

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 015 482**

51 Int. Cl.:

H02J 11/00 (2006.01)

H02J 3/48 (2006.01)

F24F 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.04.2022 E 22170718 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2024 EP 4270728**

54 Título: **Un procedimiento para operar una turbina eólica y una turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.05.2025

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA
S.L. (100.00%)
C/ Roc Boronat, 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

EDENFELD, THOMAS

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 3 015 482 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

Un procedimiento para operar una turbina eólica y una turbina eólica

5 **Campo**

[0001] La presente materia se refiere, en general, a turbinas eólicas que tienen un sistema de conversión de potencia y a la operación de las turbinas eólicas, en particular, en condiciones de climas cálidos.

10 **Antecedentes**

[0002] La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medioambiente disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna típicamente incluye una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y un rotor con una o más palas de rotor. Las palas de rotor capturan la energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos y transmiten la energía cinética a través de energía de rotación para hacer girar un eje que acopla las palas de rotor a una caja de engranajes, o, si no se usa una caja de engranajes, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica que se puede distribuir en una red de suministro.

[0003] Con la creciente potencia nominal de las turbinas eólicas, el calor producido por el sistema de conversión de potencia durante la operación también puede aumentar. Por ejemplo, el calor producido global puede ascender a aproximadamente un 5 % o incluso un 7 % de la potencia eléctrica producida. En particular, el generador puede producir cantidades comparativamente grandes de calor durante la conversión de la energía mecánica en energía eléctrica. Además, se puede requerir lubricar y refrigerar las cajas de engranajes del sistema de conversión de potencia dispuestas opcionalmente entre el rotor y el generador para que funcionen eficazmente. Además, un convertidor de frecuencia que convierte la potencia eléctrica del generador de velocidad variable en potencia eléctrica que coincide con la frecuencia y tensión de red también puede producir grandes cantidades de calor durante esta conversión. Otros componentes usados en el tren de potencia eléctrico de una turbina eólica que pueden proporcionar calor son el transformador de MV y el cableado eléctrico.

[0004] Para refrigerar uno o más componentes de la góndola, se puede proporcionar aire externo a un intercambiador de calor interno usando un ventilador, y el aire calentado se puede descargar de la góndola por medio de un conducto de escape. De forma alternativa, se puede proporcionar una refrigeración de líquido usando un intercambiador de calor pasivo instalado en una superficie externa de la góndola.

[0005] Como las turbinas eólicas típicamente se diseñan al límite para reducir los costes, así como la huella ambiental durante la fabricación de la turbina eólica, puede que la turbina eólica provista de un sistema de refrigeración como se describe anteriormente no pueda suministrar su potencia de salida nominal en condiciones de alta temperatura y/o condiciones de red no favorables. En esta situación, el controlador de turbina comienza a restringir a la turbina en cuanto a potencia activa y/o potencia reactiva. No obstante, para cumplir con los códigos de la red durante estas condiciones típicamente infrecuentes donde las temperaturas ambientales son altas, se pueden añadir costosos dispositivos de compensación de VAR (potencia reactiva) para proporcionar potencia reactiva de acción rápida para la turbina eólica y a nivel de parque eólico, respectivamente.

[0006] En vista de lo anterior, la presente invención se define por un procedimiento para operar una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 8 y un producto de programa informático o un medio de almacenamiento legible por ordenador de acuerdo con la reivindicación 15. Los modos de realización preferidos se definen en las reivindicaciones dependientes.

Se identifican aquí los siguientes documentos de la técnica anterior:

el documento EP 3 736 935 A1 describe un sistema de potencia de turbina eólica 100 que incluye un sistema de refrigeración 210 configurado para suministrar un medio de refrigeración (por ejemplo, aire o líquido) a los componentes electrónicos para mantener a los componentes dentro de un intervalo de temperaturas de operación aceptable. El sistema de refrigeración es una trayectoria en bucle cerrada con intercambiador de calor. Además, el documento EP 3 651 350 A1 describe un sistema de turbina eólica que incluye una góndola que comprende un intercambiador de calor de líquido-aire y una trayectoria de líquido configurados para refrigerar al menos uno de un generador, un convertidor de potencia, un transformador elevador y una caja de engranajes o tren de potencia. Por último, el documento US 2010/133931 se refiere a un sistema de refrigeración mejorado para un generador y/o una caja de engranajes en una turbina eólica.

