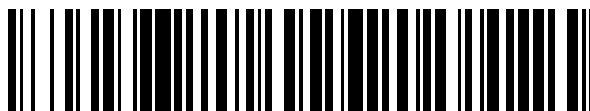


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 162**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.12.2010** **E 10015467 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2017** **EP 2336558**

54 Título: **Métodos de control de aerogeneradores para mejorar la producción de energía recuperando pérdidas de energía**

30 Prioridad:

16.12.2009 ES 200902345

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.11.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

MARTÍN DA SILVA, ÁNGEL;
GARCÍA ANDUJAR, JUAN CARLOS;
LÓPEZ RUBIO, JOSÉ MARÍA;
JIMÉNEZ DE LAGO, MARIO y
ROMERO-SANZ, IGNACIO

74 Agente/Representante:

SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY

ES 2 643 162 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

MÉTODOS DE CONTROL DE AEROGENERADORES PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RECUPERANDO PÉRDIDAS DE ENERGÍA**CAMPO DE LA INVENCION**

5

La invención se refiere a métodos de control de aerogeneradores de velocidad variable y, en particular, a métodos de control de aerogeneradores de control variable para mejorar la producción de energía recuperando pérdidas de energía.

10

ANTECEDENTES

15

20

25

Los aerogeneradores son dispositivos que convierten energía mecánica en energía eléctrica. Un aerogenerador típico incluye una góndola montada sobre una torre que alberga un tren de potencia para transmitir la rotación de un rotor a un generador eléctrico y otros componentes tal como los motores de orientación mediante los que se orienta el aerogenerador, varios controladores y un freno. El rotor soporta varias palas que se extienden radialmente para capturar la energía cinética del viento y causan un movimiento rotatorio del tren de potencia. Las palas del rotor tienen una forma aerodinámica de manera que cuando el viento pasa a través de la superficie de la pala se crea una fuerza ascensional que causa la rotación de un eje al que está conectado - directamente o a través de un dispositivo de multiplicación- un generador eléctrico situado dentro de la góndola. La cantidad de energía producida por los aerogeneradores depende de la superficie de barrido del rotor de palas que recibe la acción del viento y, consecuentemente, el incremento de la longitud de las palas implica normalmente un incremento de la producción de energía del aerogenerador.

30

En los métodos y sistemas de control conocidos la energía producida por un aerogenerador se incrementa con la velocidad del viento hasta que se alcanza un nivel nominal pre-establecido y a partir de ahí se mantiene constante. Ello se hace regulando el ángulo de paso de las palas de manera

que el ángulo de paso de las palas del rotor se cambia hacia un menor ángulo de ataque para reducir la energía capturada y hacia un mayor ángulo de ataque para incrementar la energía capturada. Por tanto la velocidad del generador y, consecuentemente, la energía producida pueden mantenerse relativamente
5 constantes con velocidades crecientes del viento cuando la producción de energía se lleva a cabo a la potencia nominal.

La regulación de la potencia y de la velocidad del rotor está basada, en la mayoría de los aerogeneradores comerciales conocidos en controladores, tales como los controladores P, PI, PD, PID, que reaccionan a las errores producidos
10 entre las variables controladas y sus valores de referencia con las consiguientes limitaciones.

En el caso de ráfagas y turbulencias la velocidad del viento puede cambiar drásticamente en un relativamente pequeño intervalo temporal requiriendo cambios rápidos del ángulo de paso de las palas para mantener
15 constante la potencia que son difíciles de implementar teniendo en cuenta la dinámica del actuador que controla el ángulo de paso de las palas, la inercia de los componentes mecánicos y la coherencia espacial del viento. Como resultado, es casi imposible obtener la producción teóricamente prescrita en situaciones de viento turbulento.

Para solucionar ese y otros problemas se conocen varias propuestas de nuevos métodos de control que mejoran su rendimiento con respecto a los conocidos como ejemplos las propuestas descritas en WO 2008/046942, EP1990539A1, y EP0223729A1.
20

Esta invención está orientada a la atención de ese mismo problema usando controladores conocidos para que pueda ser implementada en los
25 aerogeneradores ya instalados.

30 SUMARIO DE LA INVENCION

Un objeto de la presente invención es proporcionar aerogeneradores controlados por métodos de control que permiten la optimización de la producción de energía.

