

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 613 305**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

F03D 13/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.01.2013 PCT/DK2013/050022**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.07.2014 WO2014114295**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.01.2013 E 13707268 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.12.2016 EP 2948679**

54 Título: **Control de turbinas eólicas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.05.2017

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

72 Inventor/es:
**CAPONETTI, FABIO y
KJÆR, MARTIN ANSBJERG**

74 Agente/Representante:
ARIAS SANZ, Juan

ES 2 613 305 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 turbinas eólicas

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere al control de turbinas eólicas, y en particular a un método de control y un sistema de control para incrementar la disponibilidad y el rendimiento de una turbina eólica.

10 **Antecedentes**

La disponibilidad de una turbina eólica es una medida de su capacidad para producir electricidad cuando tanto la turbina eólica como la red están en buenas condiciones y las condiciones ambientales son adecuadas, por ejemplo, cuando la velocidad del viento está por encima del límite de arranque y por debajo del límite de corte. La disponibilidad se expresa como un porcentaje del tiempo de funcionamiento por turbina por año, por ejemplo un 99 % de disponibilidad representa casi cuatro días de pérdida de producción por año.

Para la producción de energía efectiva en coste, es necesario maximizar la disponibilidad de las turbinas eólicas minimizando el tiempo de parada. Las turbinas eólicas son plantas de generación complicadas e incluyen varios sistemas de seguridad diseñados para proteger la turbina eólica frente a daños durante condiciones de operación adversas. Por ejemplo, las turbinas eólicas están diseñadas para cortar por encima de una cierta velocidad del viento para evitar que actúen cargas excesivas sobre las palas y la torre.

Las turbinas eólicas también tienen un cierto número de sensores para supervisar la temperatura de varios componentes, por ejemplo el generador, el aceite de engranajes y el aceite hidráulico del sistema de control de paso. Si la temperatura de uno de estos componentes supera un umbral predeterminado, entonces la turbina eólica puede diseñarse para reducir su capacidad (es decir reducir su producción de potencia), o parar completamente. La reducción de capacidad de la turbina eólica reduce la demanda de la turbina eólica en términos de potencia y/o velocidad y tiene el efecto de estabilizar o reducir la temperatura de los componentes.

Las turbinas eólicas incluyen sistemas de refrigeración para el control de la temperatura de componentes críticos con la temperatura. Por ejemplo, el aceite de engranajes se refrigera haciéndolo circular a través de un intercambiador de calor refrigerado por agua. Las turbinas eólicas típicamente también tienen ventiladores en el interior de la góndola para la refrigeración del agua en el intercambiador de calor y para la refrigeración de otros componentes sensibles a la temperatura dentro de la góndola. Los ventiladores se activan cuando la temperatura ambiente supera un umbral predeterminado o si la temperatura del aceite de engranajes supera un umbral predeterminado. Si el efecto de refrigeración de los ventiladores no es suficiente para mantener las temperaturas por debajo del nivel de operación seguro, entonces podría ser necesario reducir la capacidad de la turbina eólica o pararla. Igualmente, podría ser necesario reducir la capacidad o parar la turbina eólica si hay un fallo en cualquiera de los sistemas de refrigeración que provoque que la temperatura de los componentes críticos supere un nivel de operación de seguridad predeterminado.

Las turbinas eólicas también incluyen calentadores para incrementar la temperatura de componentes sensibles a la temperatura en condiciones frías y para mantener la temperatura de sus componentes al nivel requerido para una operación eficaz. Si la temperatura de los componentes cae por debajo de un umbral, entonces puede impedirse el arranque y/o esto puede impedir que la turbina eólica opere a su máximo nivel de producción de potencia.

Para maximizar la disponibilidad de una turbina eólica, los sistemas de control de la turbina eólica generalmente están diseñados para reducir la capacidad de la turbina eólica en respuesta a un elemento de alarma preferentemente para parar la turbina eólica. Un ejemplo de un escenario de reducción de la capacidad de potencia de la turbina eólica se describe a continuación con referencia a la figura 1. Específicamente, el ejemplo muestra cómo se modula la potencia de la turbina en función de la temperatura del aceite de engranajes para evitar una parada completa de la turbina cuando la temperatura del aceite de engranaje llega a ser demasiado alta.

La Figura 1 es un trazado tanto de la temperatura del aceite de engranajes T_O como de la potencia de referencia P con respecto al tiempo. Con referencia a la Figura 1, a partir del instante t_0 hasta el instante t_2 , la turbina eólica está operando normalmente. La potencia de la turbina P está a su nivel de potencia nominal P_N y la temperatura del aceite de engranajes T_O está en un nivel de operación seguro. En el instante t_1 , hay un fallo en el sistema de refrigeración del aceite de engranajes, lo que provoca que la temperatura del aceite de engranajes T_O se incremente continuamente. En el instante t_2 , la temperatura del aceite de engranajes T_O se incrementa por encima del nivel de seguridad umbral T_{inicio_d} , activando un evento de alarma. El nivel de temperatura de seguridad umbral T_{inicio_d} está ligeramente por debajo de una temperatura de aceite de engranajes máxima T_M por encima de la cual no puede garantizarse una operación segura. El evento de alarma señala al controlador de la turbina eólica que reduzca la capacidad de la turbina eólica, es decir que opere con una producción de potencia reducida.

65

Existe una correlación entre la producción de potencia y la velocidad de rotación y la temperatura del aceite de engranajes, es decir la temperatura del aceite de engranajes T_O es proporcional a la producción de potencia y a la velocidad de rotación, cuando se mantienen constantes todos los demás factores. Una vez que se activa el evento de alarma, la turbina eólica opera con una potencia de capacidad reducida que mantiene la temperatura del aceite de engranajes T_O en un nivel de referencia T_R . En el instante t_3 , el sistema de refrigeración vuelve a conectarse y a trabajar normalmente. A partir del instante t_3 hasta el instante t_4 la producción de potencia P es capaz de incrementarse mientras el sistema de refrigeración mantiene al aceite de engranajes en la temperatura de referencia T_R . En el instante t_4 la producción de potencia P ha vuelto al nivel de potencia nominal P_N y la temperatura del aceite de engranajes T_O cae continuamente. En el instante t_5 , la temperatura del aceite de engranajes T_O cae por debajo de la temperatura umbral T_{parada_d} , punto en el que la turbina eólica detiene la operación a capacidad reducida y vuelve a la operación normal.

La reducción de la capacidad de la turbina eólica tal como se ha descrito anteriormente en el evento de una alarma es preferible a una parada total debido a que permite que la turbina eólica continúe operando una vez se activa el evento de alarma, aunque a un nivel de potencia reducido, incrementando de ese modo la disponibilidad de la turbina eólica.

Si uno de los sensores de temperatura u otros sensores del sistema de control fallaran, entonces pueden pasarse datos incorrectos de vuelta al controlador, y el controlador puede tomar innecesariamente una acción de parada de la turbina eólica debido a la activación del sistema de alarma en base a datos de sensor espurios.

Para evitar este problema, la solicitud PCT de patente en trámite WO 2012/025121 junto con la presente solicitud del presente solicitante describe un sistema para controlar una turbina eólica basado en un estado teórico de la turbina eólica si se determina que un sensor está defectuoso. Por ejemplo, el sistema de control es capaz de estimar la temperatura de componentes críticos tales como el aceite de engranajes basándose en otros parámetros operativos, por ejemplo velocidad del rotor, temperatura ambiente, etc. Si resulta que los datos del sensor están significativamente en desacuerdo con la temperatura estimada, entonces se considera que el sensor está defectuoso, y la turbina eólica se controla basándose en los valores de temperatura estimados. Este método de control reduce la probabilidad de que la turbina eólica se pare o se opere incorrectamente si falla un sensor y por ello incrementa la disponibilidad de la turbina eólica.

Resulta deseable que las turbinas eólicas sean capaces de incrementar su rendimiento (es decir producción de potencia) siempre que sea posible, por ejemplo para compensar que otra turbina eólica de la granja eólica se pare o si el operador de la red demanda un refuerzo de potencia. Sin embargo, esto puede crear un problema cuando la turbina eólica ya está operando cerca de sus límites de temperatura máxima (por ejemplo, con temperaturas ambientales altas, y altas producciones de potencia) debido a que puede activar un evento de alarma que conduzca a que la turbina eólica reduzca su capacidad o pare completamente. Como ya se ha descrito, la parada de la turbina eólica es indeseable en cualquier momento, pero es especialmente indeseable que tenga lugar una reducción de capacidad o parada en el momento en el que se requiere un refuerzo de potencia.

También se conoce una turbina eólica de acuerdo con la técnica anterior a partir del documento WO 2009/003478 A2.

Frente estos antecedentes, la presente invención se dirige a incrementar la disponibilidad de una turbina eólica en condiciones de operación variables. La presente invención también se dirige a proporcionar una estrategia de control capaz de responder a una demanda de refuerzo de potencia, particularmente cuando la turbina eólica ya está operando cerca de sus límites de temperatura.

