

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 550 768**

51 Int. Cl.:

**F03D 9/00** (2006.01)

**F03D 7/04** (2006.01)

**F03D 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2011 E 11738598 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.09.2015 EP 2603695**

54 Título: **Control de una central eólica**

30 Prioridad:

**17.11.2010 US 414438 P**  
**12.08.2010 DK 201070357**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**12.11.2015**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**  
**Hedeager 42**  
**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**LOVMAND, BO y**  
**DALSGAARD, SØREN**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 550 768 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

Control de una central eólica

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para controlar una central eólica que comprende una pluralidad de turbinas eólicas. La invención se refiere además a un controlador para llevar a cabo el procedimiento de la invención y a una central eólica.

**Antecedentes de la invención**

10 Las turbinas eólicas y las centrales eólicas, conocidas igualmente como parques eólicos o granjas eólicas, reciben una atención creciente como fuentes de energía alternativas seguras medioambientalmente y relativamente poco costosas. Con este creciente interés, se realizan considerables esfuerzos para desarrollar centrales eólicas que sean fiables y eficientes.

15 Una turbina eólica incluye generalmente un rotor que tiene múltiples palas. El rotor se monta en un alojamiento o góndola que se sitúa en la parte superior de una torre. Las turbinas eólicas pueden tener rotores grandes (por ejemplo, de 40 metros de longitud o más). Además, las torres tienen típicamente al menos 60 metros de altura. Las palas de estos rotores transforman la energía eólica en un par o fuerza de giro que acciona uno o más generadores. La turbina eólica se puede configurar para proporcionar una cantidad de potencia variable. Una pluralidad de turbinas eólicas se pueden agrupar en una central eólica que se puede configurar para proporcionar una cantidad variable de potencia. La central eólica comprende típicamente asimismo un controlador de la central capaz de comunicarse con la pluralidad de turbinas eólicas para ajustar la cantidad de potencia generada por cada una de las turbinas eólicas. La central eólica puede comprender igualmente equipo de subestación, por ejemplo equipo de compensación en forma de STATCOMs, bancos de condensadores, entre otros.

20

La solicitud de patente EP 1 571 746 describe un sistema de regulación de potencia activa de un parque eólico. Este sistema comprende medios para comparar una potencia aparente entregada con un valor de consigna de potencia aparente presente del parque eólico, y medios para ajustar continuamente la potencia aparente entregada de tal modo que se aproxime al valor de consigna de potencia preestablecido. El documento EP 1 571 746 menciona que la lentitud de regulación de la respuesta es un problema del sistema.

25

**Sumario de la invención**

30 La potencia de la central eólica se puede medir mediante un contador de red en o cerca de un punto de acoplamiento común entre la central eólica y una red. La potencia medida por el contador de red se puede comparar con la potencia requerida. Tal potencia requerida se puede originar a partir de códigos de red, una red de distribución, un cliente o de una red SCADA que supervisa la central eólica, por ejemplo debido a la protección de las turbinas eólicas o de otro equipo de la central eólica.

35 En ciertos casos, por ejemplo en el caso de un aumento de la frecuencia de red o una demanda generalmente baja de potencia en la red, si el propietario de la central eólica no tiene permiso para generar a plena capacidad, con el fin de permitir que la central eólica produzca la potencia prevista, se dan instrucciones a la central eólica para reducir la potencia de salida de la misma, es decir, bajar la producción de energía de las centrales eólicas.

40 Una central eólica se puede disponer para gestionar instrucciones de reducción de potencia utilizando un primer ajuste de control de potencia que incluye información relativa a las capacidades de cada turbina eólica en la central eólica. En el primer ajuste de control de potencia, la información acerca de las capacidades de la potencia activa de la turbina eólica individual incluye un valor de consigna máximo, que es igual a la potencia nominal de la turbina eólica. Una desventaja del primer ajuste de control es que cuando una instrucción de reducir la potencia de salida de la turbina eólica se envía desde el controlador de la central de energía a la turbina eólica, tiene lugar un retraso antes de que la turbina eólica haya podido reducir realmente su potencia entregada en consecuencia. En algunas centrales eólicas, este retraso no es aceptable o permisible.

45 Para superar la desventaja anterior del primer ajuste de control de potencia, una central eólica se puede disponer para gestionar instrucciones de reducción de potencia utilizando un segundo ajuste de control de potencia, que incluye asimismo información relativa a las capacidades de cada turbina eólica en la central. En el segundo ajuste de control de potencia, la información acerca de las capacidades de la potencia activa de las turbinas eólicas individuales incluye un valor de consigna máximo, que se ajusta para que sea igual a la potencia disponible de la turbina eólica, que depende de la velocidad actual del viento. La ventaja de este segundo ajuste de control de potencia es que cuando la central eólica recibe una instrucción para disminuir la potencia entregada, la central eólica reacciona de modo sustancialmente

50

5 inmediato. Sin embargo, el segundo ajuste de control de potencia tiene desventajas ya que se puede perder producción debido a valores de consigna de potencia que no han sido actualizados. Si la velocidad del viento ha aumentado desde que se recibió el último valor de consigna de potencia por la turbina eólica, la turbina eólica no puede aumentar su producción hasta la potencia disponible actualmente. Además, el segundo ajuste control de potencia puede incluir cargas aumentadas sobre componentes de las turbinas eólicas, por ejemplo las palas, el árbol principal, la reductora.

Así pues, sería ventajoso un procedimiento mejorado para controlar una central eólica, y en particular sería ventajoso un procedimiento de control con un retraso bajo y una elevada potencia entregada.

10 Por consiguiente, la invención busca preferiblemente mitigar, aliviar o eliminar una o más de las desventajas anteriormente mencionadas individualmente o en cualquier combinación. En particular, se puede ver como un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento de control para controlar una central eólica que resuelve los problemas anteriormente mencionados en relación con el retraso en la reacción de la central eólica y en relación con la pérdida de producción debida a una potencia entregada máxima permitida desactualizada.

15 Este objeto y diversos otros objetos se obtienen en un primer aspecto de la invención proporcionando un procedimiento para controlar una central eólica que comprende una pluralidad de turbinas eólicas que están conectadas operativamente a una red colectora de la central, comprendiendo el procedimiento las etapas de proporcionar una señal de referencia de potencia deseada; determinar la producción de potencia de la central eólica, y generar una señal de referencia de potencia real en respuesta a la misma; comparar la señal de referencia de potencia deseada con la señal de referencia de potencia real, y realizar una de las siguientes etapas: 1) aplicar una primera característica de filtro como parte de una generación de una referencia de potencia de la turbina eólica si la señal de referencia de potencia deseada supera la señal de referencia de potencia real, o 2) aplicar una segunda característica de filtro como parte de la generación de la referencia de potencia de la turbina eólica si la señal de referencia de potencia real supera la señal de referencia de potencia deseada, en el que la primera característica de filtro es distinta de la segunda característica de filtro. Así pues, el procedimiento de acuerdo con la invención propone comparar la señal de referencia de potencia deseada y la señal de referencia de potencia real, y utilizar una característica de filtro apropiada dependiendo de la comparación. Así pues, se puede utilizar un control optimizado dependiendo de si la señal de referencia de potencia deseada es mayor o menor que la señal de referencia de potencia real. Si la central eólica recibe una instrucción para reducir la potencia de salida por debajo de la señal de referencia de potencia real, se utiliza la segunda característica de filtro, mientras que se utiliza la primera característica de filtro en el caso de que la central eólica no esté limitada.

20 Ventajosamente, la primera característica de filtro comprende una curva de valor de consigna máximo que corresponde sustancialmente a la potencia nominal de la turbina eólica. Esto corresponde a un control sin límites de la turbina eólica, en el sentido de que ninguna entrada externa procedente, por ejemplo, de la red de distribución requiere que la turbina eólica emita menos de su potencia nominal.

35 Además, la segunda característica de filtro comprende una curva de valor de consigna máximo que depende de la potencia real producida por la turbina eólica; ventajosamente, la curva de valor de consigna máximo de la segunda característica de filtro depende de la potencia real promedio producida por la turbina eólica a lo largo de una cantidad de tiempo predeterminada. Alternativamente, la segunda característica de filtro comprende una curva de valor de consigna máximo que corresponde a la potencia disponible para la turbina eólica. Estos son ejemplos que hacen posible que, al recibir una instrucción de reducción de potencia, las turbinas eólicas reaccionen rápidamente de modo que la reducción en la potencia entregada desde la central eólica se puede iniciar inmediatamente.

40 Típicamente, tanto la primera como la segunda característica de filtro comprenden una curva de valor de consigna máximo que depende de una velocidad del viento prevalente.

45 El procedimiento de la invención puede aplicar la primera característica de filtro como parte de la referencia de potencia de la turbina eólica si la señal de referencia de potencia real es igual a la señal de referencia de potencia deseada. Alternativamente, el procedimiento de la invención puede aplicar la segunda característica de filtro como parte de la referencia de potencia de la turbina eólica si la señal de referencia de potencia real es igual a la señal de referencia de potencia deseada.