5 Otro objeto de la presente invención es proporcionar aerogeneradores controlados por métodos de control que permiten la optimización de la producción de energía en aerogeneradores ya instalados, sin necesidad de cambiar la tecnología de control utilizada.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar métodos de control de aerogeneradores adaptados para optimizar la producción de energía
10 asociada a la zona de producción parcial de la curva de potencia (también llamada esquina de la curva de potencia).

En un aspecto, esos y otros objetos se consiguen proporcionando un método de operación de un aerogenerador de velocidad variable que comprende medios de control para llevar a cabo una regulación estándar
15 siguiendo una curva potencia vs. velocidad del generador que comprende una primera zona sub-nominal en la que se mantiene constante la velocidad del generador a su valor de acoplamiento, una segunda zona sub-nominal en la que se permite que tanto la velocidad del generador como la potencia aumenten/disminuyan en línea con la velocidad del viento, una tercera zona
20 sub-nominal en la que se mantiene constante la velocidad del generador en su valor nominal y una zona nominal en la que se mantiene constante la potencia en su valor nominal P_n y en el que se usa una regulación alternativa a una potencia P_b más alta que la determinada por la regulación estándar para optimizar la producción de energía durante determinados períodos de tiempo T_b
25 para compensar pérdidas previas de energía.

De acuerdo con la invención, dicha regulación alternativa está basada en el cálculo continuo de la energía perdida acumulada ALE como la energía perdida respecto a la máxima producción de energía permitida por la regulación estándar y en la fijación de dicha potencia más alta P_b y de la duración de
30 dichos períodos de tiempo T_b de manera compatible con las limitaciones mecánicas y/o eléctricas del aerogenerador. Se consigue con ello un método

para incrementar la producción de energía de los aerogeneradores ya instalados, sin necesidad de cambiar la tecnología de control utilizada.

En otra realización preferente dicha potencia más alta P_b se fija como una constante. Se consigue con ello un método apropiado para aerogeneradores con limitaciones para cambios de referencias de potencia.

En otra realización preferente dicha potencia más alta P_b se fija como una variable dependiente de la energía perdida acumulada ALE. Se consigue con ello un método que permite la optimización de la producción de energía.

En realizaciones preferentes apropiadas para aerogeneradores instalados actualmente la potencia más alta P_b está comprendida en un rango del 104-110% de la potencia nominal P_n y los períodos de tiempo T_b están comprendidos en un rango de 180-300 s.

En otra realización preferente el cálculo de la energía perdida acumulada ALE se realiza manteniendo un límite superior ALE_{max} y un límite inferior ALE_{min} para que se mantenga dentro de niveles recuperables usando dicha regulación alternativa. Se consigue con ello un método que permite un uso controlado de dicha regulación alternativa.

En otra realización preferente el límite superior ALE_{max} se determina como la máxima energía recuperable en un período de tiempo T_b . Se consigue con ello un método que permite un uso optimizado de dicha regulación alternativa.

En otra realización preferente dicha regulación alternativa se activa cuando, estando el aerogenerador controlado por la regulación estándar, la energía perdida acumulada ALE es mayor de un valor predeterminado ALE_1 y se desactiva cuando la energía perdida acumulada ALE es menor de un valor predeterminado ALE_2 . Se consigue con ello un método que permite que dicha regulación alternativa se use de una manera controlada evitando ciclos muy cortos de activación/desactivación.

En otro aspecto, los objetos mencionados se consiguen proporcionando un aerogenerador de velocidad variable controlado por el método mencionado anteriormente. Se consigue con ello una vía para mejorar la producción de energía de muchos aerogeneradores instalados.

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la descripción detallada que sigue en relación con las figuras que se acompañan.

5

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

La Figura 1 muestra esquemáticamente los componentes principales de un aerogenerador.

10

La Figura 2 muestra una curva Potencia vs. Velocidad del generador conocida en la técnica que se usa para controlar aerogeneradores de velocidad variable.

15

La Figura 3 muestra una curva estimada turbulenta de Potencia promedio aplicando un método de control de la técnica anterior y una curva estacionaria ideal de Potencia.