Sumario de la invención

De acuerdo con la presente invención se proporciona un método de control de una turbina eólica, comprendiendo el método: (a) prever la evolución de temperatura de un componente de la turbina eólica basándose en los parámetros operativos actuales de la turbina eólica y basándose en una producción de potencia requerida; (b) predecir a partir de la previsión de temperatura un evento de alarma futuro provocado porque la temperatura del componente excede un primer nivel umbral o cae por debajo de un segundo nivel umbral; y (c) ajustar los parámetros operativos de la turbina eólica para controlar la evolución de la temperatura del componente evitando o retrasando de ese modo el evento de alarma predicho por lo que la etapa (c) comprende la refrigeración o incremento de la refrigeración del componente antes del evento de alarma predicho o por lo que la etapa (c) comprende el calentamiento o incremento del calentamiento del componente antes del evento de alarma predicho.

El componente puede ser el aceite de engranajes, el fluido hidráulico, el convertidor, el sistema de refrigeración por agua y/o una o más fases del generador. El componente se dimensiona para una operación segura a temperaturas entre el primer y el segundo umbrales. Preferentemente, el método implica la previsión de la evolución de la temperatura de una pluralidad de componentes.

Mediante la predicción de la evolución de la temperatura del (de los) componente(s) puede adoptarse una acción proactiva para mantener la temperatura del componente a un nivel adecuado para asegurar que la turbina eólica pueda operar normalmente con el nivel de producción de potencia requerido y/o adaptarse a las solicitudes de un refuerzo de potencia sin activar ningún evento de alarma.

5 Por ejemplo, si se prevé que la temperatura del componente puede superar el primer nivel umbral en un punto futuro en el tiempo, entonces los sistemas de refrigeración asociados con el componente se activan o sobreexplotan con anticipación a ese punto futuro en el tiempo para impedir o retardar la aparición de un evento de alarma. Esto incrementa la disponibilidad de la turbina eólica y le permite continuar operando normalmente, mientras que si no se toman etapas proactivas en caso contrario podría ser necesario reducir la capacidad o parar la turbina eólica.

15 A la inversa, con bajas temperaturas, hay un riesgo de que la temperatura del componente pueda caer por debajo del segundo nivel umbral, en donde estaría demasiado frío para garantizar una operación segura. Por ejemplo, si la temperatura del aceite de engranajes se llega a ser demasiado baja, entonces su viscosidad podría ser demasiado alta para proporcionar una lubricación efectiva. En consecuencia, si se predice que la temperatura del componente puede caer por debajo del segundo nivel umbral en un punto futuro en el tiempo, entonces los sistemas de calentamiento asociados con el componente se activan o sobreexplotan con anticipación a ese punto futuro en el tiempo para impedir o retardar un evento de alarma.

20 Como alternativa o adicionalmente, el método puede comprender el ajuste de la velocidad del rotor, del par o el ajuste en otra forma de producción de potencia de la turbina eólica antes del evento de alarma predicho. La potencia es el producto de la velocidad por el par, y de ese modo el ajuste de solamente uno de estos parámetros conllevará una variación en la potencia, mientras que es posible ajustar ambos parámetros simultáneamente de tal manera que la potencia permanezca constante. En términos de comportamiento térmico, el (los) componente(s) pueden responder a variaciones en el par de manera diferente a variaciones en la velocidad del rotor. En consecuencia, es posible seleccionar valores adecuados para el par y la velocidad de rotor con los que sea menos probable que se active un evento de alarma futuro, pero dando todavía como resultado el nivel de potencia requerido.

30 El método es particularmente ventajoso cuando la turbina eólica necesita ser sobreexplotada, por ejemplo para compensar otra turbina eólica de la granja eólica que esté parando o en otro caso para satisfacer una solicitud de un refuerzo de potencia por parte del operador de la red. En este sentido, la etapa (a) del método puede comprender la previsión del efecto de un incremento de demanda en la producción de potencia de la turbina eólica sobre la evolución de la temperatura del componente. Si se predice en la etapa (b) que la sobreestimación de la turbina eólica es probable que active un evento de alarma, entonces pueden adoptarse etapas proactivas (tales como las ya mencionadas anteriormente) para evitar o retardar el evento de alarma.

35 Si se requiere un refuerzo de potencia, entonces es posible incrementar o bien la velocidad del rotor o bien el par, o ambos. Se ha descrito anteriormente que el comportamiento con respecto a la temperatura de los componentes es diferente para variaciones en el par que para variaciones en la velocidad del rotor. En consecuencia, el método puede comprender la elección entre diferentes estrategias de sobreestimación o determinar en otro caso una estrategia de sobreestimación que sea menos probable que dé como resultado que se active un evento de alarma.

40 Por ello, el método puede comprender la previsión del efecto sobre la evolución de la temperatura del componente de la primera y segunda estrategias de sobreestimación para conseguir el incremento de potencia demandado, en el que la primera estrategia de sobreestimación implica el incremento de la velocidad del rotor y la segunda estrategia de sobreestimación implica el incremento del par, y la selección de la estrategia de sobreestimación que sea menos probable que active un evento de alarma futuro.

50 El método puede comprender la determinación de una potencia de sobreestimación máxima "segura" a la que la turbina eólica puede operar sin activar un evento de alarma futuro. Si el refuerzo de potencia demandado está por encima de este nivel, entonces el método puede implicar la saturación de la orden de refuerzo de potencia al máximo nivel "seguro", garantizando de ese modo la operación continua. Usando este enfoque puede ser posible también evitar la necesidad de activar o sobreexplotar los sistemas de refrigeración.

55 Los parámetros operativos actuales de la turbina eólica pueden incluir valores de temperatura medidos. La mayor parte de las turbinas eólicas incluye sensores para la medición de la temperatura ambientales en el exterior de la góndola y para la medición de la temperatura en el interior de la góndola. La turbina eólica puede incluir también sensores de temperatura para la medición de la temperatura del agua de refrigeración, del fluido hidráulico y de los aceites de lubricación.

60 Como alternativa, o adicionalmente, los parámetros operativos actuales pueden incluir los valores de temperatura estimados. Se ha descrito anteriormente por medio de los antecedentes que la solicitud pendiente WO 2012/025121 junto con la presente solicitud del presente solicitante describe métodos para la operación de una turbina eólica basándose en un estado teórico de la turbina eólica. Esto es particularmente útil cuando se encuentra que un sensor está defectuoso. Por ejemplo, si se encuentra que el sensor de temperatura para la medición de la temperatura del agua de refrigeración está defectuoso, la temperatura del agua de refrigeración puede estimarse a partir de otros

5 parámetros operativos tales como las temperaturas medidas en el interior y exterior de la góndola, el punto de consigna de potencia, y a partir de las relaciones de transferencia de calor conocidas entre varios componentes del sistema basándose en las leyes de Newton de refrigeración. Como alternativa, o adicionalmente, si se encuentra que un sensor está defectuoso, podrían usarse los datos de sensores de otras turbinas eólicas localizadas en la misma granja eólica en lugar de la información del sensor defectuoso.

10 La invención proporciona también un sistema de control de turbina eólica que comprende un controlador de producción y una pluralidad de módulos de control para el control de la operación de una pluralidad de componentes de la turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 9.

15 El controlador de producción puede calcular la previsión de temperatura. Sin embargo, el sistema de control comprende preferentemente un módulo observador de temperatura dispuesto para recibir parámetros operativos de la turbina eólica y para prever la evolución de la temperatura de uno o más de los componentes de la turbina eólica basándose en esos parámetros operativos. El módulo observador de temperatura puede configurarse para recibir información indicativa de la temperatura de los componentes de la turbina eólica y para recibir la referencia de potencia y la referencia de velocidad determinadas por el controlador de producción. Como alternativa o adicionalmente, el módulo observador de temperatura puede recibir estimaciones de las temperaturas de uno o más de los componentes de la turbina eólica. El valor de los parámetros estimados ya se ha explicado anteriormente.

20 El módulo observador de temperatura puede configurarse para recibir una señal de estado desde el módulo del convertidor. Esta señal de estado puede incluir una indicación de la potencia activa y reactiva disponible que el módulo del convertidor es capaz de proporcionar dado su estado de corriente (temperatura) y el estado de la red (tensión y frecuencia). Este valor puede usarse para determinar la referencia de potencia máxima por encima de la potencia nominal a la que se tendría capacidad de operar la turbina sin activar un evento de alarma en conexión con la carga térmica del módulo del convertidor. La referencia de potencia máxima puede usarse entonces en lugar de una orden de refuerzo de potencia si la orden de refuerzo de potencia se predice que provoca la elevación de la temperatura del módulo del convertidor por encima del primer nivel umbral.

30 El sistema de control de acuerdo con la invención se configura para operar uno o más sistemas de calentamiento o refrigeración de la turbina eólica antes de que se produzca un elemento de alarma predicho para evitar o retardar el evento de alarma predicho. El módulo observador de temperatura se configura para controlar directamente los sistemas de calefacción y refrigeración de la turbina eólica.