50 El valor de consigna de las características de filtro se puede referir a uno o más de los siguientes: potencia activa de la turbina eólica, potencia reactiva de la turbina eólica, tensión de red de la turbina eólica, factor de potencia de la turbina eólica y frecuencia de red de la turbina eólica. Así pues, la característica de filtro elegida enviada desde el controlador de la central a las turbinas eólicas individuales da un valor de consigna que se refiere a uno o más de los anteriores elementos; cuando tales valores de consigna se envían a todas las turbinas eólicas en la central eólica, se controla uno o más de los siguientes: potencia activa de la central eólica, potencia reactiva de la central eólica, tensión de la central eólica, factor de potencia de la central eólica y frecuencia de la central eólica.

En un segundo aspecto, la invención se refiere a un controlador de una central eólica dispuesto para llevar a cabo el

procedimiento de cualquiera de la invención. En un tercer aspecto, la invención se refiere a una central eólica que comprende una pluralidad de turbinas eólicas que están conectadas operativamente a una red colectora de la central, estando dispuesta la central eólica para llevar a cabo el procedimiento de la invención.

5 En un cuarto aspecto, la invención se refiere a un producto de programa de ordenador que está adaptado para permitir que un sistema de control de una central que comprende por lo menos un procesador que tiene medios de almacenamiento de datos asociados con el mismo controle las turbinas eólicas de una central eólica de acuerdo con el primer aspecto de la invención.

10 Este cuarto aspecto de la invención es particular aunque no exclusivamente ventajoso, ya que la presente invención se puede implementar mediante un producto de programa de ordenador que permite que un controlador de la central o sistema SCADA realice las operaciones del primer aspecto de la invención. Así pues, se contempla que un controlador de la central o sistema SCADA existente pueda ser variado para funcionar de acuerdo con la presente invención mediante la instalación de un producto de programa de ordenador en un controlador de la central o en un sistema SCADA. Tal producto de programa de ordenador puede estar provisto de cualquier tipo de medio legible por ordenador, por ejemplo un medio de base magnética u óptica, o mediante una red de ordenadores, por ejemplo Internet.

15 Se debe apreciar que el término "potencia real" se refiere a la potencia producida realmente, mientras que el término "potencia deseada" se refiere a la potencia deseada o requerida de la central eólica. Las potencias real y deseada se pueden relacionar con potencia activa y/o reactiva.

20 Cada uno de los aspectos primero, segundo, tercero y cuarto de la presente invención se puede combinar con cualquiera de los otros aspectos. Estos y otros aspectos de la invención serán aparentes de y elucidarlos con referencia a los modos de realización descritos en lo que sigue.

#### **Breve descripción de las figuras**

La presente invención se explicará a continuación, tan sólo a modo de ejemplo, con referencia a las figuras adjuntas, en las cuales:

la figura 1 es un dibujo esquemático de una central eólica;

25 la figura 2 es un gráfico que muestra un ejemplo de una primera característica de filtro en un primer ajuste de control;

la figura 3 es un dibujo esquemático de un control de la central eólica de acuerdo con el primer ajuste de control;

la figura 4 es un gráfico que muestra la salida de la central cuando se utiliza el primer ajuste de control;

la figura 5 es un gráfico que muestra un ejemplo de una segunda característica de filtro en un segundo ajuste de control;

la figura 6 es un dibujo esquemático de un control de la central eólica de acuerdo con el segundo ajuste de control;

30 la figura 7 es un gráfico que muestra una salida reducida de la central cuando se utiliza el segundo ajuste de control;

la figura 8 es un gráfico que muestra las pérdidas de producción cuando se utiliza el segundo ajuste de control de acuerdo con la segunda característica de filtro;

la figura 9 es un gráfico que muestra pérdidas de producción reducidas cuando se utiliza un tercer ajuste de control;

la figura 10 es un diagrama de flujo de un procedimiento de acuerdo con la invención; y

35 la figura 11 es un gráfico que muestra que no ocurren pérdidas de producción cuando se utiliza el procedimiento para controlar una central eólica de acuerdo con la invención.

A lo largo de los dibujos, números similares indican elementos similares.

#### **Descripción detallada de la invención**

40 La figura 1 es un dibujo esquemático de una central eólica 10 que contiene una pluralidad de turbinas eólicas 1 así como equipo de compensación en la forma de un STATCOM 2 y bancos de condensadores 3. Las turbinas eólicas y el equipo de compensación se conectan a un punto de acoplamiento común 12 mediante cables. Los cables entre las turbinas eólicas y el punto de acoplamiento común así como los cables entre el equipo de compensación y el punto de acoplamiento común pueden comprender conmutadores con el fin de desconectar las turbinas eólicas y el equipo de compensación, respectivamente, del punto de acoplamiento común. Un contador de red 14 para medir la producción de potencia de la central eólica se dispone cerca del punto de acoplamiento común 12. La salida del contador de red 14 es la

45

5 entrada a un controlador de la central 15. El controlador de la central 15 recibe asimismo señales en relación a una potencia entregada deseada de la central eólica 10, por ejemplo de una red SCADA o una red de distribución. Otras entradas en relación a una salida deseada de la central eólica 10 pueden surgir de códigos de red, o de un cliente. Las referencias de la central de una red SCADA que supervisa la central eólica pueden ser debidas, por ejemplo, a la protección de las turbinas eólicas u otro equipo de la central eólica.

10 El controlador de la central 15 se dispone para determinar una señal de referencia de potencia deseada a partir de las señales en la salida deseada de la central eólica 10. El controlador de la central 15 proporciona subsiguientemente señales de control a las turbinas eólicas 1 y al equipo de compensación 2, 3 (mostradas mediante las flechas en la figura 1) con el fin de que la central eólica proporcione la salida deseada. Esta medición y control se realizan típicamente de modo sustancialmente continuo.

15 La figura 2 es un gráfico que muestra un ejemplo de una primera característica de filtro 20 en un primer ajuste de control. La primera característica de filtro es una función de limitación de la potencia activa que limita los valores de consigna para la cantidad de potencia activa procedente de una turbina eólica. En la parte superior, el valor de consigna de potencia activa está limitado a la potencia nominal de la turbina eólica. La potencia nominal de la turbina eólica denota asimismo la potencia teórica de la turbina eólica. La potencia nominal o teórica de una turbina eólica es la potencia máxima de la misma. Sin embargo, este límite superior se puede aumentar durante períodos de tiempo cortos, en donde la turbina eólica está sobrevalorada. La potencia nominal puede ser, por ejemplo, 2 MW para una turbina eólica y es la salida máxima posible de la turbina eólica. Así pues, no se deben enviar a la turbina eólica valores de consigna por encima de este límite. El valor de consigna de potencia activa está limitado asimismo a un valor de consigna mínimo, que es el valor de consigna mínimo que una turbina eólica debe recibir debido a limitaciones de carga. Este valor de consigna mínimo depende de la velocidad real del viento. Un ejemplo de potencia mínima se puede observar en la figura 2, en donde el valor de consigna mínimo es constante entre una velocidad del viento igual a cero y la velocidad del viento  $V_1$ , y en donde aumenta de modo sustancialmente lineal desde una velocidad del viento  $V_1$ . Los valores de consigna que se encuentran entre los valores de consigna máximo y mínimo para una velocidad del viento dada se encuentra dentro de la zona de valores de consigna de potencia válidos. Las zonas sombreadas del gráfico de la figura 5 indican áreas fuera de la zona de valores de consigna de potencia válidos.

25 La figura 3 es un dibujo esquemático del control de una central eólica de acuerdo con el primer ajuste de control. La figura 3 muestra una central eólica 10 con un número de turbinas eólicas 1. Cada turbina eólica 1 recibe una característica de filtro 20 de un controlador de la central 15 en el intervalo de valores de consigna posibles de modo que ninguna turbina eólica 1 pueda ajustarse para funcionar en valores de consigna fuera de la zona de valores de consigna válidos para una velocidad de viento dada. La potencia de la pluralidad de turbinas eólicas 1 es entregada a la red en el punto de acoplamiento común 15. Esta potencia entregada de la pluralidad de turbinas eólicas en el punto de acoplamiento común es la potencia entregada por la central eólica; un contador de red 14 mide esta salida de la central eólica e introduce la medición en el controlador de la central 15. El controlador de la central 15 recibe además una entrada de referencia 18 procedente, por ejemplo, de una red de distribución, un cliente, un sistema SCADA, un control de frecuencia, un comercializador o una protección del sistema. El controlador de la central determina un error como la diferencia entre la entrada de referencia 18 y la entrada del contador de red 14. Este error es por tanto la diferencia entre la potencia de referencia y la potencia producida realmente. El controlador de la central 15 utiliza el error para realizar un control con el fin de determinar valores de consigna para las turbinas eólicas 1 en funcionamiento en la central eólica 10, teniendo en consideración la capacidad presente de la turbina eólica 1 individual y garantizando que todas las turbinas eólicas pueden recibir tan solo valores de consigna dentro de la zona de valores de consigna válidos como se definió por la característica de filtro 20. El control realizado se puede multiplicar por un factor de ganancia. El controlador 15 distribuye subsiguientemente los valores de consigna resultantes entre las turbinas eólicas 1 en funcionamiento en la central eólica 10.