La Figura 4 muestra una gráfica Potencia instantánea vs. Tiempo ilustrando un método según la presente invención con períodos de tiempo con pérdidas de energía y con períodos de tiempo con ganancias de energía.

20

La Figura 5 muestra una curva estimada turbulenta de Potencia promedio aplicando un método de control de la técnica anterior, una curva turbulenta estimada de Potencia promedio aplicando un método de control según la presente invención y una curva ideal de Potencia.

25

La Figura 6 muestra curvas de Potencia medida vs. Tiempo y de Potencia promedio vs. Tiempo obtenidas en una simulación aplicando un método de control de la técnica anterior y un método de control según la presente invención para una velocidad de viento promedio de 11 m/s.

30

La Figura 7 muestra curvas de Potencia medida vs. Tiempo y de Potencia promedio vs. Tiempo obtenidas en una simulación aplicando un método de control de la técnica anterior y un método de control según la presente invención para una velocidad de viento promedio de 13 m/s.

La Figura 8 muestra curvas de Potencia medida vs. Tiempo y de Potencia promedio vs. Tiempo obtenidas en una simulación aplicando un

método de control de la técnica anterior y un método de control según la presente invención para una velocidad de viento promedio de 17 m/s.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

5

Un aerogenerador 11 convencional 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 10 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.

La energía producida por un aerogenerador moderno está controlada 15 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 inicialmente, es decir, antes de una transferencia de energía a una red de distribución eléctrica a través de un convertidor.

20 El objetivo básico de los métodos de operación de un aerogenerador de velocidad variable es alcanzar una operación con la producción aerodinámicamente ideal el mayor tiempo posible.

Como es sabido, la energía cinética asociada con el viento incidente depende del área barrida por las palas del rotor, de la densidad del aire y del 25 cubo de la velocidad del viento y se considera que los aerogeneradores pueden extraer hasta el 59% de dicha energía. Por ello, se representa la capacidad de cada aerogenerador para aproximarse a dicho límite por el llamado coeficiente de potencia C_p que está determinado por sus características aerodinámicas, particularmente por el ratio λ de su velocidad en la punta que se define como la 30 relación entre la velocidad tangencial de la punta de la pala y la velocidad del viento incidente. Si se puede mantener ese ratio en su valor óptimo, de manera que la velocidad del rotor siga la velocidad del viento, se obtiene el máximo

coeficiente de potencia C_p del aerogenerador, alcanzando una conversión de energía muy eficiente.

La estrategia de control seguida generalmente en los aerogeneradores de velocidad variable está basada en ajustar eléctricamente el par del generador para alcanzar la máxima producción lo que se lleva a cabo usando un controlador que recibe señales indicado la velocidad del generador y la potencia producida por el generador y que proporciona una señal de referencia del par al convertidor para obtener la potencia requerida.

Consecuentemente, el controlador del aerogenerador usa una curva que define la relación funcional deseable entre potencia y velocidad para alcanzar la producción ideal.

Para una mejor comprensión de la presente invención, se hace seguidamente una breve descripción de una típica curva potencia vs. velocidad del generador 21, mostrada en la Figura 2.

Esta curva comprende una primera zona sub-nominal 23 en la que la velocidad del viento alcanza el nivel mínimo para comenzar la operación del aerogenerador. En esta zona, el control del aerogenerador es muy limitado ya que el aerogenerador no puede capturar la máxima energía. La segunda zona sub-nominal 25 corresponde a velocidades del viento en el rango de 4-8 m/s, en la que la velocidad del generador se incrementa y el aerogenerador funciona con un óptimo coeficiente de potencia C_p . La tercera zona sub-nominal 27 corresponde a velocidades del viento en el rango 8-11 m/s, en la que se mantiene constante la velocidad del generador n_{r1} mientras la potencia se incrementa hasta la potencia nominal- En esta zona el ángulo de paso de las palas es fijo y la velocidad del generador se controla a través del par. En la zona nominal 29, tiene lugar la operación del aerogenerador a plena carga bajo el control del ángulo de paso de las palas para evitar sobrecargas.

En condiciones ideales la curva de potencia promedio resultante sería la curva 31 de la Figura 3 pero como consecuencia de, entre otros factores, las distorsiones creadas por la turbulencia del viento y las características mencionadas más arriba de los controladores la curva de potencia real 33 sufre

una suavización en la zona de esquina próxima a la potencia nominal. Este efecto causa una pérdida de energía respecto a la producción ideal de energía.

