotor del aerogenerador en energía eléctrica. El rotor del aerogenerador comprende un buje de rotor 15 y, normalmente, tres palas 17. El buje del rotor 15 está conectado bien directamente o a través de una multiplicadora al generador 19 del aerogenerador para transferir el par generado por el rotor 15 al generador 19 incrementando la velocidad del eje a fin de alcanzar una velocidad rotacional apropiada del rotor del generador.

25 La energía producida por el aerogenerador está controlada normalmente por medio de un sistema de control para regular el ángulo de paso de las palas del rotor y el par motor del generador. La velocidad rotacional del rotor y la producción de energía de un aerogenerador pueden ser pues controladas
30 inicialmente.

Por debajo de la velocidad de corte V_{out} el sistema de control del aerogenerador está dispuesto para regular la producción de energía según una curva que define la relación funcional deseada entre potencia y velocidad para alcanzar una producción ideal. Una curva de ese tipo es la curva 25 de la Figura 2 que muestra que la producción de energía P se incrementa desde una mínima velocidad del viento V_{min} hasta la velocidad nominal del viento V_n y entonces permanece constante en el valor nominal de producción de energía hasta la velocidad de corte del viento V_{out} donde decrece hasta 0.

Para implementar esa regulación una unidad de control recibe datos de entrada tales como la velocidad del viento V , la velocidad del generador Ω , el ángulo de paso de las palas θ , la producción de energía P desde dispositivos de medida bien conocidos y envía datos de salida a, respectivamente, el sistema actuador del ángulo de paso de las palas para cambiar la posición angular de las palas 17 y a una unidad de comando del generador para cambiar la referencia para la producción de energía.

El sistema de control también está dispuesto para aplicar un control individual del ángulo de paso de cada pala para reducir las cargas asimétricas que se calcula utilizando los datos proporcionados por un sistema de medición de cargas. Este ángulo de paso individual se superpone al ángulo de paso colectivo usado para la regulación de la producción de energía según la curva de potencia 25 de la Figura 2.

En la Figura 3, la línea 31 representa el comando colectivo del ángulo de paso que se aplica a todas las palas, es decir, un ángulo de paso constante a lo largo de una revolución de la pala, y la línea 33 representa el comando de ángulo de paso aplicado a una pala a lo largo de una revolución de la pala resultante de añadir un comando individual del ángulo de paso al comando colectivo del ángulo de paso.

El comando individual del ángulo de paso que se proporciona a cada pala se genera como sigue:

- Tres señales B_1 , B_2 , B_3 de los momentos de flexión fuera del plano de las palas (derivadas de las señales de batimiento y arrastre que provienen del sistema

de medición de cargas) se transforman en dos momentos ortogonales M_y y M_z usando la transformación de Park.

5 - Un controlador para cada eje genera las contribuciones de ángulo de paso Z-Ángulo de paso e Y-Ángulo de paso para reducir o contrarrestar las cargas asimétricas del rotor.

- Un vector de ángulo de paso, definido por un módulo M y un argumento A , se calcula utilizando las ecuaciones $M = (\text{Z-Ángulo de paso}^2 + \text{Y-Ángulo de paso}^2)^{1/2}$, $A = \text{atan}(\text{Z-Ángulo de paso}/\text{Y-Ángulo de paso})$.

10 - El vector de ángulo de paso es utilizado por el sistema de control para calcular el comando individual de ángulo de paso que debe aplicarse a cada pala, mediante, en primer lugar, una conversión en dos referencias ortogonales del ángulo de paso utilizando las ecuaciones $\text{Z-Ángulo de paso} = M\text{sen}(A)$, $\text{Y-Ángulo de paso} = M\text{cos}(A)$ y, a continuación, la generación de los comandos individuales de ángulo de paso utilizando la inversa de la transformación de Park y el ángulo de
15 acimut del rotor.