30 La figura 4 es un gráfico que muestra la salida de una central eólica cuando se utiliza el primer ajuste de control, es decir, el valor de consigna máximo para las turbinas eólicas 1 de la central eólica 10 es la potencia nominal de las turbinas eólicas 1. El gráfico muestra un valor de consigna de la central agregado 24 que es constante en un valor PPSP1 desde el tiempo cero hasta el tiempo  $t_1$ . PPSP1 puede corresponder, por ejemplo, al número de turbinas eólicas 1 en producción en la central eólica 10 multiplicado por la potencia nominal de las turbinas 1 individuales. En el tiempo  $t_1$ , la salida de la central eólica está limitada y el valor de consigna máximo agregado 24 de la central disminuye considerablemente, hasta un valor PPSP2. La potencia disponible de la central eólica se muestra como el gráfico 21. Desde el tiempo cero hasta el tiempo  $t_1$ , la central eólica 10 permanece sin limitar y la potencia entregada de la central eólica 10 es igual a la potencia disponible 21 de la central eólica. En el tiempo  $t_1$ , la central eólica 10 se limita al valor PPSP2. Se puede ver de la figura 4 que el valor PPSP1 es considerablemente superior a la potencia disponible 21 de la central eólica. Cuando la central eólica está limitada al valor PPSP2, el controlador de la central envía instrucciones de reducción de potencia a una o más de las turbinas eólicas 1. Sin embargo, dado que el controlador de la central 15 parte de un valor de consigna que se iguala al valor de consigna agregado PPSP1 de la central que corresponde a la potencia nominal agregada de las turbinas

eólicas individuales, pasa un tiempo antes de que la central eólica comience a reaccionar, debido al hecho de que la central eólica 10 está controlada de acuerdo con una determinación del error entre la entrada de referencia 18 y la entrada del contador de red 14 (véase la figura 3) y dado que la rampa descendente de los valores de consigna a las turbinas eólicas 1 individuales comienza a partir de la potencia nominal de las turbinas eólicas 1. Esto da como resultado un retraso temporal  $\Delta T$ , antes del inicio real de la rampa descendente de la potencia entregada de la central eólica 10 (que corresponde al tiempo  $t_1 + \Delta T$ , es decir, el cruce entre el valor de consigna de potencia entregada agregada 23 y la potencia disponible 24 de la central eólica). El gráfico de puntos 23 indica el valor de consigna de potencia entregada agregada desde la central eólica 10 resultante de la rampa descendente de los valores de consigna a las turbinas eólicas 1 individuales.

La potencia activa producida realmente por la central eólica se denota por 22. Desde el tiempo cero al tiempo  $t_1$ , es decir, cuando la central eólica 10 permanece sin limitar, la potencia activa 22 de la central eólica es igual a la potencia disponible. En el tiempo  $t_1$ , cuando se impone una limitación sobre la salida de la central eólica, la potencia activa de la central eólica es todavía igual a la potencia disponible, hasta el tiempo  $t_1 + \Delta T$  desde el cual se inicia una rama descendente de la potencia real entregada desde la central eólica. En el tiempo  $t_2$  la potencia activa 22 de la central eólica ha alcanzado el valor de consigna PPSP 2 de central limitada.

La figura 5 es un gráfico que muestra un ejemplo de una segunda característica de filtro 30 en un segundo ajuste de control. La segunda característica de filtro es una función de limitación de la potencia activa que limita los valores de consigna para cantidades de potencia activa de una turbina eólica. Al igual que en el primer ajuste de control, el valor de consigna de potencia activa está limitado a valor de consigna mínimo, que es el valor de consigna mínimo que debe recibir una turbina eólica debido a limitaciones de carga. Este valor de consigna mínimo depende de la velocidad real del viento. Se puede observar de la figura 5 que el valor de consigna mínimo es constante entre una velocidad del viento igual a cero y la velocidad del viento  $V_1$ , y que aumenta de modo sustancialmente lineal a partir de una velocidad del viento  $V_1$ . De acuerdo con el segundo ajuste de control, la potencia activa está limitada por arriba a la potencia disponible de la turbina eólica. La potencia disponible depende de la velocidad real del viento en la turbina eólica. De acuerdo con el segundo ajuste de control, no se deben enviar a la turbina eólica valores de consigna por encima de esta potencia disponible. Los valores de consigna que quedan entre los valores de consigna máximo y mínimo para una velocidad del viento dada están dentro la zona de valores de consigna de potencia válidos. Las zonas sombreadas del gráfico de la figura 5 indican zonas fuera de la zona de valores de consigna de potencia válidos.

La figura 6 es un dibujo esquemático de un control de una central eólica de acuerdo con el segundo ajuste de control. La figura 6 muestra una central eólica 10 con un número de turbinas eólicas 1. Cada turbina eólica 1 recibe una característica de filtro 30 desde un controlador de la central 15 sobre posibles intervalos de valores de consigna de modo que ninguna turbina eólica 1 pueda ser ajustada para funcionar en valores de consigna fuera de la zona de valores de consigna válidos para una velocidad del viento dada. La potencia de la pluralidad de turbinas eólicas 1 se entrega a la red en el punto de acoplamiento común 15. Esta potencia entregada de la pluralidad de turbinas eólicas en el punto de acoplamiento común es la potencia entregada desde la central eólica; un contador de red 14 mide esta salida de la central eólica e introduce la medición en el controlador de la central 15. El controlador de la central 15 recibe además una entrada de referencia 18 procedente, por ejemplo, de una red de distribución, un cliente, un sistema SCADA, un control de frecuencia, un comercializador o una protección del sistema. El controlador de la central determina un error como la diferencia entre la entrada de referencia 18 y la entrada del contador de red 14. Este error es por tanto la diferencia entre la potencia de referencia y la potencia producida realmente. El controlador de la central 15 multiplica el error por un factor de ganancia y distribuye los valores de consigna resultantes entre todas las turbinas eólicas 1 en funcionamiento en la central eólica 10, teniendo en consideración la capacidad presente de la turbina eólica 1 individual y garantizando que todas las turbinas eólicas reciben tan sólo valores de consigna de potencia dentro de la zona de valores de consigna válidos como se define por la característica de filtro 30. La diferencia entre los controles de la central eólica de la figura 3 y de la figura 6 se encuentra en las diferentes características de filtro 20, 30: el valor de consigna máximo de acuerdo con las características de filtro 20 es la potencia nominal de las turbinas eólicas, mientras que el valor de consigna máximo de acuerdo con las características de filtro 30 es la potencia disponible de la turbina eólica. La ventaja de las características de filtro 30 es que, cuando la central eólica 10 recibe una instrucción para limitar la producción, la central eólica 10 comienza a responder a la limitación de un modo considerablemente más rápido en comparación a si se utilizaran las características de filtro 20 para la salida de la turbina eólica. Esto se describirá en más detalle en conexión con la figura 7.

La figura 7 es un gráfico que muestra una salida de la central cuando se utiliza el segundo ajuste de control. De acuerdo con el segundo ajuste de control el valor de consigna máximo para las turbinas eólicas 1 individuales de la central eólica 10 es la potencia disponible de las turbinas eólicas 1. Por sencillez de la comparación entre la salida de la central resultante de los ajustes de control primero y segundo, el valor de consigna 24 de la central, la curva de potencia activa 22 así como el valor de consigna 23 de potencia entregada agregada de la figura 4 se repite en la figura 7. La potencia disponible de la central eólica se muestra como el gráfico 21 y el valor de consigna de potencia para la central eólica se indica por la curva 25; la curva 25 corresponde a la curva 21 de la potencia disponible de la central entre el tiempo cero y

el tiempo t1. En el tiempo t1, la salida de la central eólica está limitada al valor PPSP 2, que se indica por la continuación de la curva 25 en el tiempo t1 hasta una línea horizontal 25. La potencia activa realmente producida por la central eólica se denota por 26.

5 De acuerdo con el segundo ajuste de control, el valor de consigna máximo para la central eólica 10 se ajusta a la potencia disponible 21 de la central eólica. La potencia disponible 21 de la central eólica depende de la velocidad del viento en las turbinas eólicas 1 individuales y corresponde a la suma de la potencia disponible de las turbinas eólicas 1 en funcionamiento.

10 En el tiempo t1, la salida de la central eólica está limitada y el valor de consigna de potencia máximo agregado 25 de la central baja hasta el valor PPSP 2. Desde el tiempo cero hasta el tiempo t1, la central eólica 10 permanece sin limitar y la potencia entregada por la central eólica 10 es igual a la potencia disponible 21 de la central eólica. En el tiempo t1, la central eólica 10 se convierte en limitada al valor PPSP 2.

15 Desde el tiempo cero al tiempo t2, es decir, cuando la central eólica 10 permanece sin limitar, la potencia activa 26 de la central eólica es igual a la potencia disponible. En el tiempo t2, cuando se impone una limitación en la salida de la central eólica, al valor PPSP 2, el controlador de la central envía instrucciones de reducción de potencia a una o más de las turbinas eólicas 1. Como el controlador de la central 15 se inicia desde un valor de consigna igual a la potencia disponible de la central, la central eólica comienza a reaccionar de modo sustancialmente inmediato. En el tiempo t3, la potencia activa 26 emitida por la central eólica 10 ha alcanzado el valor de consigna de la central eólica limitada establecido en el valor PPSP 2 (curva 25 tras el tiempo t1).