La idea básica de la presente invención, como se ilustra en la Fig. 4, es el uso de una regulación alternativa a la regulación estándar a lo largo de
 5 determinados períodos de tiempo T_b a una potencia más alta P_b que la potencia nominal P_n para compensar pérdidas previas de energía en períodos T_a . Haciendo eso se puede alcanzar, como se muestra en la Figura 5 una curva de potencia promedio resultante 35 más cercana a la curva de potencia ideal 31 que la curva de potencia 33 correspondiente a los métodos de control de la
 10 técnica anterior.

Dichos períodos de tiempo T_b están restringidos por límites mecánicos y eléctricos y consiguiente es muy difícil una recuperación total de las pérdidas previas de energía. Se considera que T_b está comprendido entre 180-300 segundos en muchos de los aerogeneradores comerciales conocidos.

15 La potencia más alta P_b está muy relacionada tanto con los límites eléctricos como con los límites mecánicos del aerogenerador y se considera que está comprendida en un rango de 104-110% P_n en muchos de los aerogeneradores comerciales conocidos.

Por una parte, la implementación de dicha regulación alternativa está
 20 basada en un cálculo continuo de la energía perdida acumulada ALE como la integración en tiempo de la diferencia entre la máxima potencia promedio permitida (la potencia nominal P_n) y la potencia producida en cada intervalo de tiempo, manteniendo un límite superior ALE_{max} para la máxima pérdida de energía que se permite acumular, que se establece como la máxima cantidad
 25 de energía recuperable en hipotéticos períodos de tiempo T_b a la potencia más alta P_b , siendo la duración de dichos períodos de tiempo T_b y el nivel de dicha potencia más alta P_b compatibles con las limitaciones mecánicas y eléctricas del generador, y un límite inferior ALE_{min} para la mínima pérdida de energía que se permite acumular.

30 ALE_{max} puede ser obtenida en términos generales como la integración de $P_b - P_n$ desde $t=0$ a T_b . El parámetro ALE_{min} se define para proporcionar un pequeño extra margen para la recuperación de energía, principalmente en

aquellos instantes en los que utilizando la regulación estándar la potencia es ligeramente superior a la referencia del control.

La regulación alternativa se activa cuando, estando el aerogenerador controlado por la regulación estándar, la energía perdida acumulada ALE es superior a un valor predeterminado ALE_1 . La regulación alternativa se desactiva cuando la energía perdida acumulada ALE es inferior a un valor predeterminado ALE_2 .

Por otra parte, la implementación de dicha regulación alternativa está basada en la determinación de la potencia más alta P_b que debe ser usada, es decir el incremento de potencia que debe ser añadido a la máxima potencia permitida en el bucle de par, con el objetivo de recuperar el déficit de energía de periodos anteriores.

En una realización P_b puede ser fijado como una constante para la regulación alternativa.

En otra realización P_b se calcula teniendo en cuenta el volumen de la energía perdida acumulada ALE y las limitaciones de duración de los periodos temporales T_b bajo la regulación alternativa. En particular P_b puede ser calculado usando una tabla preestablecida de relación ALE / P_b teniendo en cuenta las características mecánicas y eléctricas relevantes para dicha regulación alternativa. En ningún caso P_b puede alcanzar una potencia máxima P_{max} pre-establecida.

Los valores de los parámetros mencionados anteriormente ALE_1 , ALE_2 , ALE_{max} , ALE_{min} también se determinan teniendo en cuenta las limitaciones del generador y el convertidor en relación, entre otras características, al factor de potencia, la temperatura y el voltaje. Deben tenerse en cuenta particularmente las restricciones térmicas y de sobre-corrientes.

Las Figuras 6-8 muestran las curvas de potencia 41 obtenidas en simulaciones aplicando la regulación conocida en la técnica y las curvas de potencia aplicando la regulación según esta invención para velocidades de viento promedio de, respectivamente, 11 m/s, 15 m/s y 17 m/s. También se muestran las curvas de potencia promedio 45, 47 obtenidas aplicando ambas regulaciones.