20 Cuando falla el sistema de medición de cargas de un aerogenerador y consecuentemente no puede generarse un comando individual de ángulo de paso para cada pala, la invención propone usar el siguiente vector de ángulo de paso para obtener los comandos individuales de ángulo de paso a ser aplicados en cada pala:

25 - en primer lugar, el vector de ángulo de paso que se está siendo aplicado al mismo tiempo en un aerogenerador del parque eólico en el que funciona correctamente el sistema de medición de cargas o un valor medio del vector de ángulo de paso que está siendo aplicado al mismo tiempo en un grupo de aerogeneradores del parque eólico en los que funciona correctamente el sistema de medición de cargas;

30 - en segundo lugar (si alguno de los anteriores vectores de ángulo de paso está disponible), el vector de ángulo de paso resultante de una ley de control que define el vector de ángulo de paso en función de por lo menos la velocidad del viento basada en registros históricos de el aerogenerador cuando el sistema de medición de cargas funcionaba correctamente.

La mayor estabilidad de las condiciones ambientales de un parque eólico marino que en un parque eólico terrestre permite el uso de dichos vectores alternativos de ángulo de paso alternativos para evitar pérdidas de producción de energía cuando el sistema de medición de cargas del aerogenerador está dañado.

5 En cualquier caso, cuando se utiliza cualquiera de dichos vectores alternativos de ángulo de paso deberá regularse el aerogenerador siguiendo una curva sub-óptima de producción de energía para evitar riesgos.

La Figura 4 muestra las curvas de potencia 25, 25', 25" que se utilizan, respectivamente, en un estado normal del aerogenerador, en un estado sin control individual del ángulo de paso individual debido al mal funcionamiento del sistema de medición de cargas, y en un estado con un control individual alternativo del ángulo de paso de acuerdo con la presente invención.

En la primera alternativa mencionada anteriormente, las opciones preferidas son el vector de ángulo de paso que se utiliza en el aerogenerador más cercano y la media de los vectores de ángulo de paso que se utilizan en el parque eólico. En el primer caso, el aerogenerador puede recibir el vector de ángulo de paso directamente del aerogenerador más cercano si tienen medios de comunicación o desde el controlador del parque eólico en caso contrario. En el segundo caso, el aerogenerador recibe el vector de ángulo de paso desde el controlador del parque eólico.

En la segunda alternativa mencionada anteriormente, que se elige cuando no puede implementarse la primera alternativa debido a, por ejemplo, problemas de comunicación con el controlador del parque eólico, se utiliza una ley de control, que se obtiene a partir de datos históricos del propio aerogenerador cuando el sistema de medición de cargas funcionaba correctamente y se almacena en los medios de almacenamiento del sistema de control del aerogenerador.

Dicha ley de control puede ser una ley de una sola variable como la ley de control mostrada en las Figuras 5a y 5b, donde el módulo M y el ángulo A del vector de ángulo de paso a utilizar dependen sólo de la velocidad del viento V o una ley multi-variable, por ejemplo una ley de control en la que el módulo M y el ángulo A del vector de ángulo de paso dependen de la velocidad del viento, de la

dirección del viento, de la posición de guiñada, de la cortadura del viento y del mismo período del año, es decir, la ley estará integrada por curvas diferentes para diferentes escenarios de trabajo.

5 Las curvas de las Figuras 5a y 5b son ecuaciones polinómicas de segundo grado obtenidas a partir de un conjunto de datos obtenidos en una simulación del comportamiento de un aerogenerador marino con un factor de correlación cercano a 1 por lo que se puede suponer que el vector de ángulo de paso utilizado por el sistema de control del aerogenerador cuando el sistema de medición de cargas funcionaba correctamente puede ser representado por las leyes de control antes
10 mencionadas.

La implementación de control individual alternativo del ángulo de paso de acuerdo con esta invención se realiza en el controlador convencional del aerogenerador incluyendo la contribución individual del ángulo de paso después de que se calcula el comando colectivo del ángulo de paso por el controlador. El
15 ángulo de paso colectivo sigue siendo la referencia estándar del ángulo de paso para el controlador con respecto a las alarmas y a las referencias operativas.

Las principales ventajas del control individual del ángulo de paso acuerdo con la presente invención son las siguientes:

- Puede ser implementado fácilmente en los aerogeneradores marinos ya
20 en operación con sistemas individuales de actuación del ángulo de paso.

- Puede mejorar la producción de energía de los aerogeneradores marinos alrededor de un 10% cuando sus sistemas de medición de cargas están dañados.