20 La diferencia de tiempos  $\Delta t1$  indica la diferencia en tiempo de respuesta entre la central eólica que funciona con el primer ajuste de control y el segundo ajuste de control.  $\Delta t1$  indica así la mejora en el tiempo de reacción cuando se utiliza el segundo ajuste de control.

25 La figura 8 es un gráfico que muestra las pérdidas de producción cuando se utiliza el segundo ajuste de control de acuerdo con la segunda característica de filtro. Cuando la central eólica está controlada por el segundo ajuste de control, el tiempo de reacción en el caso de una limitación en la potencia entregada es considerablemente menor en comparación con el instante de la central eólica en que es controlada por el primer ajuste de control. Sin embargo, existen algunas desventajas en relación con el segundo ajuste de control. Cuando el controlador de la central 10 envía valores de consigna de potencia activa a las turbinas eólicas 1, que están limitadas a la potencia actualmente disponible de las turbinas eólicas 1 individuales, pasa cierto tiempo antes de que las turbinas eólicas 1 reciban un valor de consigna de potencia activa nuevo, actualizado. Si la velocidad del viento aumenta en este tiempo entre dos valores de consigna de potencia activa desde el controlador de la central 10, la turbina eólica 1 se queda enganchada a un valor de consigna de potencia activa antiguo que no permite que la turbina eólica 1 produzca tanta potencia como la potencia actualmente disponible. Así pues, hasta que la turbina eólica 1 reciba un valor de consigna de potencia activa nuevo, actualizado, queda efectivamente restringida y pierde producción de potencia activa. Además, debido a retrasos de comunicación y barrido desde el controlador de la central y un sistema SCADA y viceversa, cualquier punto de potencia activa recibido por las turbinas eólicas 1 individuales ya está anticuado cuando es recibido por las turbinas eólicas 1. Lo anterior se ilustra en la figura 8, en donde la curva 21 indica la potencia disponible de la central eólica y la curva escalonada 27 indica el valor de consigna de potencia para la central eólica. Las secciones en negro representan la producción perdida.

40 Se debe indicar, que con condiciones de viento favorables en las que la potencia disponible es igual a la potencia nominal, no existe el problema de la producción perdida debido a valores de consigna de potencia anticuados. Además, cuando el viento está disminuyendo, el problema de la producción perdida tampoco aparece. Sin embargo, el problema de la producción perdida es bastante grave y puede contribuir a, aproximadamente, una pérdida de alrededor del 5% de la producción disponible debido al uso del segundo ajuste de control.

45 La figura 9 es un gráfico que muestra pérdidas de producción reducidas cuando se utiliza un tercer ajuste de control. La curva T 21 indica la potencia disponible de la central eólica y la curva escalonada 28 indica el valor de consigna de potencia para la central eólica. El valor de consigna de potencia de la central eólica se ajusta a un valor que es mayor que la potencia disponible de la central eólica. Los valores en la curva 28 pueden corresponder, por ejemplo, a un cierto porcentaje por encima de la potencia disponible, tal como un 105% de la potencia disponible, o a un valor absoluto por encima de la potencia disponible, tal como "potencia disponible más unos pocos cientos de kW".

50 Como en la figura 8, las secciones en negro representan producción perdida. Las curvas de potencia disponible 21 de la figura 8 y 9 son idénticas. Se puede observar que la cantidad de potencia perdida se reduce considerablemente cuando se utiliza el tercer ajuste de control, en comparación con el segundo ajuste de control.

La figura 10 es un diagrama de flujo de un procedimiento 100 de acuerdo con la invención. El procedimiento 100 es un procedimiento para controlar una central eólica 10 que comprende una pluralidad de turbinas eólicas 1 que están conectadas funcionalmente a una red colectora de la central en un punto de acoplamiento común 12. El procedimiento

comienza en la etapa 101 y continúa hasta la etapa 102, en donde se proporciona una señal de referencia de potencia deseada. La señal de referencia de potencia deseada corresponde a la salida deseada de la central eólica 10, por ejemplo como consecuencia de uno o más de los siguientes: códigos de red, una red de distribución, un cliente o de una red SCADA que supervisa la central eólica, por ejemplo debido a una protección de las turbinas eólicas u otro equipo de la central eólica. En la etapa 102 subsiguiente, se determina la producción de potencia de la central eólica 10 y se determina una señal de referencia de potencia real como respuesta a la producción de potencia determinada. La determinación de la producción de potencia de la central eólica 10 se realiza, por ejemplo, por medio del contador de red 14 (véase la figura 1). En la etapa 103 subsiguiente, la señal de referencia de potencia deseada se compara con la señal de referencia de potencia real, y se determina si la señal de referencia de potencia supera a la señal de referencia de potencia real. Esta situación corresponde a la situación en la que el error determinado por el controlador de la central 15 en la figura 1 es positivo. Si este es el caso, el procedimiento continúa hasta la etapa 105, en donde se aplica una primera característica de filtro como parte de una generación de una turbina eólica. En el caso opuesto, es decir, si la señal de referencia de potencia real supera la señal de referencia de potencia deseada, que corresponde a la situación en la que el error determinado por el controlador de la central 15 es negativo, se aplica una segunda característica de filtro como parte de la generación de la referencia de la central eólica. La primera característica de filtro es diferente de la segunda característica de filtro.

Como ejemplo, la primera característica de filtro comprende una curva de valor de consigna máximo que corresponde sustancialmente a la potencia nominal de la turbina eólica mientras que la segunda característica de filtro comprende una curva de valor de consigna máximo que depende de la potencia real producida por la turbina eólica o la potencia disponible para la turbina eólica. Así pues, si la central eólica está produciendo menos de la cantidad de potencia requerida (lo que corresponde a un error positivo), el controlador de la central enviará valores de consigna que corresponden a la primera característica de filtro, esto es, dentro de una región de valores de consigna de potencia válidos en la figura 2. Sin embargo, si la central eólica está produciendo más de la cantidad de potencia requerida (lo que corresponde a un error negativo), el controlador de la central envía valores de consigna que corresponden a la segunda característica de filtro, por ejemplo, dentro de una zona de valores de consigna de potencia válidos en la figura 5 que corresponde al segundo ajuste de control, por debajo de una curva de valor de consigna máximo que depende de la potencia real promedio producida por la turbina eólica a lo largo de una cantidad de tiempo predeterminada o dentro de una zona de valores de consigna de potencia válidos que corresponde al tercer ajuste de control.

Así pues, el signo del error se tiene en consideración de modo que cuando no existe una instrucción de reducción de potencia, la central eólica está controlando las turbinas eólicas de acuerdo con la primera característica de filtro, que corresponde al modo en el que las turbinas eólicas fueron diseñadas originalmente, por lo que se eliminan los efectos negativos en relación al uso de los ajustes de control segundo o tercero (es decir, pérdidas de producción, aumentos de carga, actividad de paso aumentada). Típicamente, esta será la situación predominante. Sin embargo, cuando se recibe una instrucción de reducción de potencia, el controlador de la central cambia inmediatamente la estrategia de control, aplicando una segunda característica de filtro como parte de la generación de la referencia de potencia de la turbina eólica, por ejemplo, dentro una zona de valores de consigna de potencia válidos en la figura 5 que corresponde al segundo ajuste de control, por debajo de una curva de valor de consigna máximo que depende de la potencia real promedio producida por la turbina eólica a lo largo de una cantidad de tiempo predeterminada o dentro de una zona de valores de consigna de potencia válidos que corresponde al tercer ajuste de control. Mediante el cambio inmediato de la estrategia de control, la desventaja de utilizar la primera estrategia de control, es decir, el retraso temporal antes de que la central eólica comience a reaccionar a una instrucción de reducción de potencia, se puede aliviar considerablemente. Así pues, tener en consideración el signo del error da como resultado que sea posible aliviar las desventajas de los distintos ajustes de control.

Tanto la primera característica de filtro como la segunda característica de filtro comprenden una curva de valor de consigna mínimo que depende de una velocidad del viento prevalente.

La figura 11 es un gráfico que muestra que no ocurren pérdidas de producción cuando se utiliza el procedimiento para controlar una turbina eólica de acuerdo con la invención. La curva 21 indica la potencia disponible de la central eólica y la línea horizontal 29 indica el valor de consigna de potencia para la central eólica. Típicamente, el valor de consigna de potencia para la central eólica corresponde al número de turbinas eólicas multiplicado por su potencia nominal. Si la central eólica comprende distintos modelos de turbinas eólicas que tienen distintas potencias nominales, el valor de consigna de potencia para la central eólica corresponde a una suma de los números de turbinas eólicas de cada modelo multiplicado por la potencia nominal de los modelos correspondientes. Como en las figuras 8 y 9, las secciones en negro representan pérdida de producción. Sin embargo, se puede observar de la figura 11 que no existe ninguna sección en negro, lo que ilustra que el problema de la pérdida de producción se resuelve cuando se utiliza el procedimiento para controlar una potencia eólica de acuerdo con la invención.