Breve descripción

[0007] Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden ser evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la invención.

- 5 **[0008]** En un aspecto, la presente divulgación está dirigida a un procedimiento para operar una turbina eólica. La turbina eólica incluye un sistema de conversión de potencia configurado para proporcionar potencia de salida eléctrica a una red, y un sistema de refrigeración de aire configurado, en un modo de refrigeración, para refrigerar el aire ambiental y proporcionar el aire ambiental refrigerado como aire de refrigeración al sistema de conversión de potencia. El aire ambiental se recibe desde el exterior de la turbina eólica. El procedimiento incluye operar el sistema de refrigeración de aire en el modo de refrigeración si al menos un parámetro operativo del sistema de conversión de potencia es igual a o mayor que un respectivo umbral.
- 10 **[0009]** En consecuencia, el sistema de conversión de potencia se puede refrigerar eficazmente incluso si la temperatura ambiental y, por tanto, la temperatura del aire ambiental recibido desde el exterior de la turbina eólica, en particular, desde el exterior de la góndola de la turbina eólica, es comparativamente alta, por ejemplo, por encima de 30 °C, por encima de 35 °C o incluso por encima de 40 °C.
- 15 **[0010]** La refrigeración adicional del aire ambiental permite evitar una restricción de potencia y, por tanto, proporcionar potencia activa y/o potencia reactiva como se desea de acuerdo con el requisito del código de la red a mayor temperatura ambiental sin la necesidad de dispositivos de compensación de VAR, tales como un STATCOM (compensador síncrono estático) y una batería de condensadores, respectivamente. En particular, la red se puede soportar en condiciones de red no favorables, tales como una red débil.
- 20 **[0011]** Esto se aplica tanto a la operación de la turbina eólica en condiciones operativas normales, es decir, dentro del intervalo de velocidad del viento nominal, como a menores velocidades del viento o incluso en ausencia de velocidad del viento. Cabe señalar que el uso del sistema de aire acondicionado, en comparación con el uso de un refrigerador pasivo, por ejemplo, en la parte superior de la turbina, permitirá que un convertidor del sistema de conversión de potencia opere a mayores niveles de VAR también en caso de que no haya viento.
- 25 **[0012]** El sistema de refrigeración de aire típicamente está configurado para extraer calor del aire ambiental con una eficacia de refrigeración de al menos 2, más típicamente de al menos 3.
- 30 **[0013]** El sistema de refrigeración de aire se puede proporcionar, en particular, por un sistema de aire acondicionado.
- 35 **[0014]** Por ejemplo, el sistema de aire acondicionado se puede configurar para producir aproximadamente 3 kW de potencia de refrigeración por 1 kW de energía eléctrica consumida.
- 40 **[0015]** Como los generadores de turbina eólica también tienen una eficacia muy alta, por ejemplo, de aproximadamente un 97 %, hay un gran efecto en la potencia de salida (potencia producida del generador menos la potencia consumida del sistema de refrigeración de aire adicional típicamente recibida por medio de un sistema de distribución de potencia eléctrica interno) si la temperatura del aire refrigerante se reduce por el sistema de refrigeración de aire (por ejemplo, el sistema de aire acondicionado).
- 45 **[0016]** Por ejemplo, suponiendo una turbina eólica de una potencia nominal de 6 MW, usando un sistema de aire acondicionado de 20 kW (a una potencia de entrada de 6 kW) permitirá reducir la temperatura de refrigeración en al menos 5 K, por ejemplo, hasta 6°K, lo que permitirá al menos aproximadamente 150 kW de potencia activa adicional en caso de que se alcancen los límites térmicos (refrigeración sin usar el sistema de aire acondicionado adicional). Se aplican cifras similares para la potencia reactiva.
- 50 **[0017]** Esto ilustra que el uso de un nivel comparativamente pequeño de potencia eléctrica del generador para alimentar un sistema de refrigeración de aire adicional, que típicamente se implementa como un sistema de aire acondicionado, permite que el generador de turbina eólica proporcione hasta 25 veces más potencia activa/reactiva una vez que el sistema alcanza los límites térmicos sin el sistema de refrigeración de aire adicional debido a las altas temperaturas ambientales.
- 55 **[0018]** En consecuencia, ya no se desea invertir en infraestructura como necesidad de los dispositivos de compensación de VAR porque el sistema de conversión de potencia de la turbina eólica todavía puede proporcionar la compensación de VAR necesaria a mayores temperaturas ambientales al estar provisto del sistema de refrigeración de aire adicional.
- 60 **[0019]** Además, se puede incrementar la producción anual de energía (PAE). Esto se debe a que la restricción a mayores temperaturas ambientales se puede al menos reducir.
- 65 **[0020]** De forma alternativa o además, otros componentes de conversión de potencia del sistema de conversión de potencia distintos del generador, en particular, una caja de engranajes dispuesta entre el rotor y el generador, un conjunto de conversión de potencia, tal como un convertidor de potencia conectado al generador y/o un transformador conectado con el generador y/o el conjunto de conversión de potencia se refrigeran usando el aire de refrigeración proporcionado por el sistema de refrigeración de aire adicional, si se desea. Además, un armario