35 El módulo observador de temperatura incluye un control adecuado y puede integrarse fácilmente dentro de los sistemas de control de la turbina eólica existentes (o bien en el momento de producción de la turbina eólica o bien puede acondicionarse en una turbina eólica existente) para recibir parámetros operativos desde el controlador de producción y datos de temperatura desde los diversos módulos de control de la turbina eólica asociados con los diversos componentes de la turbina. A partir de esta información, el módulo observador de temperatura puede prever la evolución de la temperatura de los diversos componentes y predecir eventos de alarma en el horizonte. Al asociar directamente el módulo observador de temperatura con sistemas de calentamiento y refrigeración auxiliares, el módulo observador de temperatura puede activar proactivamente esos sistemas o incrementar los niveles de calentamiento o refrigeración con anticipación a un evento de alarma predicho para evitar que se produzca el evento de alarma. Esto incrementa la disponibilidad de la turbina eólica.

45 La invención es particularmente beneficiosa con altas temperaturas ambientales y cuando la turbina eólica está operando a su máxima potencia dado que en dichos casos los diversos componentes pueden operar cerca de sus temperaturas máximas. Mientras que los sistemas de control existentes pueden no ser capaces de adaptarse a una solicitud de refuerzo de potencia en dichas circunstancias, la presente invención permite que dichas solicitudes se adapten a través de un control proactivo de los sistemas de refrigeración auxiliares y/o mediante la saturación de una orden de refuerzo de potencia hasta un nivel "seguro" en el que no se predice que pueden producirse eventos de alarma futuros, como ya se ha descrito.

50 La invención es también ventajosa en condiciones frías en donde es posible prever caídas de temperatura debido a regímenes de temperatura baja severos y activar sistemas de calentamiento antes de que se haya predicho que se produzca un evento de alarma.

55 El concepto inventivo incluye una turbina eólica que comprende un sistema de control tal como se ha descrito anteriormente, y una granja eólica que comprende una pluralidad de dichas turbinas eólicas.

60 Se apreciará que características opcionales descritas anteriormente en relación con el aspecto del método de la invención son aplicables igualmente a la invención cuando se expresa en términos de un sistema, y por ello se ha evitado la repetición de estas características hasta donde es posible. De modo similar, características opcionales descritas anteriormente en relación con el sistema también son aplicables a la invención cuando se expresa en términos de un método.

65

Breve descripción de los dibujos

5 La Figura 1 que muestra un escenario de reducción de la capacidad de potencia en caso de fallo del sistema de refrigeración del aceite de engranajes ya se ha descrito anteriormente por medio de los antecedentes de la presente invención.

Para que la invención se comprenda con más claridad, a continuación se describen ejemplos de la invención con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

- 10 la Figura 2 muestra una turbina eólica de acuerdo con una realización de la presente invención;
- la Figura 3 es una representación esquemática de la góndola y del rotor de la turbina eólica mostrada en la Figura 2;
- 15 la Figura 4 es una representación esquemática de un sistema de control de turbina eólica para el control de la turbina eólica de la Figura 2;
- la Figura 5 es un trazado de la evolución de la temperatura de un componente de la turbina eólica mostrando la situación cuando un refuerzo de potencia demandado activa un elemento de alarma;
- 20 la Figura 6 es un trazado que muestra la evolución de la temperatura del componente cuando se activa la refrigeración por adelantado para impedir que se active el evento de alarma; y
- 25 la Figura 7 es un trazado simulado que muestra una previsión de la evolución de la temperatura del aceite de engranajes de una turbina eólica cuando se demanda un refuerzo de potencia.

Descripción detallada

30 La Figura 2 muestra la turbina eólica 10 de acuerdo con una realización de la presente invención. La turbina eólica 10 comprende una torre 12 que soporta una góndola 14 en su extremo superior. Se monta un rotor 16 en la góndola 14. El rotor 16 comprende tres palas de rotor 18, que se extienden desde un buje central 20. Hay pluralidad de actuadores (no mostrados) situados en el interior del buje 20. Los actuadores son parte de un sistema de control de paso, y están configurados para girar las palas 18 alrededor de su eje longitudinal respectivo para controlar la velocidad de rotación del rotor 16 dependiendo de las condiciones del viento y de la demanda de potencia. En este ejemplo los actuadores se operan hidráulicamente, aunque en otros ejemplos los actuadores pueden operarse por otros medios, por ejemplo eléctricamente.

35 La Figura 3 es una representación esquemática simplificada de la góndola 14 y del rotor 16. Con referencia a la Figura 3, la góndola 14 aloja un generador 22 y una caja de engranajes 24. Un engranaje de baja velocidad 26 engrana con un engranaje de alta velocidad 28 en el interior de la caja de engranajes 24. El engranaje de baja velocidad 26 se monta en un extremo del árbol de baja velocidad 30, y el rotor 16 se monta en el otro extremo de dicho árbol 30. El engranaje de alta velocidad 28 se monta sobre un extremo de un árbol de alta velocidad 32 y el otro extremo del árbol de alta velocidad 32 conecta con el generador 22, que convierte la energía de rotación del árbol 32 de alta velocidad en energía eléctrica. La caja de engranajes 24 incluye un cojinete de baja velocidad 34 para soportar el árbol de baja velocidad 30 y un cojinete de alta velocidad 36 para soportar el árbol de alta velocidad 32.

40 La caja de engranajes 24 incluye adicionalmente un cárter de aceite 38 que contiene aceite de engranajes, en el que el engranaje de alta velocidad 28 y el cojinete de alta velocidad 36 se muestran parcialmente sumergidos. Se localiza una entrada de aceite 40 en la parte superior de la caja de engranajes 24. La góndola 14 también aloja un cierto número de sistemas de refrigeración auxiliares. En este ejemplo, se muestra un intercambiador de calor refrigerado por agua 42 asociado con la caja de engranajes 24 para la refrigeración del aceite de engranajes, y uno o más ventiladores 44 para la refrigeración del aire en el interior de la góndola 14.

45 Uno o más controladores 46 para controlar la turbina eólica 10 también están situados en el interior de la góndola 14. Los controladores 46 reciben señales de entrada desde una pluralidad de sensores asociados con los diversos componentes. En este ejemplo, una pluralidad de los primeros sensores de temperatura 48 se configura para detectar las temperaturas respectivas de las tres fases del generador 22; un segundo sensor de temperatura 50 se configura para detectar la temperatura T_w del agua de refrigeración del intercambiador de calor 42; un tercer sensor de temperatura 52 se configura para detectar la temperatura del fluido hidráulico del sistema de control de paso; un cuarto sensor 54 se configura para detectar la temperatura T_N del aire en el interior de la góndola; y un quinto sensor 56 se configura para detectar la temperatura $T_{ambiente}$ del aire ambiente en el exterior de la góndola.

50 Se debe apreciar que la Figura 3 es una representación simplificada de la góndola 14. En realidad habría más componentes dentro de la góndola 14 y los componentes pueden configurarse de modo diferente. Por ejemplo, la caja de engranajes 24 puede comprender cualquier número y disposición adecuados de engranajes o podría tener

un cárter seco, en el que el aceite se bombea sobre los engranajes antes de ser recogido en un tanque principal en donde se filtra y refrigera.

La Figura 4 es una representación esquemática de un sistema de control 58 de turbina eólica para controlar la turbina eólica 10 de la Figura 2. El sistema de control 58 comprende un controlador de producción 60 y un controlador de turbina 62. El controlador de turbina 62 comprende su vez una pluralidad de módulos de control de turbina 64, 66, 68, 70 asociados respectivamente con la caja de engranajes, el generador, el fluido hidráulico del sistema de control de paso, y sistemas de refrigeración auxiliares tales como el intercambiador de calor y los ventiladores mencionados anteriormente. El controlador de producción 60 y el controlador de turbina 62 se configuran para comunicar directamente, e indirectamente a través de un módulo observador de temperatura 72. El módulo observador de temperatura 72 es una característica novedosa del sistema de control de la presente invención, y su operación se describirá con más detalle más adelante.

Los diversos módulos de control de turbina 64-70 incluyen cada uno un sensor de temperatura respectivo y un estimador de temperatura respectivo. Como se ha mencionado anteriormente, los sensores de temperatura se configuran para medir la temperatura de los componentes con los que están asociados. La temperatura medida de los componentes se comunica al controlador de producción 60 por medio del controlador de turbina 62 a través de un bus de datos 74.

Los estimadores de temperatura se configuran para estimar la temperatura de sus componentes asociados basándose en los parámetros operativos de la turbina eólica, las condiciones ambientales y a partir de relaciones termodinámicas. Un ejemplo de estimador de temperatura del aceite de engranajes se describe en detalle más adelante, y pueden hallarse detalles adicionales de los estimadores de temperatura en la solicitud de patente pendiente WO 2012/025121 junto con la presente solicitud del presente solicitante, que ya se ha descrito anteriormente por medio de los antecedentes de la presente invención.

Como es conocido en la técnica, el controlador de producción 60 determina una referencia de potencia y una referencia de velocidad para la operación de la turbina eólica basándose en una potencia demandada y parámetros externos medidos tales como la velocidad del viento. La referencia de potencia y la referencia de velocidad se comunican al controlador de turbina a través del bus de datos 74, que opera los diversos componentes de la turbina de acuerdo con estrategias de control predeterminadas para seguir los valores de referencia de velocidad y referencia de potencia fijados por el controlador de producción 60.