La invención se puede implementar de cualquier forma adecuada incluyendo hardware, software, firmware o una combinación de estos. La invención o algunos elementos de la invención se pueden implementar como un programa de



ordenador que se ejecuta en uno o más procesadores de datos y/o procesadores digitales de señal. Los elementos y componentes de un modo de realización de la invención se pueden implementar física, funcional y lógicamente de cualquier modo adecuado. De hecho, la funcionalidad se puede implementar en una única unidad, en una pluralidad de unidades o como parte de otras unidades funcionales. Como tal, la invención se puede implementar en una única unidad, o se puede distribuir física y funcionalmente entre distintas unidades y procesadores.

Aunque la presente invención se ha descrito en conexión con los modos de realización especificados, no se pretende que quede limitada a las formas específicas establecidas aquí. Antes bien, el ámbito de la presente invención está limitado tan sólo por las reivindicaciones adjuntas. En las reivindicaciones, el término “comprende” no excluye la presencia de otros elementos o etapas. Adicionalmente, aunque se pueden incluir elementos individuales en distintas reivindicaciones, estos se pueden combinar de modo posiblemente ventajoso, y la inclusión en distintas reivindicaciones no implica que una combinación de elementos no sea posible y/o ventajosa. Además, referencias singulares no excluyen una pluralidad. Así pues, referencias a “un”, “uno”, “primero”, “segundo”, etc. no impiden una pluralidad. Además, los signos de referencia de las reivindicaciones no se deben construir como limitativos del ámbito.

15

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para controlar una central eólica que comprende una pluralidad de turbinas eólicas que están conectadas funcionalmente a una red colectora de la central, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

- proporcionar (102) una señal de referencia de potencia deseada,

5 - determinar (103) la producción de potencia de la central eólica, y generar una señal de referencia de potencia real en respuesta a la misma;

caracterizado por que el procedimiento comprende además:

- comparar (104) la señal de referencia de potencia deseada con la señal de referencia de potencia real, y realizar una de las siguientes etapas:

10 1) o bien, si la señal de referencia de potencia deseada supera la señal de referencia de potencia real, aplicar (105) una primera zona de valores de consigna válidos (20) como parte de una generación de una referencia de potencia de la turbina eólica,

15 2) o, si la señal de referencia de potencia real supera la señal de referencia de potencia deseada, aplicar (106) una segunda zona de valores de consigna válidos (30) como parte de la generación de la referencia de potencia de la turbina eólica,

20 en el que la primera zona de valores de consigna válidos (20) comprende un límite inferior definido por una curva de valor de consigna mínimo que depende de una velocidad del viento prevalente y la segunda zona de valores de consigna válidos (30) comprende un límite inferior definido por una curva de valor de consigna mínimo que depende de la velocidad del viento prevalente, y donde la primera zona de valores de consigna válidos (20) es distinta de la segunda zona de valores de consigna válidos (30).

2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la primera zona de valores de consigna válidos (20) comprende un límite superior definido por una curva de valor de consigna máximo que corresponde sustancialmente a la potencia nominal de la turbina eólica.

25 3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la segunda zona de valores de consigna válidos (30) comprende un límite superior definido por una curva de valor de consigna máximo que depende de la potencia real producida por la turbina eólica.

4. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la curva de valor de consigna máximo de la segunda zona de valores de consigna válidos (30) depende de la potencia real promedio producida por la turbina eólica a lo largo de una cantidad de tiempo predeterminada.

30 5. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la segunda zona de valores de consigna válidos (30) comprende un límite superior definido por una curva de valor de consigna máximo que corresponde a la potencia disponible para la turbina eólica.

35 6. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que en el que la primera zona de valores de consigna válidos (20) se aplica como parte de la referencia de potencia de la turbina eólica si la señal de referencia de potencia real es igual a la señal de referencia de potencia deseada.

7. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la segunda zona de valores de consigna válidos (30) se aplica como parte de la referencia de potencia de la turbina eólica si la señal de referencia de potencia real es igual a la señal de referencia de potencia deseada.

40 8. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el valor de consigna se refiere a uno o más de los siguientes: potencia activa de la turbina eólica, potencia reactiva de la turbina eólica, tensión de la turbina eólica, factor de potencia de la turbina eólica y frecuencia de la turbina eólica.

9. Un controlador de la central eólica dispuesto para llevar a cabo el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

45 10. Una central eólica que comprende una pluralidad de turbinas eólicas que están conectadas funcionalmente a una red colectora de la central, estando dispuesta la central eólica para llevar a cabo el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

11. Un producto de programa de ordenador que está adaptado para permitir que un sistema de control de una

central que comprende al menos un procesador que tiene medios de almacenamiento de datos asociados con el mismo controle las turbinas eólicas de una central eólica de acuerdo con el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