Como puede verse en las Figuras 6-8 aplicando un método de control según la presente invención hay períodos del tiempo en los que se utiliza la regulación estándar y en los que hay pérdidas de energía, seguidos de períodos de tiempo en lo que se usa la regulación alternativa según la presente invención para recuperar, al menos en parte, dichas pérdidas de energía. La cantidad recuperada es mayor cuando la velocidad del viento demanda una potencia operacional cercana a la potencia nominal.

Las Figuras mencionadas 6-8 han sido obtenidas aplicando un método de control según la presente invención a un aerogenerador de 2 MW y 80 m de diámetro. Se ha considerado una potencia nominal de 2000 kW, una potencia más alta P_b de 2080 kW, un período temporal T_b de 180 s, un ALE_{max} de 14400 kW_s {calculado como el área $(P_b - P_n) \times T_b$, es decir $(2080-2000) \times 180$ }, un ALE_{min} de -600 kW_s (el 2% de la potencia nominal en un periodo de 15 s), un ALE_2 de 0 kW_s y un ALE_1 de 576 kW_s (4% de ALE_{max}).

El método considerado en la presente invención se implementa usando medios disponibles en los sistemas de control de aerogeneradores de velocidad variable. Estos medios comprenden por un lado dispositivos de medida de variables relevantes como la velocidad del generador o la potencia producida en cada instante y medios de proceso que permiten fijar referencias operacionales para el aerogenerador tales como el par demandado por el generador como una función de varias condiciones.

La regulación alternativa objeto de esta invención se implementa en particular incluyendo en los mencionados medios de proceso un algoritmo cuya entrada básica es, como hemos indicado, la potencia producida P y cuya salida básica es la activación de dicha regulación alternativa con una referencia operacional para el par demandado por el generador y la desactivación de dicha regulación alternativa.

Finalmente debe advertirse que una ventaja de la regulación alternativa objeto de la presente invención en relación con la técnica anterior es que permite una compensación de pérdidas de energía respecto a la producción prescrita ideal debidas a cualquier causa.

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
5 siguientes.

REIVINDICACIONES

1.- Método de operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) que comprende medios de control para llevar a cabo una regulación estándar
 5 siguiendo una curva potencia vs. velocidad del generador (21) que comprende una primera zona sub-nominal (23) en la que se mantiene constante la velocidad del generador a su valor de acoplamiento, una segunda zona sub-nominal (25) en la que se permite que tanto la velocidad del generador como la potencia aumenten/disminuyan en línea con la velocidad del viento, una tercera
 10 zona sub-nominal (27) en la que se mantiene constante la velocidad del generador en su valor nominal y una zona nominal (28) en la que se mantiene constante la potencia en su valor nominal P_n , caracterizado porque durante determinados períodos de tiempo T_b se usa una regulación alternativa a una potencia P_b más alta que la determinada por la regulación estándar para
 15 optimizar la producción de energía compensando pérdidas previas de energía, estando dicha regulación alternativa basada en el cálculo continuo de la energía perdida acumulada ALE como la energía perdida respecto a la máxima producción de energía permitida por la regulación estándar y en la fijación de dicha potencia más alta P_b y dichos períodos de tiempo T_b de manera
 20 compatible con las limitaciones mecánicas y/o eléctricas del aerogenerador.

2.- Método de operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha potencia más alta P_b se fija como una constante.

25

3.- Método de operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha potencia más alta P_b se fija como una variable dependiente de la energía perdida acumulada ALE.

4.- Método de operación de un aerogenerador de velocidad variable (11)
 30 según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, caracterizado porque dicha potencia más alta P_b está comprendida en un rango del 104-110% de la potencia nominal P_n .

5.- Método de operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, caracterizado porque la duración de dichos períodos temporales está comprendida en un rango de 180-300 s.

5

6.- Método de operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, caracterizado porque el cálculo de la energía perdida acumulada ALE se realiza manteniendo un límite superior ALE_{max} y un límite inferior ALE_{min} para que se mantenga dentro de niveles recuperables usando dicha regulación alternativa.

10

7.- Método de operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según la reivindicación 6, caracterizado porque el límite superior ALE_{max} se determina como la máxima energía recuperable en un período de tiempo T_b .