Si la temperatura de la caja de engranajes, generador o fluido hidráulico excede un nivel umbral predeterminado, entonces se genera un evento de alarma. En respuesta al evento de alarma, el controlador de producción 60 determina el modo de reducción de la capacidad de operación mediante la reducción de la referencia de potencia y/o la referencia de velocidad proporcionada al controlador de turbina 62. Si la disminución de la capacidad de la turbina no es suficiente para reducir la temperatura del (de los) componente(s) a un nivel "seguro", entonces el controlador de producción 60 puede emprender la acción de parar la turbina eólica.

El módulo observador de temperatura 72 de la presente invención se relaciona con el incremento de la disponibilidad de la turbina eólica mediante la predicción de la posibilidad de que se produzca un evento de alarma en el futuro y adoptar etapas proactivas para evitar o retardar la aparición del elemento de alarma. Las mediciones de temperatura desde el controlador de turbina 62 y los valores de temperatura estimados a partir de los diversos módulos de control de turbina 64-70 se comunican al módulo observador de temperatura 72 a través de un bus de datos 76. El módulo observador de temperatura 72 también recibe la referencia de potencia y la referencia de velocidad del controlador de producción 60, y otras entradas tales como la temperatura del aire ambiente T_{ambiente} y la temperatura T_N en el interior de la góndola 14. El módulo observador de temperatura 72 también se conecta a los sistemas de refrigeración auxiliares 70 y se configura para recibir el estado actual de los sistemas de refrigeración auxiliares y para controlar los sistemas de refrigeración auxiliares tal como se describe adicionalmente más adelante.

Basándose en las mediciones de temperatura desde los diversos módulos de control 64-70, el módulo observador de temperatura 72 prevé la evolución de la temperatura de la caja de engranajes, las diversas fases del generador, el fluido hidráulico, el convertidor y cualesquiera otros componentes críticos con la temperatura y determina si es probable que se produzca un evento de alarma en un instante futuro. El módulo observador de temperatura 72 comunica la previsión de la evolución de temperatura al controlador de producción 60 junto con el tiempo estimado para la alarma. Si el módulo observador de temperatura 72 determina que es probable que se produzca un evento de alarma en el futuro, puede adoptar una acción proactiva para impedir que se produzca el evento de alarma, por ejemplo mediante el control de los sistemas de calentamiento o refrigeración y/o el ajuste de la velocidad del rotor o del par. Esto garantiza la operación continua de la turbina eólica tanto en condiciones frías como calientes y permite que la turbina eólica se sobreexplota sin activación de eventos de alarma. A continuación se describe un ejemplo con referencia a las Figuras 5 y 6.

La Figura 5 es un trazado de la temperatura de un componente de la turbina eólica con respecto al tiempo. El componente puede ser por ejemplo, el generador, el aceite de engranajes o el fluido hidráulico. La línea continua 100 entre el instante t_0 y el instante t_1 muestra la temperatura medida del componente, obtenida a partir de lecturas

del sensor, mientras que la línea de puntos 102 desde el instante t_1 en adelante muestra la evolución estimada de la temperatura del componente determinada por el módulo observador de temperatura 72.

Desde el instante t_0 a t_1 la turbina eólica está operando normalmente y la temperatura medida del componente está por debajo de una temperatura umbral de alarma T_A . En el instante t_1 , el operador de la red demanda un refuerzo de potencia y el controlador de producción 60 calcula un valor de referencia de potencia incrementado. Basándose en el valor de referencia de potencia incrementado y los parámetros operativos actuales de la turbina eólica, el módulo observador de temperatura 72 calcula una evolución de temperatura predicha del componente (línea de puntos 102), a la que también se hace referencia en el presente documento como “previsión” de temperatura.

A partir de la previsión de temperatura, el módulo observador de temperatura 72 predice que la temperatura del componente alcanzará la temperatura umbral de alarma T_A en un instante futuro t_2 . En la práctica, una vez se alcanza la temperatura umbral de alarma T_A , el controlador de producción 60 inicia la reducción de capacidad de la turbina eólica. El módulo observador de temperatura 72 factoriza esta operación de reducción de capacidad predicha después del instante t_2 dentro de la previsión. Al permitir una operación con capacidad reducida, el módulo observador de temperatura 72 predice que en el instante futuro t_3 la temperatura del componente alcanzará una temperatura umbral de alarma extendido T_{EA} , en cuyo punto el controlador de producción 60 parará la turbina eólica.

Como se ha mencionado anteriormente, el módulo observador de temperatura 72 es capaz de controlar los sistemas de refrigeración auxiliares 70 proactivamente para impedir que se produzca un evento de alarma, como se describe a continuación con referencia a la Figura 6.

Con referencia a la Figura 6, esta muestra dos trayectorias para la evolución de la temperatura prevista del componente. La primera trayectoria viene indicada por la línea de puntos 102 y corresponde a la línea de puntos en la Figura 5 descrita anteriormente. La segunda trayectoria viene indicada por la línea discontinua 104, y representa la situación en la que la refrigeración del componente se activa en el instante t_1 cuando se demanda el refuerzo de potencia. Con referencia primero a la primera trayectoria 102 (es decir sin refrigeración activada) el módulo observador de temperatura 72 predice que la temperatura umbral de alarma T_A se alcanzará en el instante t_2 y continuará elevándose posteriormente entre el instante t_2 y el instante t_3 . Ahora con referencia a la segunda trayectoria 104, el módulo observador de temperatura 72 predice que si se activa la refrigeración en el instante t_1 , entonces la temperatura del componente seguirá incrementándose pero permanecerá por debajo de la temperatura umbral de alarma T_A en el instante t_2 y se estabilizará a un nivel que seguirá por debajo de la temperatura umbral de alarma T_A en el instante t_3 .

En consecuencia, mediante la activación u otra forma de control de uno o más sistemas de refrigeración auxiliares 70 antes de un evento de alarma predicho, el módulo observador de temperatura 72 es capaz de impedir que la temperatura del (de los) componente(s) se eleve por encima de la temperatura umbral de alarma T_A relevante y evitar por lo tanto la necesidad de reducir la capacidad o parar la turbina eólica. Al prever la evolución de la temperatura de componentes críticos con la temperatura, y controlar proactivamente los sistemas de refrigeración auxiliares 70, la turbina eólica es capaz de adaptarse a solicitudes de un refuerzo de potencia incluso cuando la turbina eólica esté operando cerca de sus límites máximos y con elevadas temperaturas ambientales.

A continuación se ofrece una explicación de la teoría de apoyo de uno de los estimadores de temperatura, concretamente del estimador de temperatura del aceite de engranajes, y una explicación de cómo el módulo observador de temperatura prevé la evolución de la temperatura basándose en los valores de temperatura estimados.

Con referencia de nuevo a la Figura 3, la temperatura del aceite de engranajes T_O está afectada por la temperatura T_B del cojinete de alta velocidad, por el flujo y temperatura T_W del agua de refrigeración a través del intercambiador de calor, y por la temperatura T_N en el interior de la góndola. Durante la operación de la turbina eólica 10, se transfiere calor desde los engranajes giratorios 26, 28 al aceite del cárter 38. El aceite caliente se extrae entonces desde el cárter y se filtra antes de ser bombeado a través del intercambiador de calor 42. El agua de refrigeración del intercambiador de calor refrigera el aceite y el aceite refrigerado y filtrado se bombea de vuelta al interior de la caja de engranajes 24 a través de la entrada de aceite 40.

Para calcular la temperatura del aceite de engranajes T_O se ha de hallar una estimación de la energía total añadida o extraída desde el aceite de engranajes. Haciendo uso de las leyes de Newton de refrigeración, es posible calcular la transferencia de calor entre dos componentes con diferentes temperaturas usando la siguiente ecuación:

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

Ecuación 1

ES 2 613 305 T3

En la que Q es el flujo de pérdida de calor (W), h es el coeficiente de transferencia térmico ($W/m^2 K$) A es el área superficial de transferencia térmica entre los componentes (m^2) y $T_1 - T_2$ es la diferencia de temperatura entre los componentes (K).

5 En las ecuaciones siguientes, se usa una única constante $K_{cojinete}$ (W/K) como la constante para la transferencia de energía entre el cojinete de alta velocidad y el aceite de engranajes, en la que

$$K_{cojinete} = h \cdot A$$

10 Ecuación 2

La transferencia de energía desde el cojinete al aceite de engranajes se calcula entonces usando la siguiente ecuación:

$$15 \quad Q = \int K_{cojinete} \cdot (T_B - T_O) dt$$

Ecuación 3

en la que T_B es la temperatura del cojinete y T_O es la temperatura del aceite de engranajes.