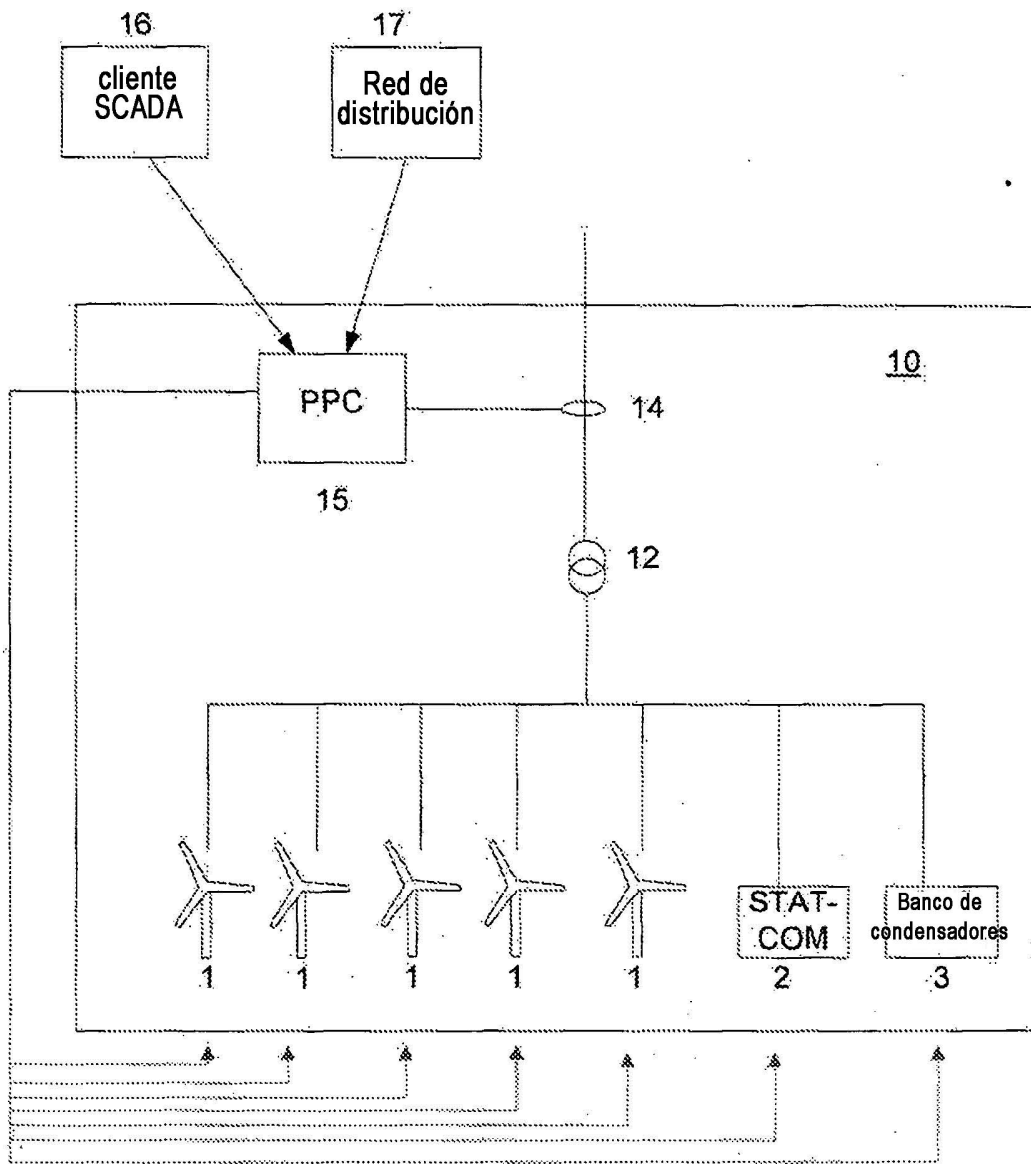


FIG. 1

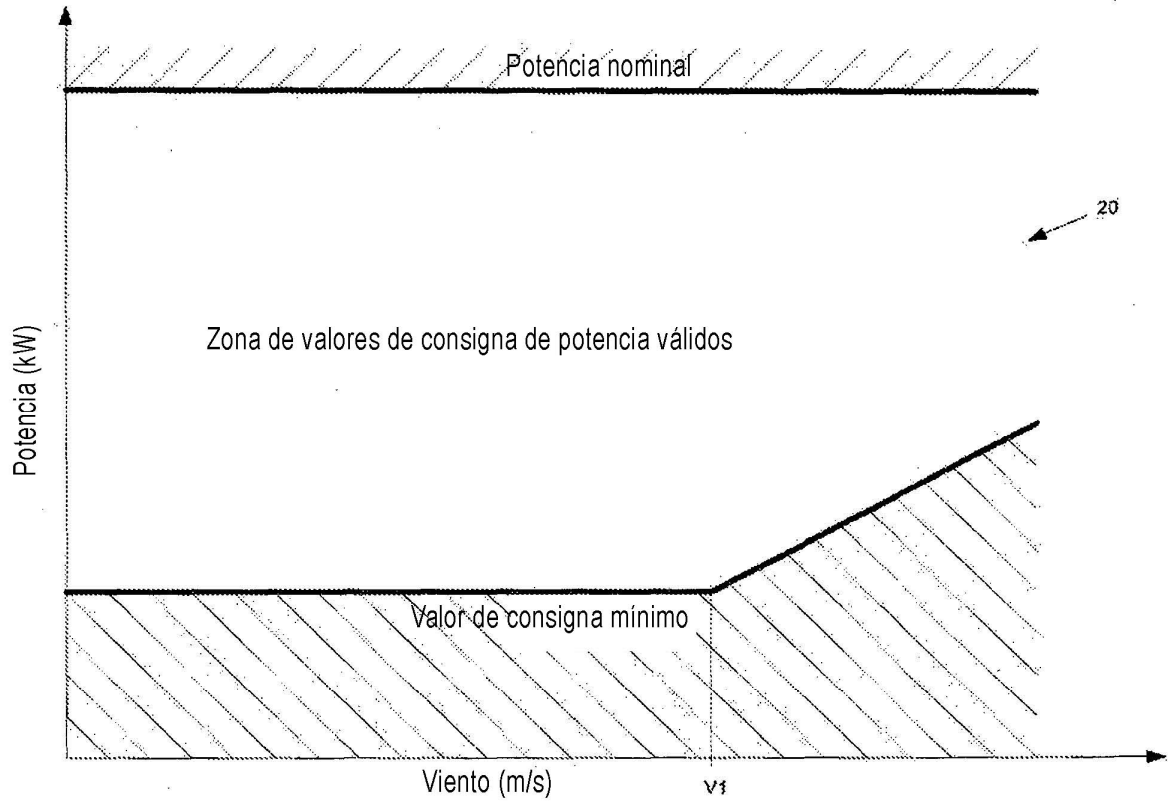


FIG. 2

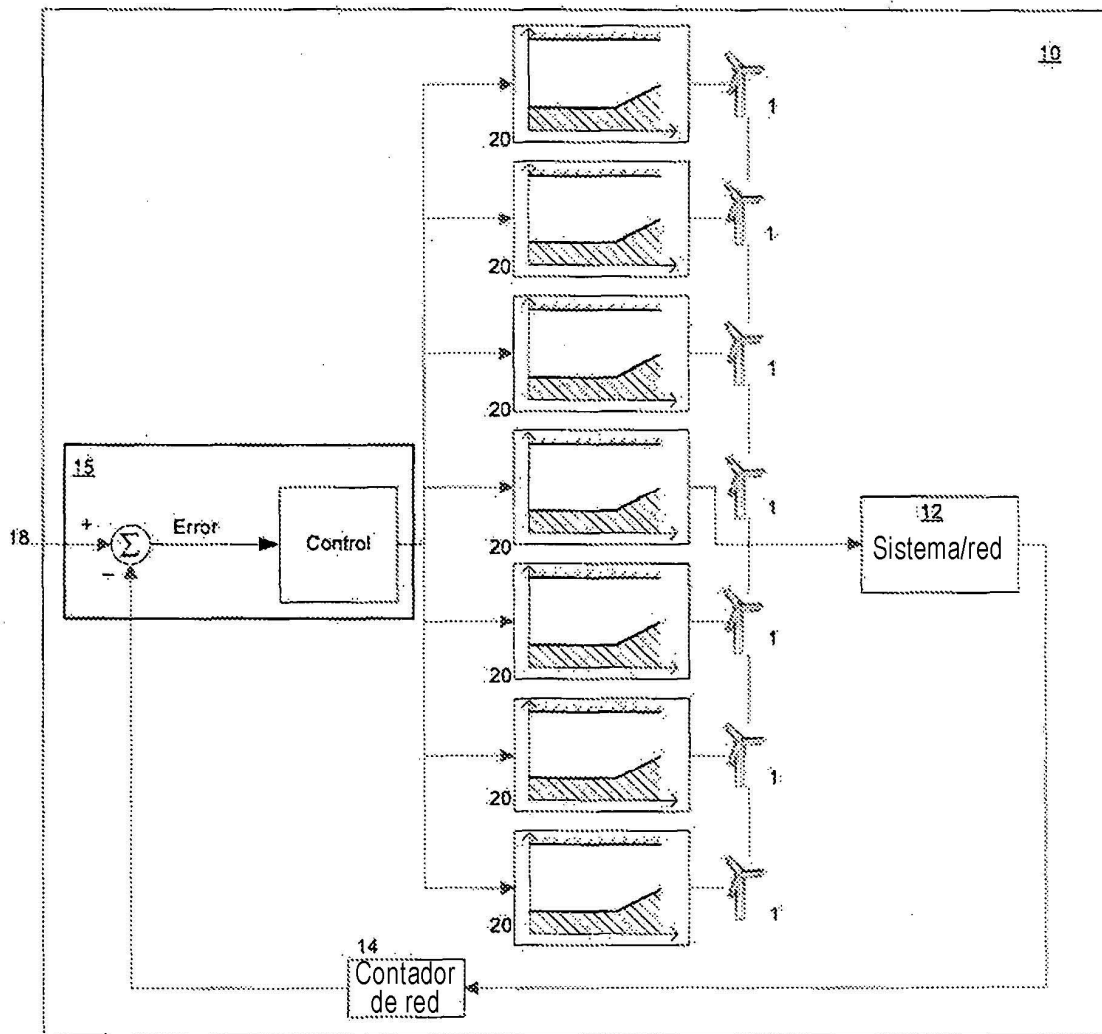


FIG. 3

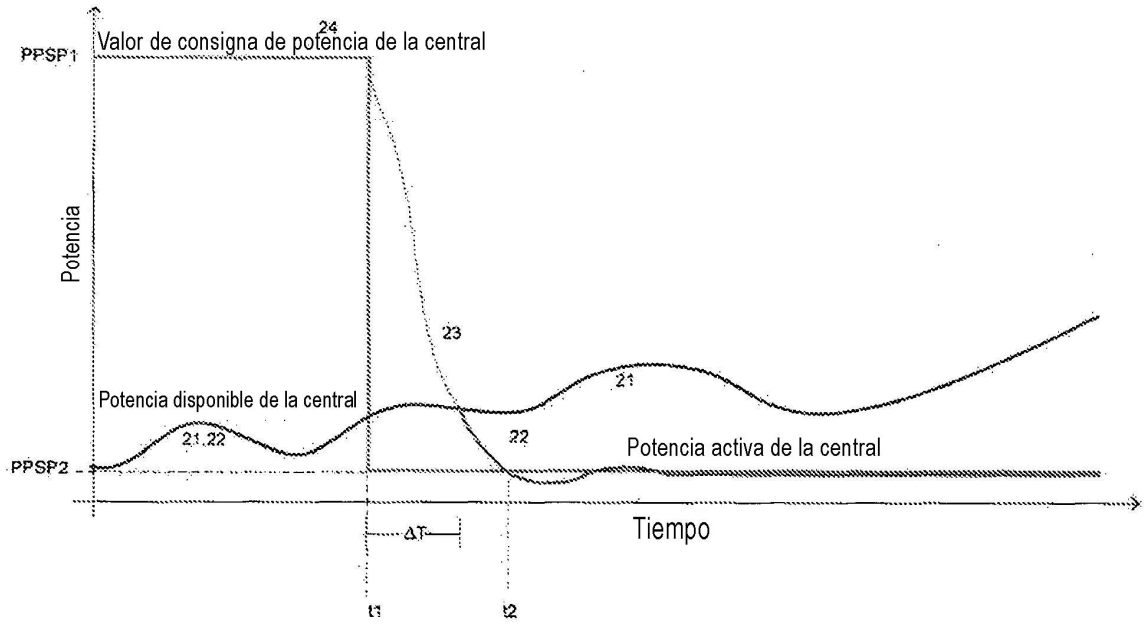