15

8.- Método de operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, caracterizado porque:

- dicha regulación alternativa se activa cuando, estando el aerogenerador controlado por la regulación estándar, la energía perdida acumulada ALE es mayor de un valor predeterminado ALE_1 ;

20

- dicha regulación alternativa se desactiva cuando la energía perdida acumulada ALE es menor de un valor predeterminado ALE_2 .

9.- Método de operación de un aerogenerador de velocidad variable (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, caracterizado porque dicha regulación alternativa se activa estando controlado el aerogenerador por dicha regulación estándar en dicha tercera zona sub-nominal (27) o en dicha zona nominal (29).

25

10. Un aerogenerador de velocidad variable (11) controlado por un método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1-9.

30

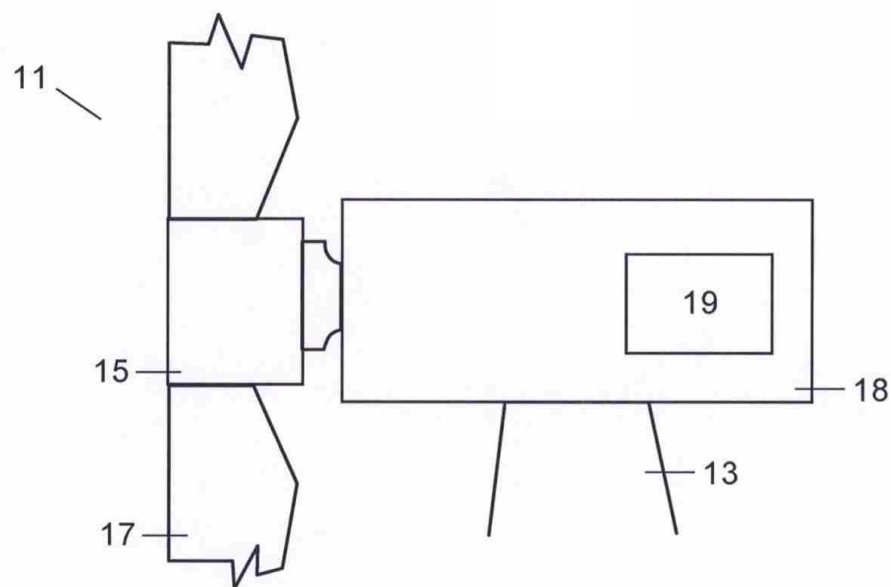


FIG. 1

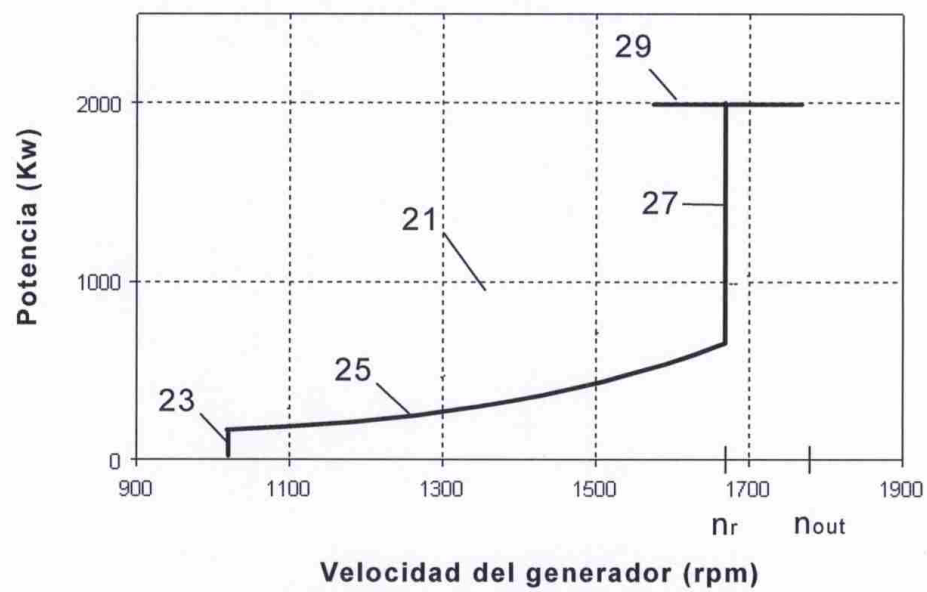


FIG. 2

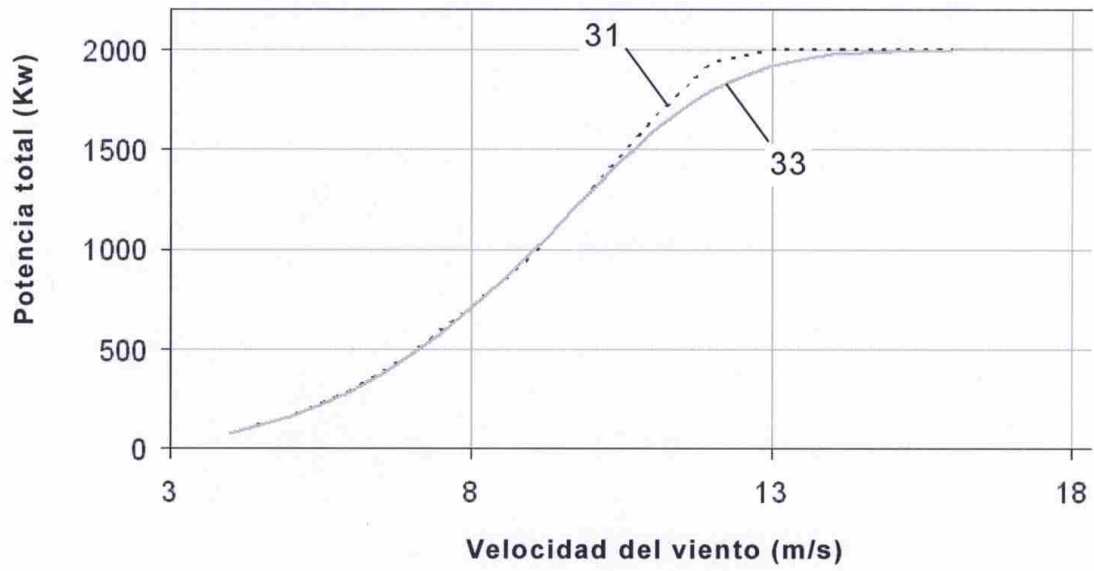


FIG. 3

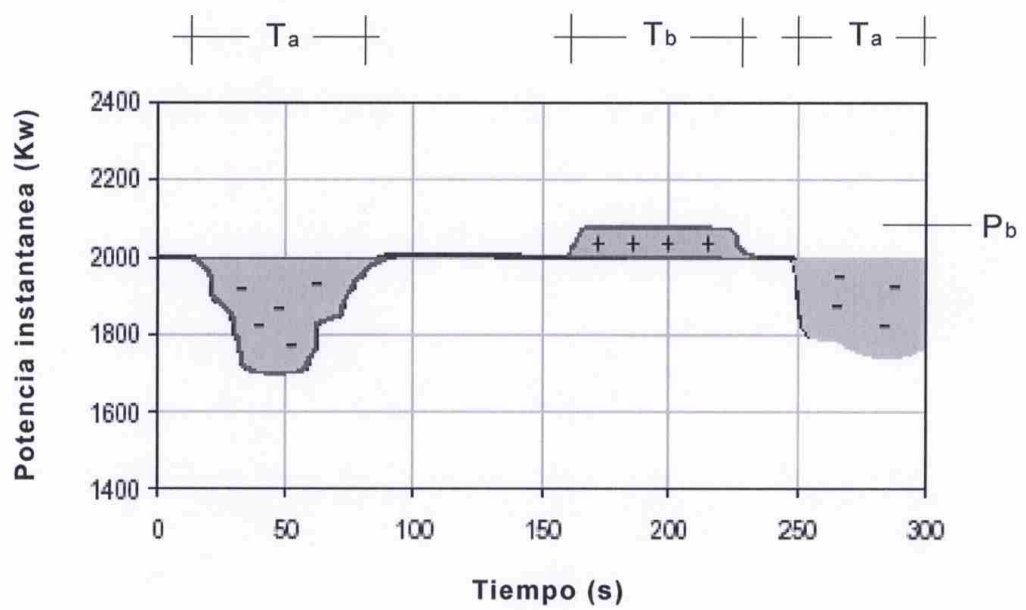


FIG. 4



FIG. 5



FIG. 6

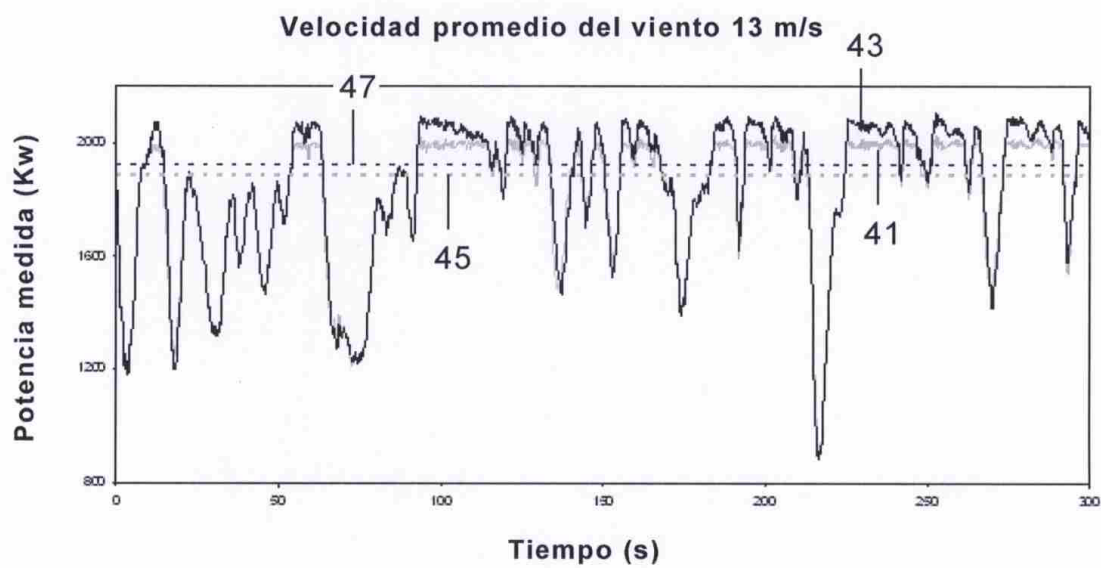


FIG. 7

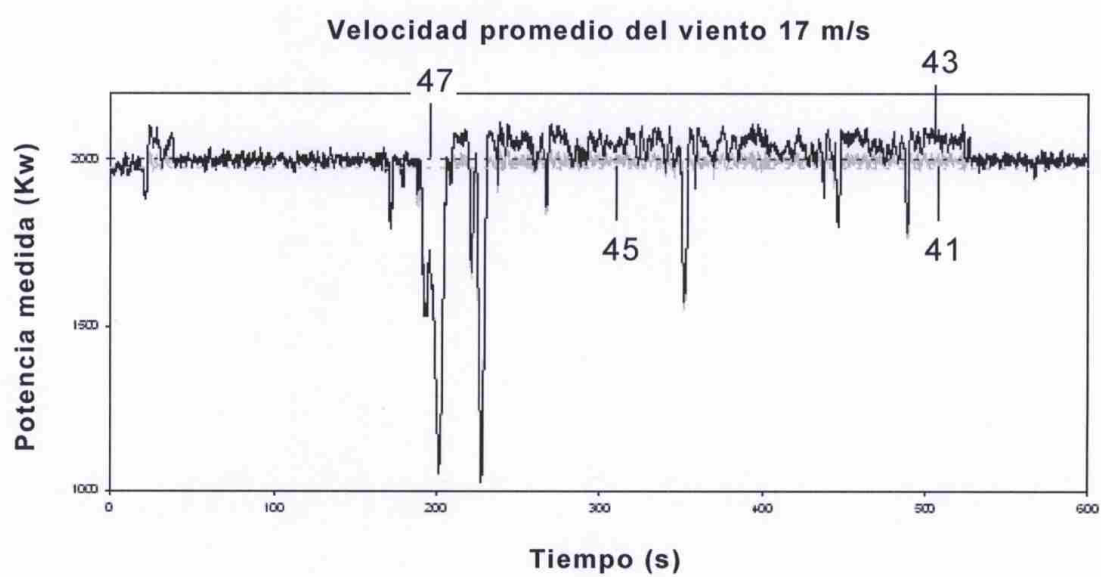


FIG. 8