20 La transferencia de energía total al aceite de engranajes requiere la resta de la energía transferida fuera desde el aceite de engranajes al aire del interior de la góndola y al agua de refrigeración del intercambiador de calor de la caja de engranajes. En consecuencia, la energía total transferida al aceite de engranajes puede expresarse usando la siguiente ecuación:

$$25 \quad Q_{total} = \int (T_B - T_O) \cdot K_{cojinete} dt - \int (T_O - T_N) \cdot K_{gondola} dt - \int (T_O - T_W) \cdot K_{refrigeración} dt$$

Ecuación 4

30 en la que T_N es la temperatura del aire en el interior de la góndola, T_W es la temperatura del agua de refrigeración del intercambiador de calor, $K_{gondola}$ es la constante de transferencia térmica desde el aceite de engranajes al aire del interior de la góndola, y $K_{refrigeración}$ es la constante de transferencia térmica desde el aceite de engranajes al agua de refrigeración.

35 La temperatura del aceite de engranajes se incrementa proporcionalmente a la energía total añadida al aceite de engranajes. En consecuencia, la temperatura estimada del aceite de engranajes puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$40 \quad T_O = Q_{total} \cdot K_{aceite} + T_{Oinicial}$$

Ecuación 5

45 En la que T_O es la temperatura estimada del aceite de engranajes; K_{aceite} es la constante de proporcionalidad entre la temperatura del aceite de engranajes y la energía añadida al aceite de engranajes; y $T_{Oinicial}$ es la temperatura inicial del aceite de engranajes.

La ecuación 5 anterior puede escribirse en forma de un predictor de temperatura en el dominio del tiempo, como sigue:

$$50 \quad T_O(t + \Delta t) = T_O(t) + K_{oil} \left(\begin{aligned} & (T_B(t) - T_O(t)) \cdot e^{(-K_{cojinete} \Delta t)} - (T_O(t) - T_N(t)) \cdot e^{(K_{gondola} \Delta t)} \\ & - (T_O(t) - T_W(t)) \cdot e^{(K_{refrigeración} \Delta t)} \end{aligned} \right)$$

Ecuación 6

En la que t es el instante actual y Δt es el intervalo de predicción.

55 La siguiente tarea consiste en determinar las diversas constantes térmicas, lo que requiere comprender cómo opera el sistema de refrigeración. En este ejemplo, el sistema de refrigeración opera en tres modos diferentes dependiendo de la temperatura del aceite de engranajes. En un primer modo de "no refrigeración", los ventiladores se desconectan y por ello no tiene lugar refrigeración auxiliar del agua en el intercambiador de calor. En un segundo modo de "baja refrigeración", los ventiladores operan a velocidad relativamente baja si la temperatura del aceite de engranajes alcanza 55 °C, y los ventiladores se desconectan cuando la temperatura del aceite de engranajes baja a 47 °C. En un tercer modo de refrigeración, los ventiladores operan a velocidad relativamente alta cuando la

temperatura del aceite de engranajes alcanza 60 °C, y los ventiladores se desconectan cuando la temperatura cae a 52 °C.

5 Esto significa que la constante $K_{refrigeración}$ tendrá tres valores diferentes dependiendo de en cuál de los modos está operando el sistema de refrigeración.

10 Aunque el experto en la materia apreciará que hay varias formas de determinar las diferentes constantes térmicas, un método conveniente consiste en usar los datos registrados de T_B , T_N , T_W y T_O junto con la versión discretizada de la Ecuación 6 y una rutina MATLAB. La rutina MATLAB se extiende a través de los diferentes valores de todas las constantes de transferencia térmica y para cada cambio de la constante compara las temperaturas del aceite de engranajes calculadas usando la Ecuación 6 con la temperatura medida usando el método de "mínimos cuadrados". Se elige entonces el conjunto de constantes de transferencia térmica que da el mínimo error de mínimos cuadrados entre los datos estimados y medidos.

15 Una vez que se conocen las constantes de transferencia térmica, el módulo observador de temperatura 72 puede prever la evolución de la temperatura del aceite de engranajes usando la Ecuación 6 anterior. El cálculo de la previsión asume que las variables T_B , T_N y T_W permanecen constantes durante el intervalo de tiempo Δt de predicción. La temperatura de equilibrio puede evaluarse mediante el cálculo de las soluciones en el dominio del tiempo para la ecuación diferencial.

20 Si el sistema de control requiere un refuerzo de potencia en un punto en el tiempo futuro, se determina un nuevo conjunto de puntos de velocidad del rotor. La temperatura de cojinetes T_B varía en proporción a la velocidad del rotor, y el módulo observador de temperatura 72 accede a una tabla de búsqueda que correlaciona la temperatura de cojinetes con la velocidad del rotor. Esto permite que el módulo observador de temperatura 72 prevea la evolución de temperatura del aceite de engranajes cuando se requiere un refuerzo de potencia, como se explica a continuación adicionalmente por medio de un ejemplo, con referencia a la Figura 7.

25 Con referencia a la Figura 7, esta es un trazado simulado que muestra la evolución de la temperatura prevista del aceite de engranajes (T_O) calculada usando la Ecuación 6 anterior. La figura incluye también trazados de la evolución de la temperatura prevista del cojinete de alta velocidad (T_B), del agua de refrigeración (T_W) y de la góndola (T_N). Los parámetros iniciales son los siguientes:

- 35 $T_O(t) = 49$ °C (temperatura inicial del cárter del aceite de engranajes)
- $T_B = 50$ °C (temperatura inicial del cojinete de alta velocidad)
- $T_N = 30$ °C (temperatura de la góndola)
- $T_W = 40$ °C (temperatura del agua)

40 Entre el instante $t = 0$ hasta $t = 10$ segundos, la turbina eólica está operando en un primer punto de consigna de velocidad del rotor. La temperatura del aceite de engranajes T_O cae desde su valor inicial de 49 °C en $t = 0$ a una temperatura de equilibrio de aproximadamente 46 °C en aproximadamente $t = 8$ segundos. La previsión asume que T_N y T_W permanecen constantes durante la duración del período de tiempo de previsión, que es de veinte segundos en este ejemplo.

45 El módulo observador de temperatura 72 recibe una señal desde el controlador de producción 60 de que se requiere un refuerzo de potencia en $t = 10$ segundos. El refuerzo de potencia requerirá que la velocidad del rotor se incremente a un segundo nivel de punto de consigna, que es más alto que el primer punto de consigna. El módulo observador de temperatura 72 determina a partir de la tabla de búsqueda, la temperatura predicha T_B del cojinete de alta velocidad correspondiente al segundo punto de consigna de velocidad rotor. El módulo observador de temperatura 72 también determina, a partir de datos previamente registrados, que el segundo punto de consigna de velocidad del rotor se alcanzará en aproximadamente un tiempo $t = 15$ segundos, y que la temperatura del cojinete de alta velocidad T_B se eleva linealmente durante este periodo. El módulo observador de temperatura 72 puede predecir entonces la evolución de la temperatura del aceite de engranajes basándose en esta elevación predicha en la temperatura del cojinete de alta velocidad T_B . En consecuencia, se prevé que la temperatura del aceite de engranajes T_O se eleve continuamente desde aproximadamente 46 °C en $t = 10$ segundos, hasta una nueva temperatura estable de aproximadamente 48,5 °C en $t = 19$ segundos.

55 Se apreciará que las constantes de transferencia térmica cambiarán de valor si se realizan cambios en el sistema, por ejemplo si se cambia la posición de los sensores o si se varían los modos de operación del sistema de refrigeración. Para hacer que el predictor de temperatura sea más robusto frente a mediciones "verdaderas", pueden utilizarse enfoques estándar basados en filtros de Kalman o métodos equivalentes. En dichos casos, las mediciones actuales pueden usarse para actualizar predicciones antiguas y para corregir predicciones futuras de acuerdo con la nueva información sobre el sistema. Además, los predictores de temperatura, debido a la simple dinámica implicada, pueden construirse en forma de ecuaciones autorregresivas, identificadas directamente a partir de los datos medidos. Por ello los predictores pueden formularse usando métodos de mínimos cuadrados junto con metodologías de identificación de orden modelo.

Pueden realizarse varias modificaciones en los ejemplos anteriores sin desviarse del alcance de la presente invención tal y como se define en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método de control de una turbina eólica, comprendiendo el método:
 - 5 (a) prever una evolución de temperatura de un componente de la turbina eólica basándose en parámetros operativos actuales de la turbina eólica y en una producción de potencia requerida;
 - (b) predecir a partir de la previsión de temperatura un evento de alarma futuro provocado porque la temperatura del componente excede un primer nivel umbral o cae por debajo de un segundo nivel umbral; y
 - 10 (c) ajustar los parámetros operativos de la turbina eólica para controlar la evolución de temperatura del componente evitando o retrasando de ese modo el evento de alarma predicho