FIG. 4

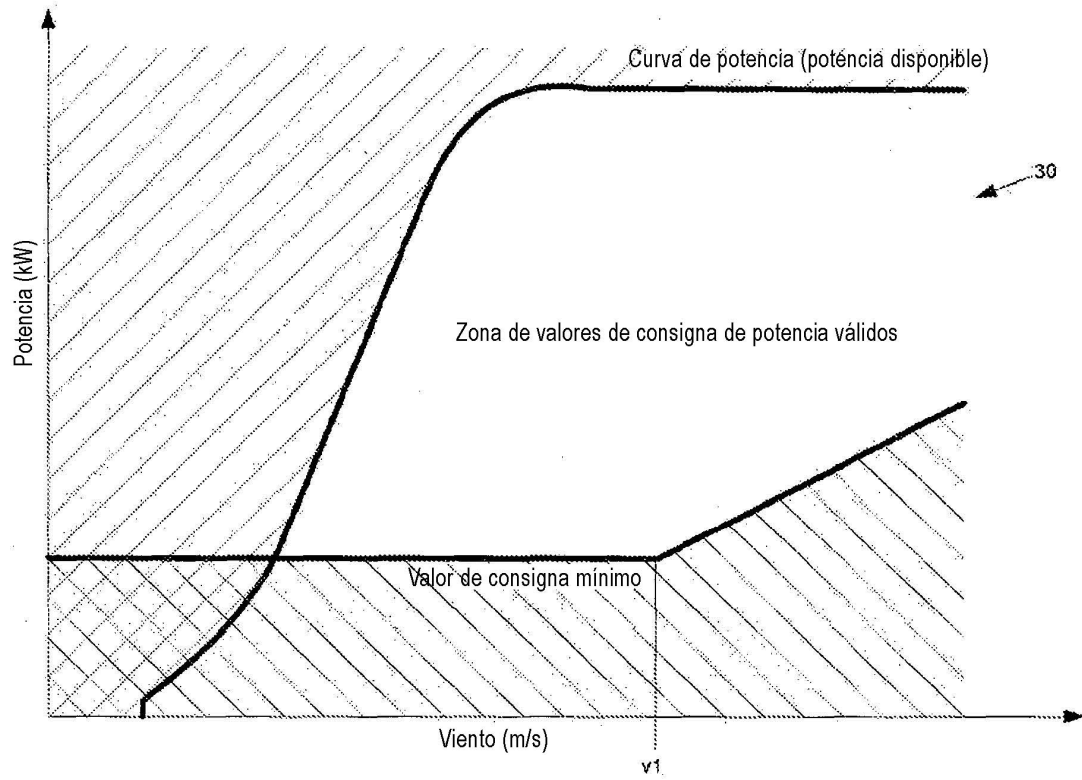


FIG. 5



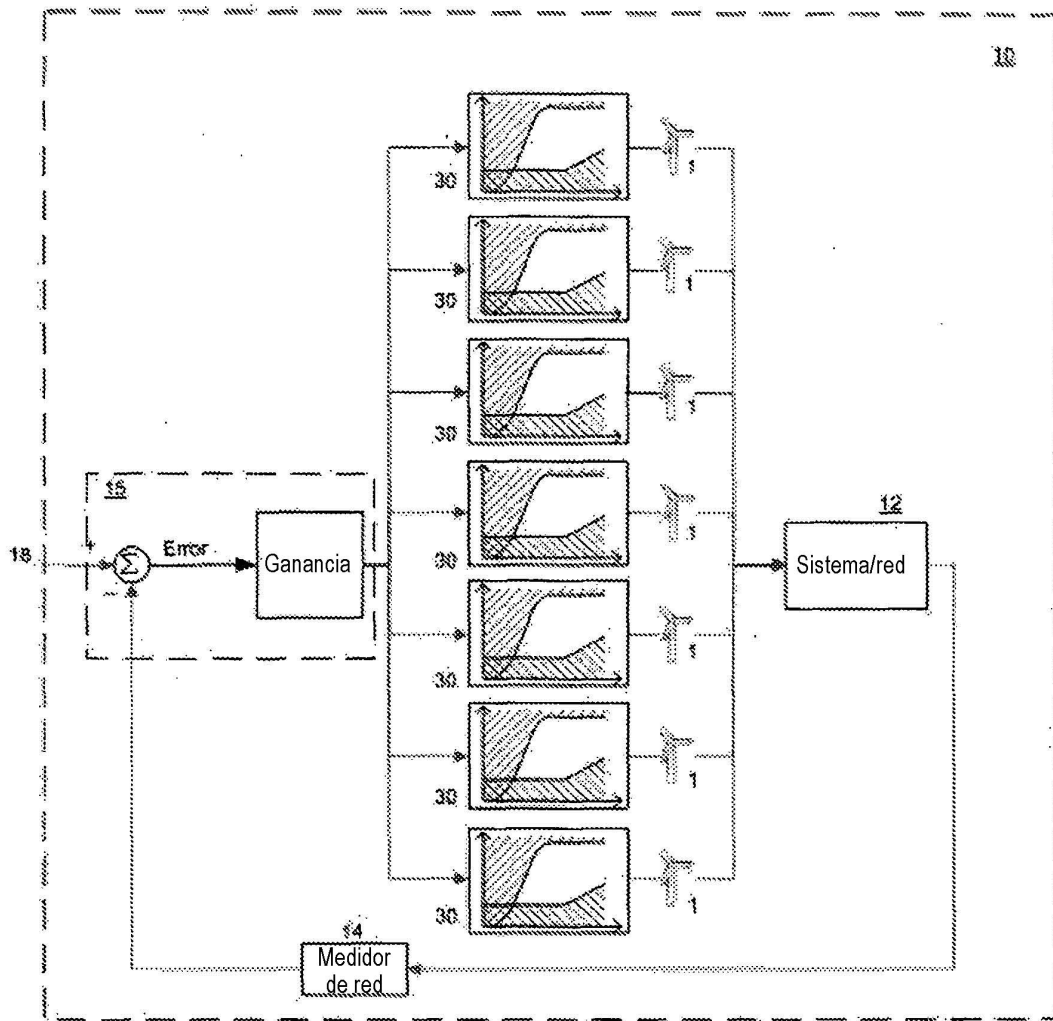


FIG. 6

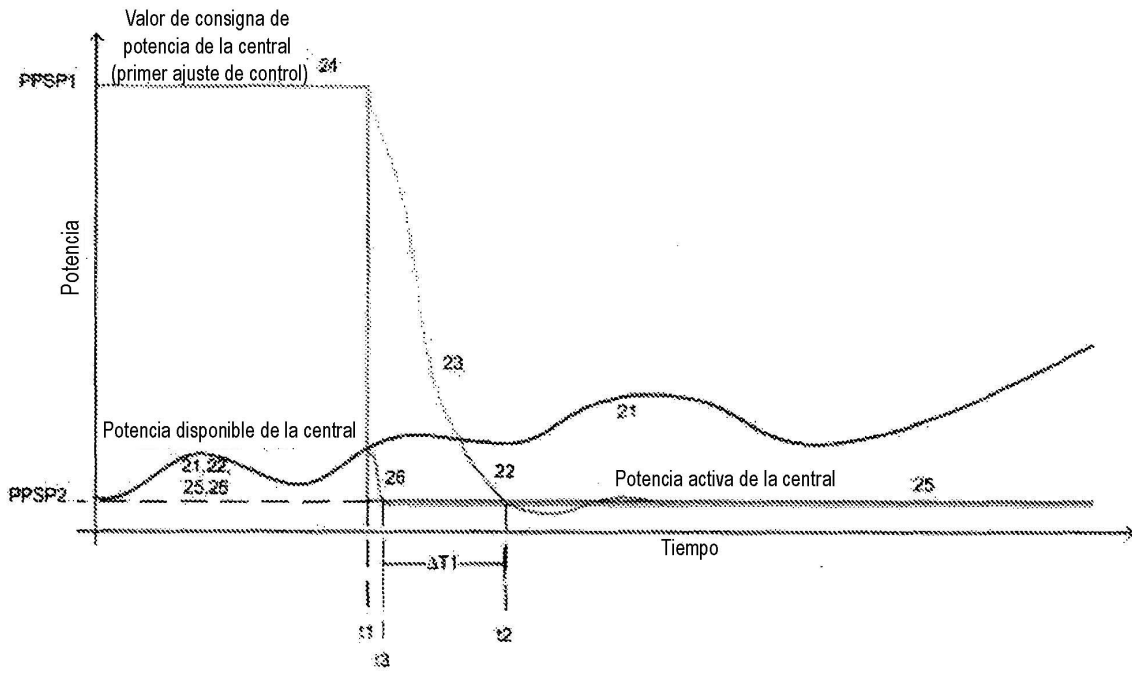


FIG. 7