Aunque la presente invención ha sido descrita en relación con diversas realizaciones, se apreciará a partir de la descripción que se pueden hacer
25 diversas combinaciones de elementos, variaciones o mejoras en ella, y están dentro del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1.- Método de control de un aerogenerador perteneciente a un parque eólico marino que tienen un sistema individual de control del ángulo de paso para contrarrestar cargas asimétricas basado en un sistema de medición de cargas, caracterizado porque comprende el paso de usar, en caso de mal funcionamiento del sistema de medición de cargas, el siguiente vector de ángulo de paso para el cálculo del comando de ángulo de paso de cada pala:

- el vector de ángulo de paso que está siendo aplicado al mismo tiempo en un aerogenerador del parque eólico en el que funciona correctamente el sistema de medición de cargas o un valor medio de los vectores de ángulo de paso que están siendo aplicados al mismo tiempo en un grupo de aerogeneradores del parque eólico en los que funciona correctamente el sistema de medición de cargas;

- el vector de ángulo de paso resultante de una ley de control, obtenida a partir de registros históricos del aerogenerador cuando el sistema de medición de cargas funcionaba correctamente, definiendo el vector de ángulo de paso como una función de, al menos, la velocidad del viento V , si los anteriores vectores de ángulo de paso no están disponibles.

2.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 1, en el que el vector de ángulo de paso usado el aerogenerador es el vector de ángulo de paso que está siendo aplicado en el aerogenerador más cercano.

3.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 1, en el que dicha ley de control es una función de la velocidad del viento y una o más de las siguientes variables:

- la dirección del viento;
- la cortadura del viento;
- la posición de guiñada;
- el período del año.

4.- Sistema de control de un aerogenerador perteneciente a un parque eólico marino:

- estando conectado el sistema de control a un sistema de medición de cargas y a dispositivos de medida de, al menos, la velocidad del viento V , la dirección del viento, el ángulo de paso θ , la posición del acimut ψ de cada pala;

- estando conectado el sistema de control a, al menos, los actuadores de control individual del ángulo de paso de las palas y al actuador de control del par motor;

- teniendo el sistema de control medios de comunicación con el controlador del parque eólico;

- estando dispuesto el sistema de control para realizar una regulación del aerogenerador de acuerdo con una curva de potencia predeterminada (25) para velocidades de viento por debajo de la velocidad de corte del viento V_{out} incluyendo una regulación individual del ángulo de paso de cada pala basada en un sistema de medición de cargas;

caracterizado porque el sistema de control también está dispuesto para realizar una regulación alternativa, en caso de mal funcionamiento de dicho sistema de medición de cargas, de acuerdo con una curva de potencia alternativa (25''), reduciendo la producción de energía con respecto a la curva predeterminada de potencia (25), e incluyendo un control individual alternativo del ángulo de paso para contrarrestar cargas asimétricas del rotor utilizando el siguiente vector de ángulo de paso para el cálculo del comando de ángulo de paso de cada pala:

- el vector de ángulo de paso que está siendo aplicado al mismo tiempo en un aerogenerador del parque eólico en el que funciona correctamente el sistema de medición de cargas o un valor medio de los vectores de ángulo de paso que están siendo aplicados al mismo tiempo en un grupo de aerogeneradores del parque eólico en los que funciona correctamente el sistema de medición de cargas;

- el vector de ángulo de paso resultante de una ley de control, obtenida a partir de registros históricos del aerogenerador cuando el sistema de medición

de cargas funcionaba correctamente, definiendo el vector de ángulo de paso como una función de al menos la velocidad del viento V , si los anteriores vectores de ángulo de paso no están disponibles.

5 5.- Sistema de control según la reivindicación 4, en el que el vector de ángulo de paso usado en el aerogenerador es el vector de ángulo de paso que está siendo aplicado en el aerogenerador más cercano, que se recibe desde el controlador del parque eólico.

10 6.- Sistema de control según la reivindicación 4, en el que el vector de ángulo de paso usado en el aerogenerador es el valor medio de los vectores de ángulo de paso que están siendo aplicados al mismo tiempo en un grupo de aerogeneradores del parque eólico que se recibe desde el controlador del parque eólico.