caracterizado por que la etapa (c) comprende la refrigeración o incremento de la refrigeración del componente antes del evento de alarma predicho o por que la etapa (c) comprende el calentamiento o incremento del calentamiento del componente antes del evento de alarma predicho.
- 15 2. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que la etapa (c) comprende el ajuste de velocidad del rotor, de par o de producción de potencia antes del evento de alarma predicho.
3. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que la etapa (a) comprende la previsión de un efecto de un incremento demandado en la producción de potencia de la turbina eólica sobre la evolución de temperatura del componente.
 - 20 4. El método de la reivindicación 3, que comprende adicionalmente la previsión del efecto sobre la evolución de temperatura del componente de primera y segunda estrategias de sobreestimación para conseguir el incremento demandado en potencia, en el que la primera estrategia de sobreestimación implica el incremento de velocidad de rotor y la segunda estrategia de sobreestimación implica el incremento de par, y seleccionar la estrategia de sobreestimación que es menos probable que dé como resultado que se produzca un evento de alarma futuro.
 - 25 5. El método de la reivindicación 3 o reivindicación 4, que comprende adicionalmente la determinación de una potencia de sobreestimación máxima a la que la turbina eólica puede operar sin la activación de un evento de alarma futuro si se predice en la etapa (b) que el incremento demandado en la producción de potencia activará un evento de alarma futuro, y operar la turbina eólica para producir la potencia de sobreestimación máxima.
 - 30 6. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que el componente es el aceite de engranajes, el fluido hidráulico, el convertidor, el sistema de agua de refrigeración y/o una o más fases del generador.
 - 35 7. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que los parámetros operativos actuales de la turbina eólica incluyen valores de temperatura medidos.
 - 40 8. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que los parámetros operativos actuales incluyen valores de temperatura estimados.
 9. Un sistema de control de turbina eólica que comprende un controlador de producción y una pluralidad de módulos de control para el control de la operación de una pluralidad de componentes de la turbina eólica, estando configurado el controlador de producción para calcular una referencia de potencia y una referencia de velocidad para la operación de los componentes de la turbina eólica basándose en parámetros medidos tales como velocidad de viento y la temperatura de los componentes de la turbina eólica, en el que el sistema está configurado para:
 - 45 (a) prever una evolución de temperatura de uno o más de los componentes de la turbina eólica basándose en los parámetros operativos y basándose en una producción de potencia requerida;
 - 50 (b) predecir a partir de la previsión de temperatura un evento de alarma futuro provocado porque la temperatura de un componente excede un primer nivel umbral o cae por debajo de un segundo nivel umbral; y
 - (c) ajustar los parámetros operativos de la turbina eólica para controlar la evolución de temperatura del componente evitando o retrasando de ese modo el evento de alarma predicho

caracterizado por que el sistema de control está configurado adicionalmente para operar uno o más sistemas de calentamiento o refrigeración de la turbina eólica antes de que se produzca el elemento de alarma predicho para evitar o retardar el evento de alarma predicho.
 - 55 10. El sistema de control de turbina eólica de la reivindicación 9, que comprende adicionalmente un módulo observador de temperatura dispuesto para recibir parámetros operativos de la turbina eólica y para prever la evolución de temperatura de los uno o más componentes de la turbina eólica basándose en los parámetros operativos y la producción de potencia requerida.
 - 60 11. El sistema de control de turbina eólica de la reivindicación 10, en el que el módulo observador de temperatura está configurado para recibir información indicativa de la temperatura de los componentes de la turbina eólica y para recibir la referencia de potencia y la referencia de velocidad determinadas por el controlador de producción.
 - 65

12. El sistema de control de turbina eólica de la reivindicación 10 o la reivindicación 11, en el que el módulo observador de temperatura recibe estimaciones de las temperaturas de los uno o más componentes de la turbina eólica.
- 5 13. El sistema de control de turbina eólica de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que el módulo observador de temperatura está configurado para controlar los sistemas de calentamiento o refrigeración de la turbina eólica antes de que se produzca el evento de alarma predicho para evitar o retrasar el evento de alarma predicho.
- 10 14. El sistema de control de turbina eólica de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en el que el sistema de control está configurado para ajustar, en la etapa (c), la velocidad de rotor o el par antes del evento de alarma predicho.
- 15 15. El sistema de control de turbina eólica de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en el que el sistema de control está configurado para prever, en la etapa (a), el efecto de un incremento demandado en la producción de potencia de la turbina eólica sobre la evolución de temperatura del componente.
- 20 16. El sistema de control de turbina eólica de la reivindicación 15, en el que el sistema de control está configurado adicionalmente para prever el efecto sobre la evolución de temperatura del componente de la primera y segunda estrategias de sobreestimación para conseguir el incremento demandado en potencia, en el que la primera estrategia de sobreestimación implica el incremento de la velocidad del rotor y la segunda estrategia de sobreestimación implica el incremento de par, y el sistema está configurado para seleccionar la estrategia de sobreestimación que es menos probable que dé como resultado que se produzca un evento de alarma futuro.
- 25 17. El sistema de control de turbina eólica de la reivindicación 15 o reivindicación 16, estando el sistema configurado adicionalmente para determinar una potencia de sobreestimación máxima a la que la turbina eólica puede operar sin activar un evento de alarma futuro si se predice en la etapa (b) que el incremento demandado en la producción de potencia activará un evento de alarma futuro, y estando el sistema configurado adicionalmente para operar la turbina eólica para la producción de la potencia de sobreestimación máxima.
- 30 18. Una turbina eólica que comprende un sistema de control de turbina eólica de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 17.
- 35 19. Una granja eólica que comprende una pluralidad de turbinas eólicas tal como se han definido en la reivindicación 18.