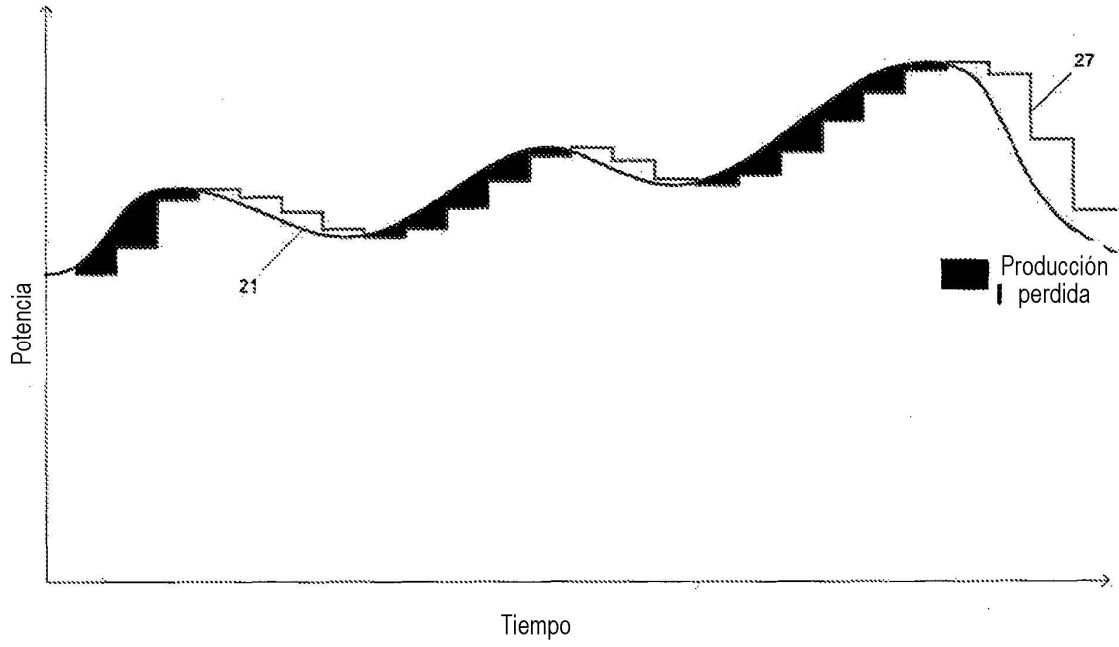


FIG. 8

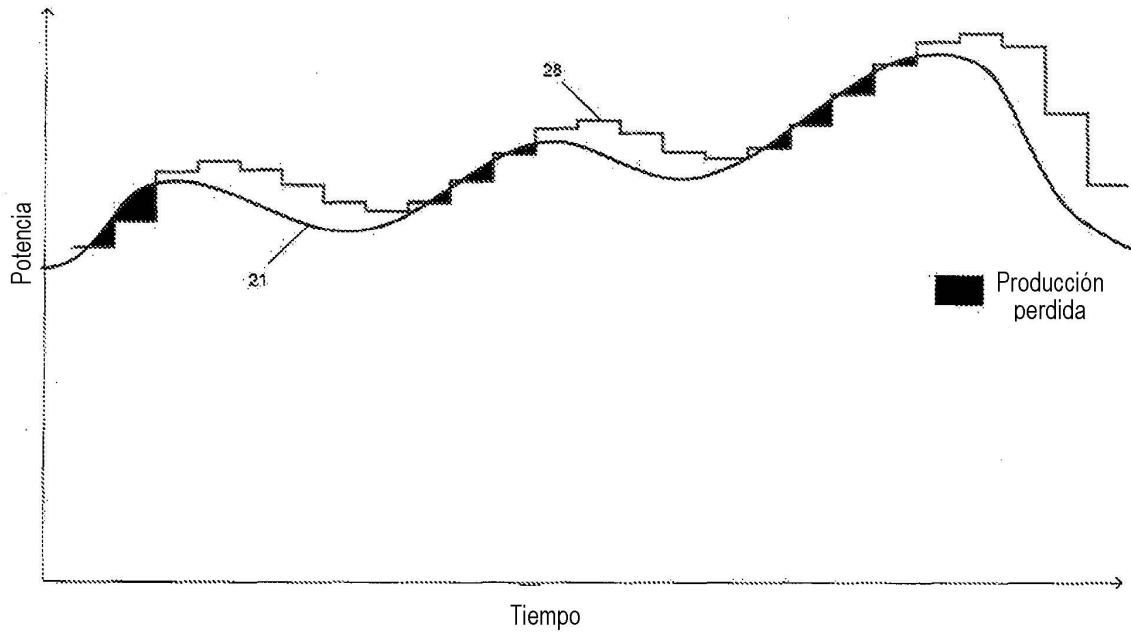


FIG. 9

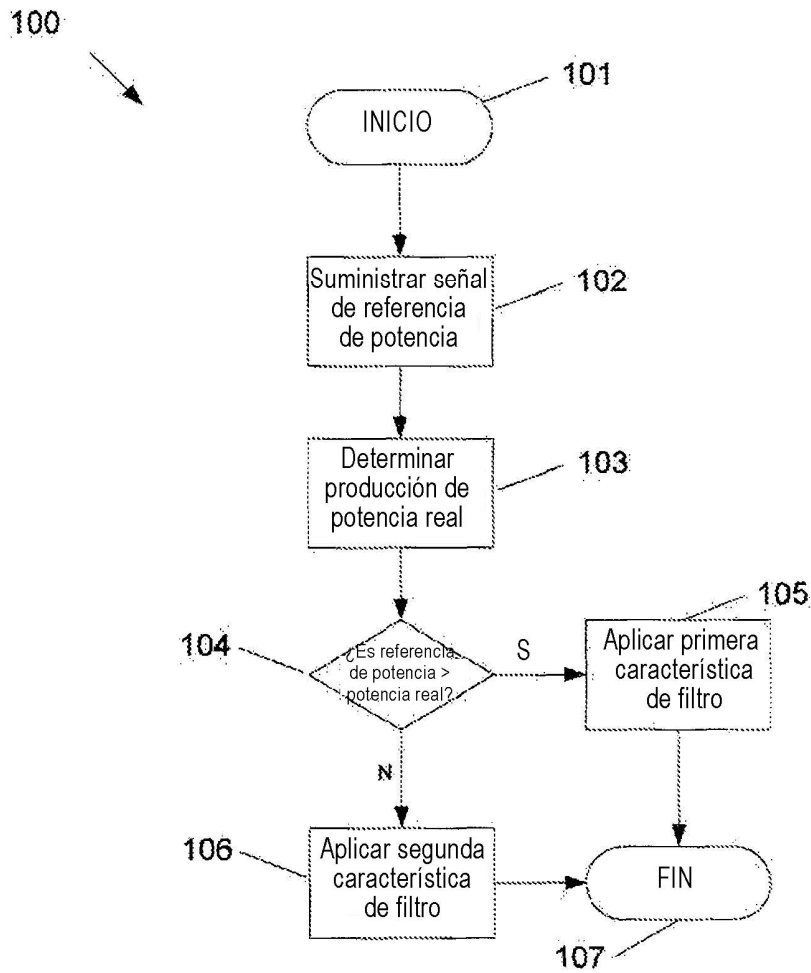


FIG. 10

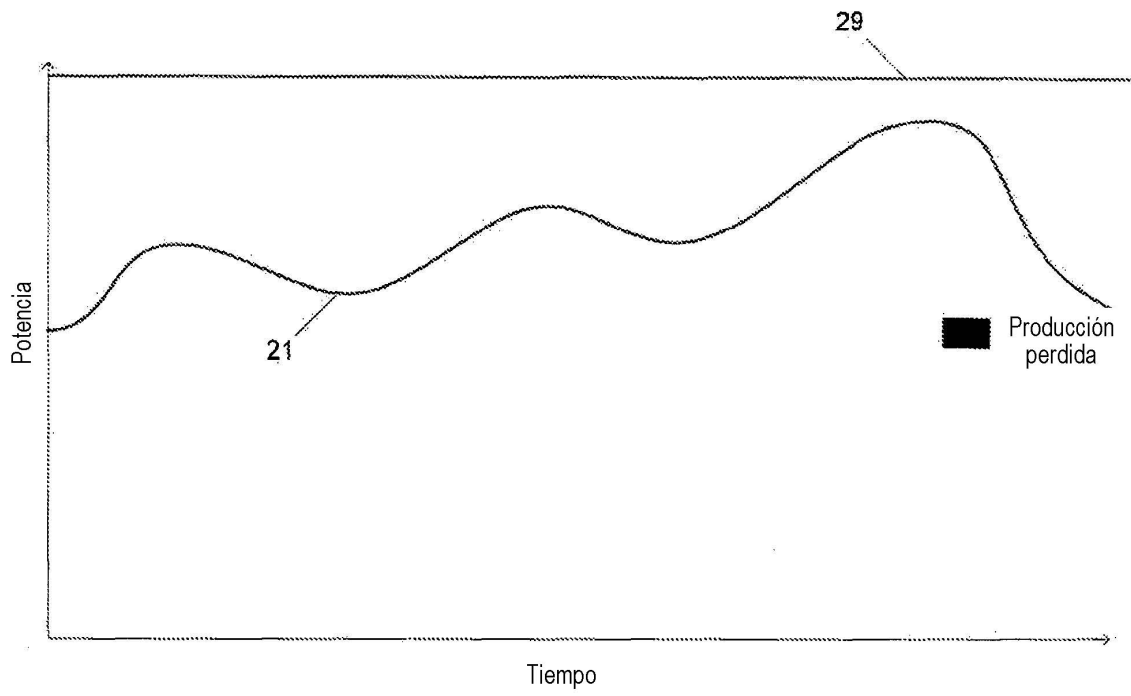


FIG. 11