15 7.- Sistema de control según la reivindicación 4, comprendiendo además medios directos de comunicación con todos los aerogeneradores pertenecientes al parque eólico en el que el vector de ángulo de paso usado en el aerogenerador es el vector de ángulo de paso que está siendo aplicado en el
20 aerogenerador más cercano, que se recibe desde él.

8.- Sistema de control según la reivindicación 4, en el que dicha ley de control está almacenada en el controlador del parque eólico.

25 9.- Sistema de control según la reivindicación 4, en el que dicha ley de control está almacenada en los medios de almacenamiento del sistema de control.

30 10.- Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones 8-9, en el que dicha ley de control es una función de la velocidad del viento y una o más de las siguientes variables:

- la dirección del viento;
- la cortadura del viento;
- la posición de guiñada;
- el período del año.

5

11.- Aerogenerador marino que comprende un sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones 4-10.

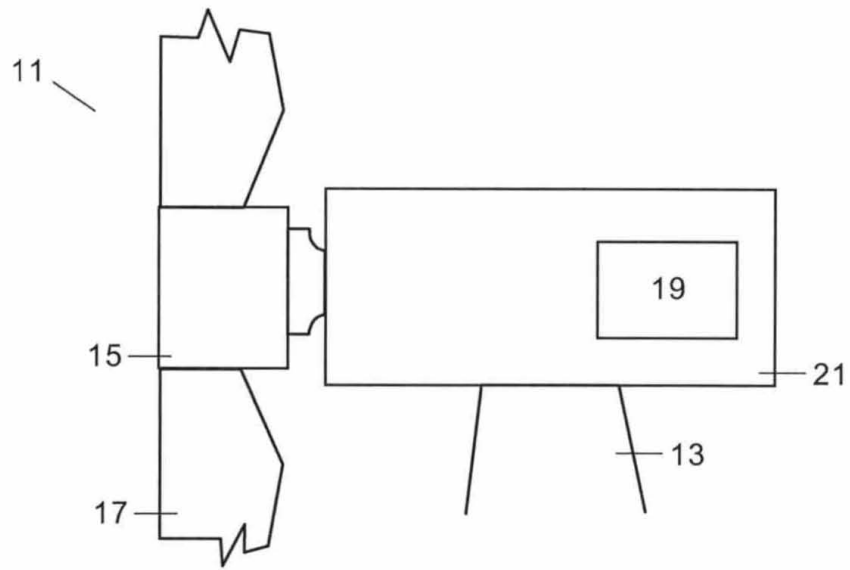


FIG. 1

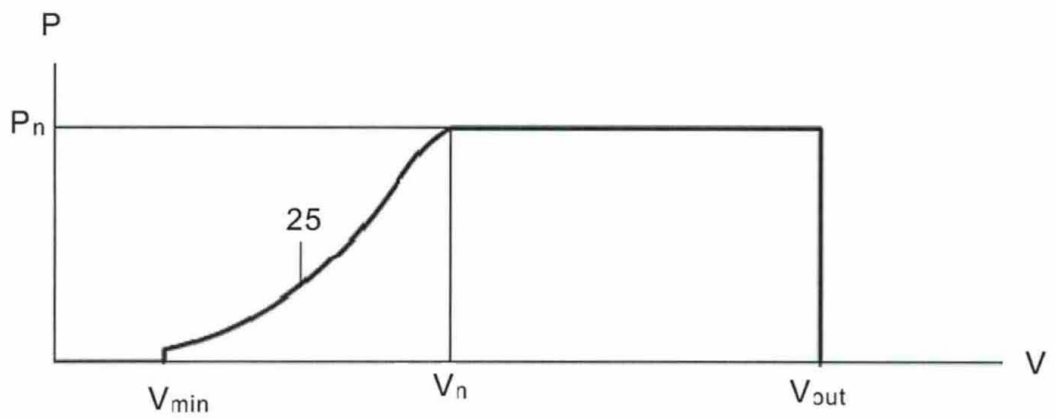


FIG. 2

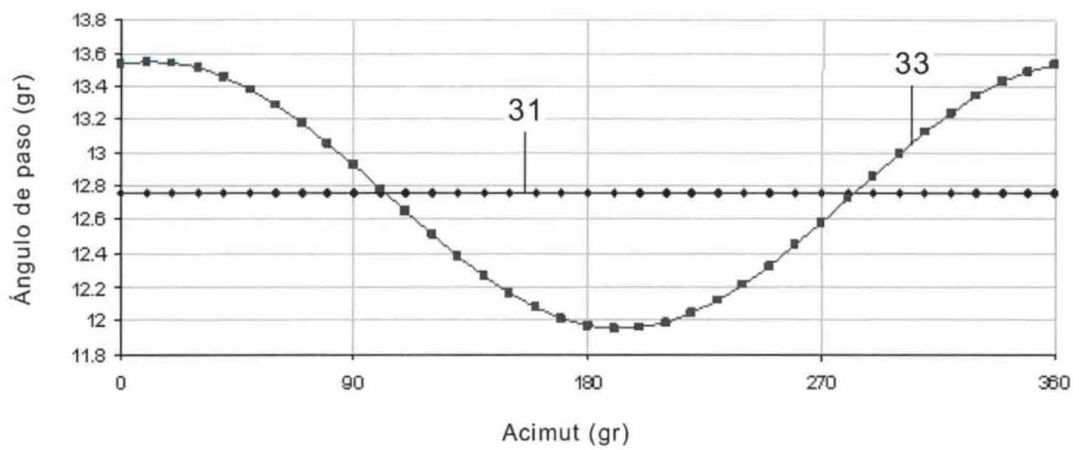


FIG. 3

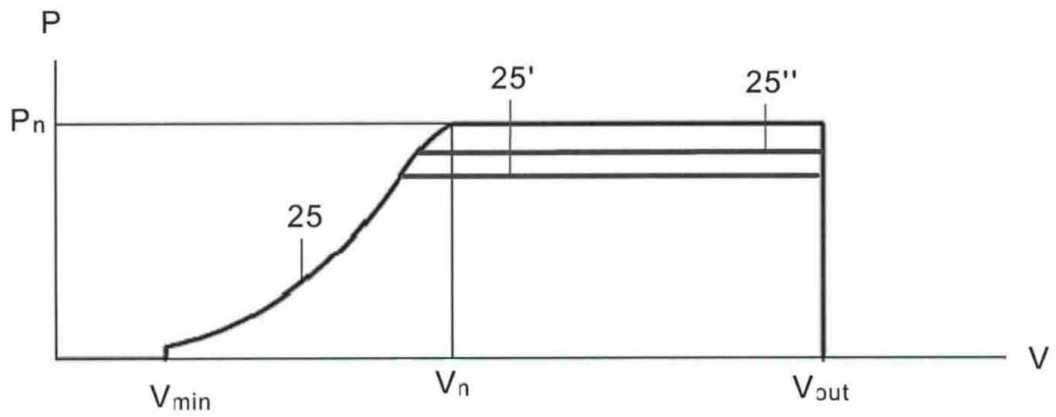


FIG. 4



FIG. 5a

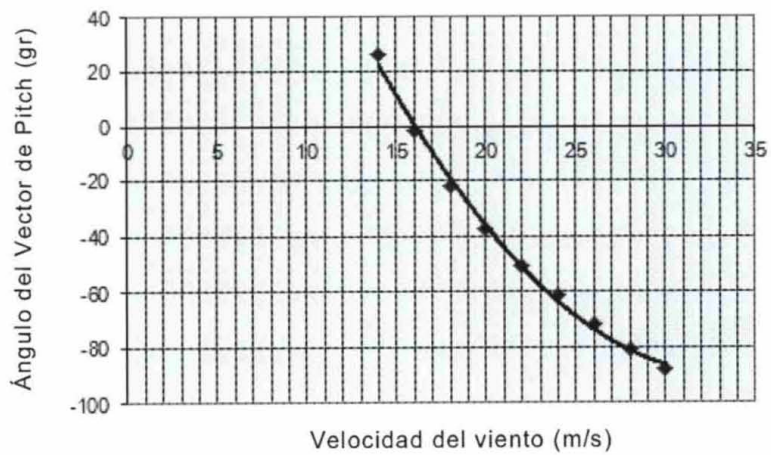


FIG. 5b