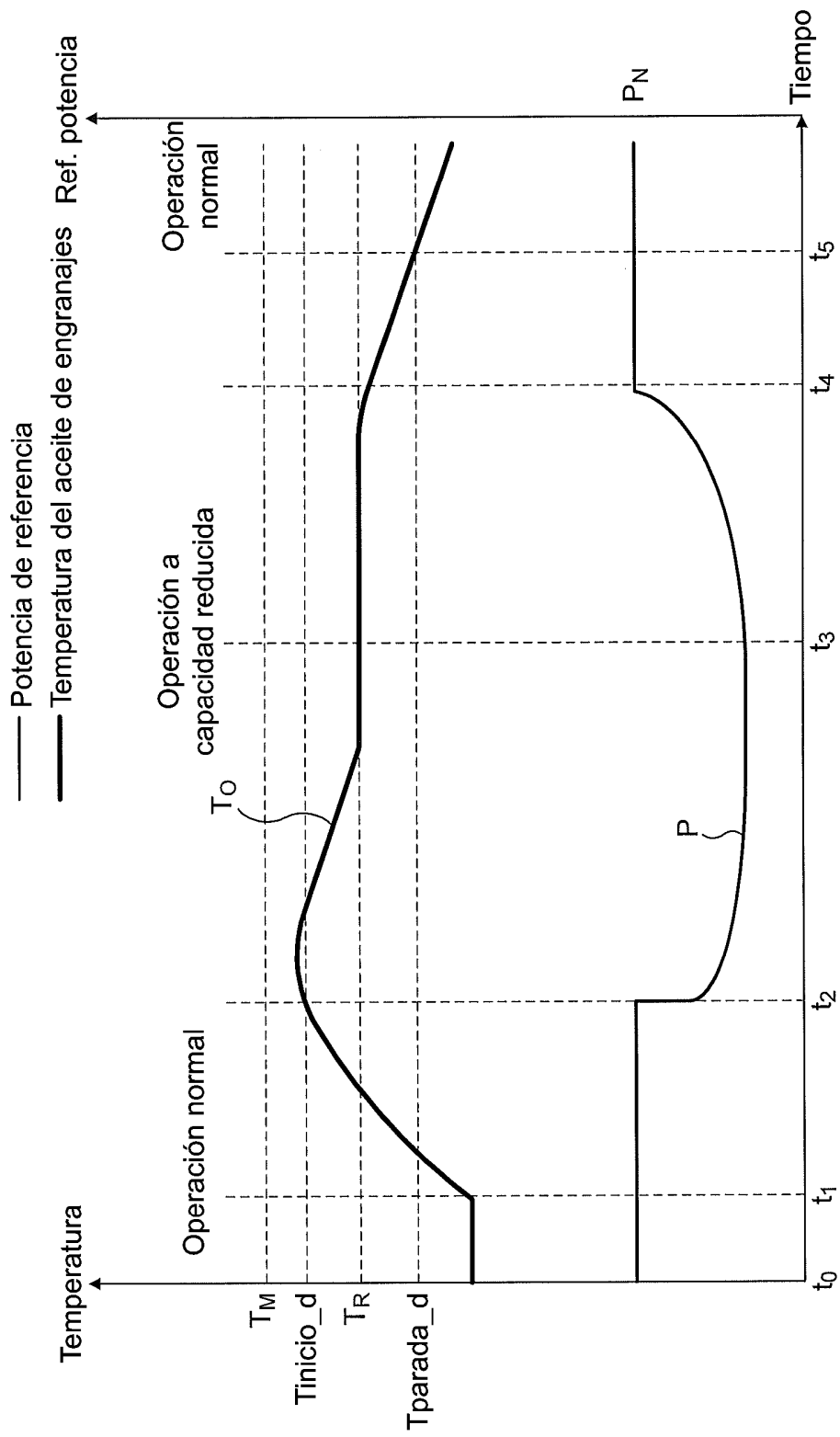


FIG. 1

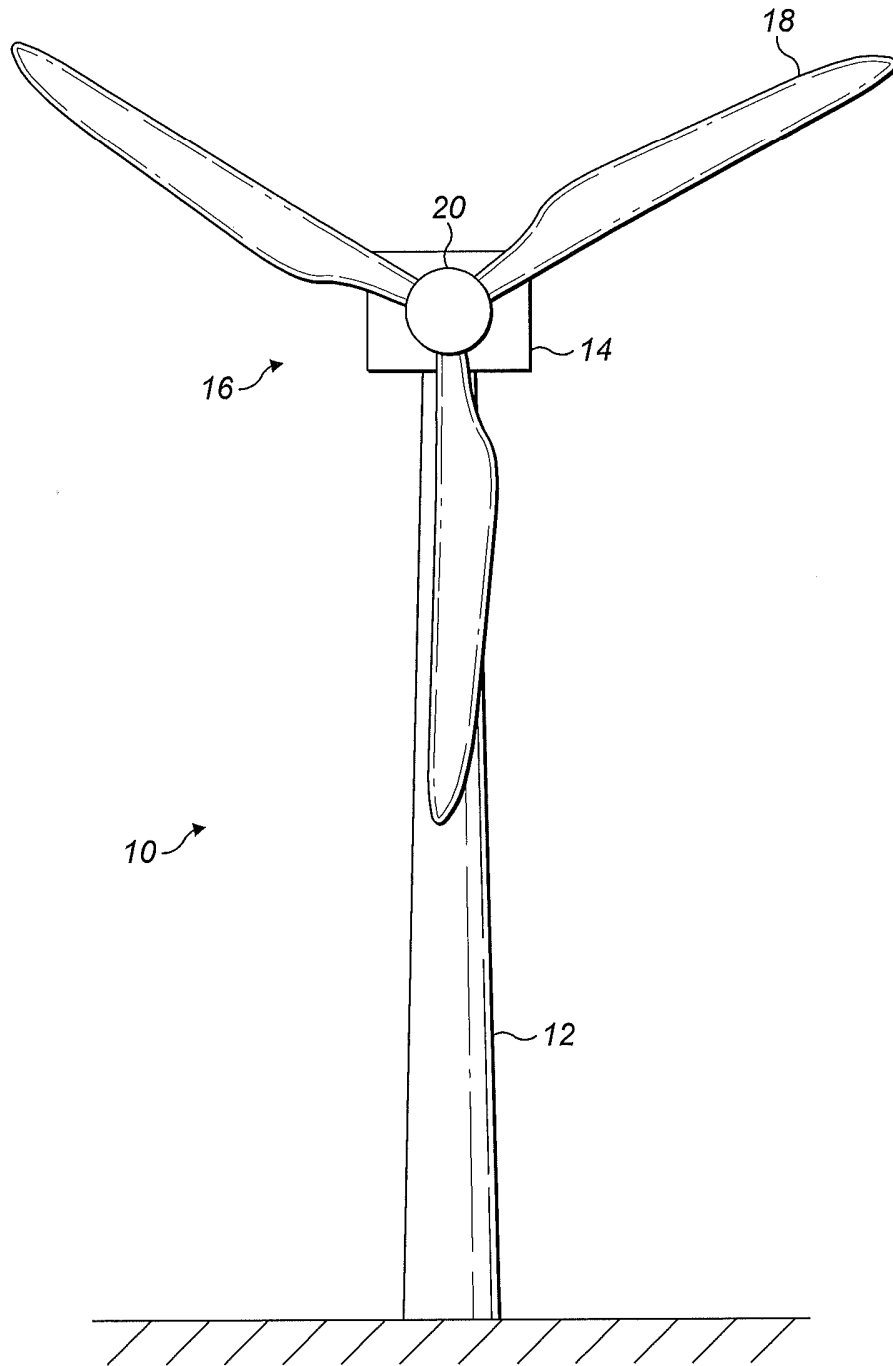


FIG. 2

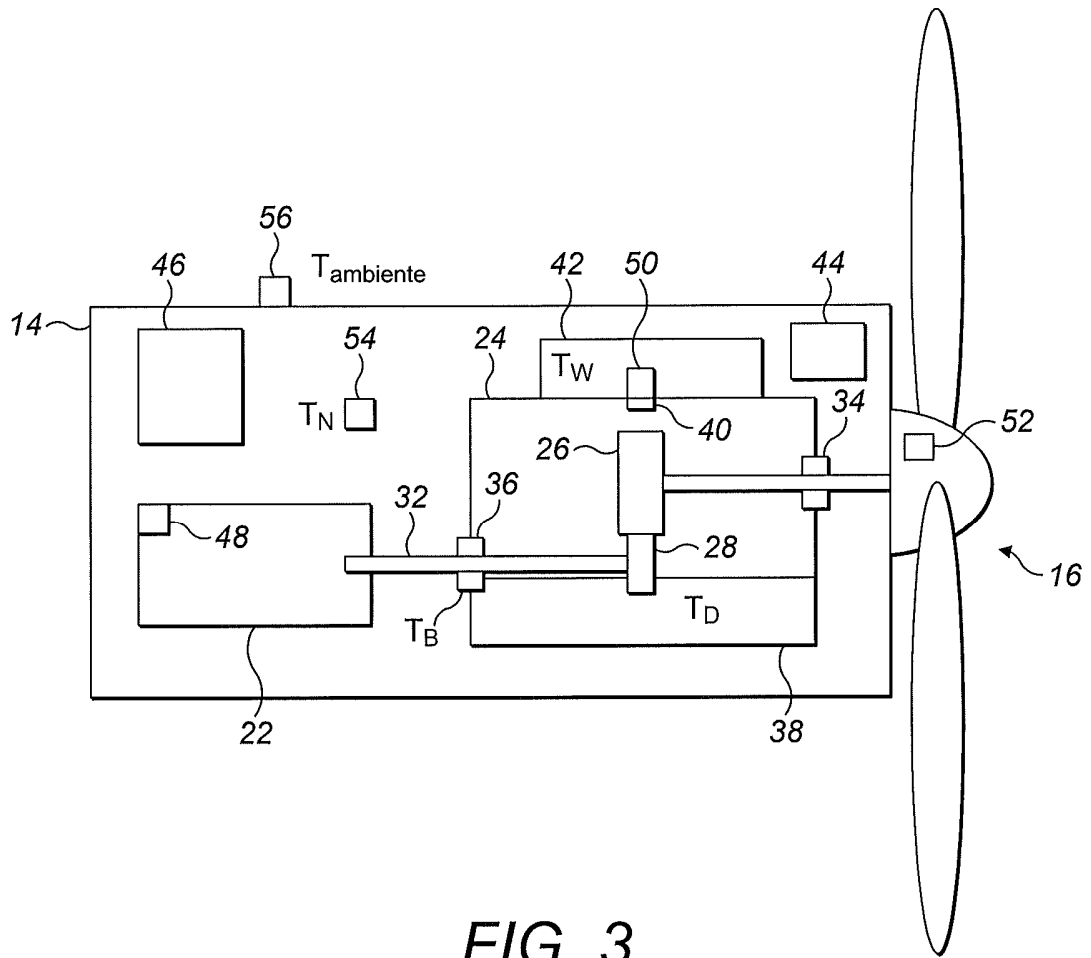


FIG. 3

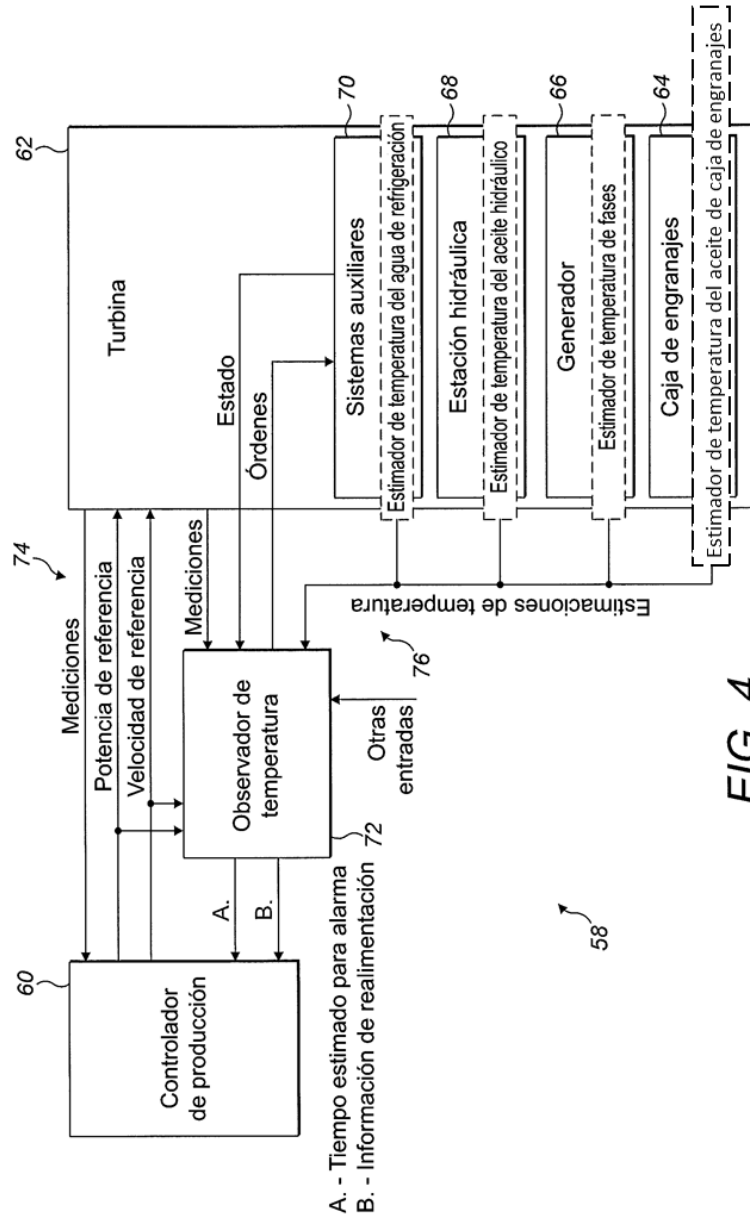


FIG. 4

A. - Tiempo estimado para alarma
 B. - Información de realimentación

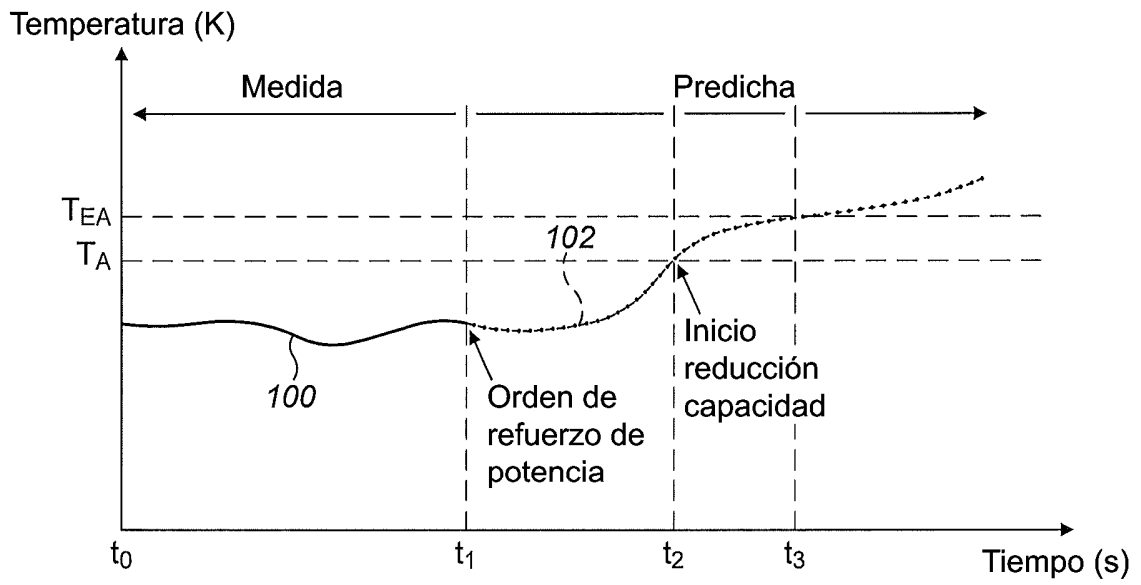


FIG. 5

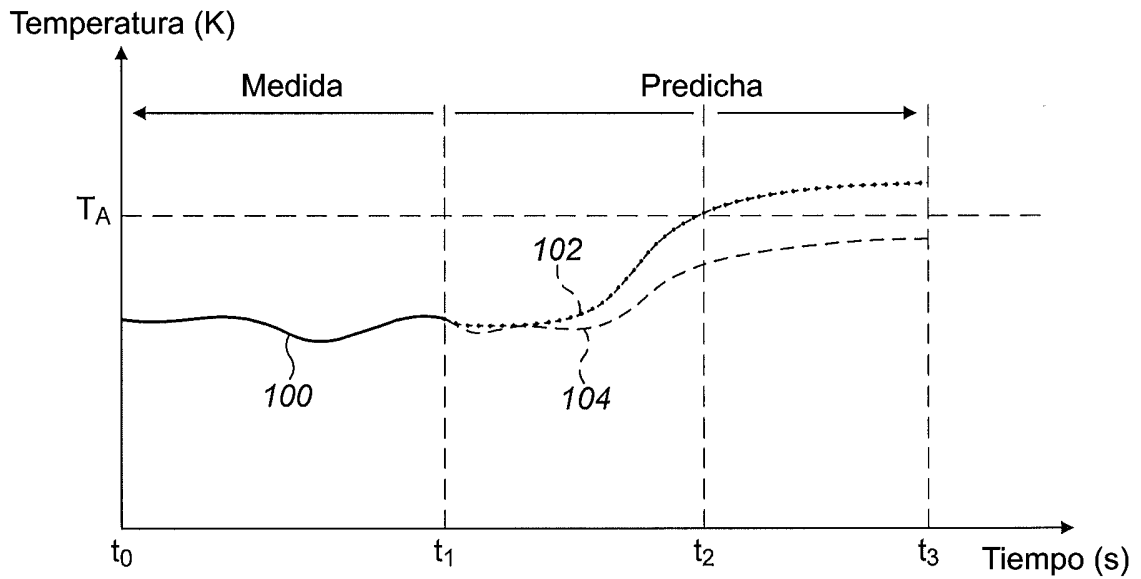


FIG. 6

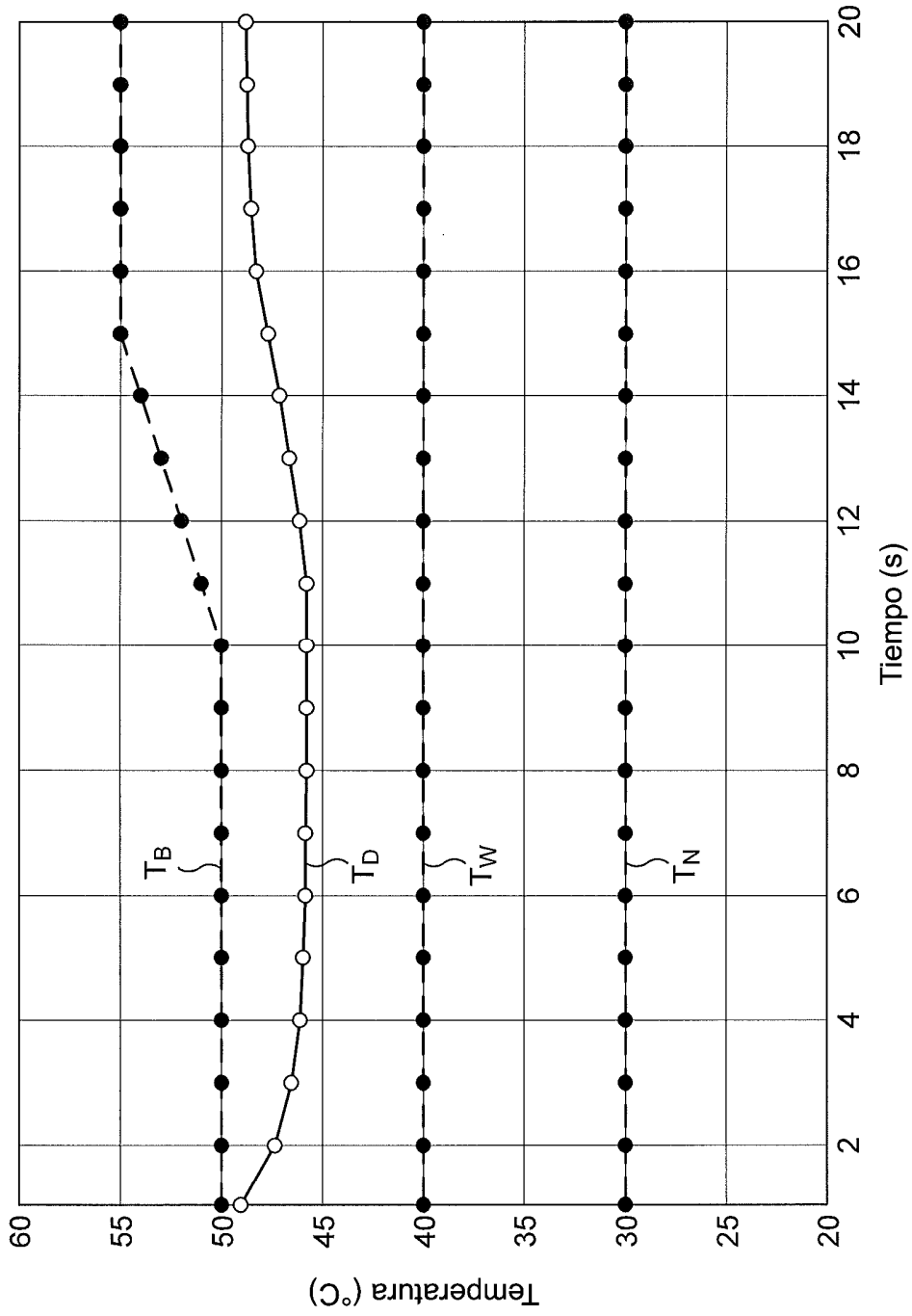


FIG. 7