eléctrico conectado con uno o más componentes de conversión de potencia del sistema de conversión de potencia se puede refrigerar usando el aire de refrigeración proporcionado por el sistema de refrigeración de aire adicional, si se desea.

5 **[0021]** Esto típicamente da como resultado ventajas análogas, sin embargo, típicamente en menor medida en comparación con la refrigeración del generador en base al aire de refrigeración proporcionado por el sistema de refrigeración de aire adicional.

10 **[0022]** Cabe señalar que el sistema de conversión de potencia típicamente incluye varios componentes de conversión de potencia que están configurados para contribuir a convertir la potencia motriz de entrada en la potencia de salida eléctrica que se va a proporcionar a la red, en particular, una red de suministro, si la potencia motriz de entrada se recibe del rotor de la turbina eólica.

15 **[0023]** El sistema de refrigeración de aire se puede operar en el modo de refrigeración independientemente de la temperatura real del sistema de conversión de potencia y del/de los componente(s) de conversión de potencia del sistema de conversión de potencia, respectivamente, o dependiendo de la(s) respectiva(s) temperatura(s). Esto último permite operar solo el sistema de refrigeración de aire en el modo de refrigeración (y, por tanto, consumiendo potencia eléctrica) si realmente se desea por motivos térmicos.

20 **[0024]** Sin embargo, también es posible operar el sistema de refrigeración de aire en el modo de refrigeración independientemente de la(s) temperatura(s) del sistema de conversión de potencia, pero, por ejemplo, en base a la temperatura ambiental, de forma más particular, si una temperatura del aire ambiental es igual a o mayor que un umbral de temperatura ambiental. Este esquema de control, en comparación con la operación del sistema de refrigeración de aire en el modo de refrigeración, dependiendo de la(s) temperatura(s) del sistema de conversión
25 de potencia, puede ser más simple, pero puede dar como resultado una PAE un tanto menor (todavía mayor en comparación con el uso de aire ambiental no refrigerado para la refrigeración).

30 **[0025]** Por motivos de eficacia, el sistema de refrigeración de aire se opera en el modo de refrigeración solo si una demanda de potencia reactiva del sistema de conversión de potencia es igual a o mayor que un umbral de demanda de potencia reactiva, y/o si una demanda de potencia activa del sistema de conversión de potencia es igual a o mayor que un umbral de demanda de potencia activa.

35 **[0026]** De otro modo, es probable que el aire ambiental (no refrigerado) sea suficiente para extraer calor del sistema de conversión de potencia y refrigerar el sistema de conversión de potencia, respectivamente.

[0027] En particular, el sistema de refrigeración de aire (solo) se puede operar en el modo de refrigeración si se satisface al menos una de las siguientes condiciones:

40 • una temperatura del aire de refrigeración es igual a o mayor que un umbral de temperatura del aire de refrigeración;

• una temperatura de al menos un componente de conversión de potencia del sistema de conversión de potencia es igual a o mayor que un respectivo primer umbral de temperatura; y

45 • la temperatura de al menos uno de los componentes de conversión de potencia es igual a o mayor que un respectivo segundo umbral de temperatura más pequeño que el respectivo primer umbral de temperatura.

50 **[0028]** El modo de refrigeración del sistema de refrigeración de aire incluso puede depender de la(s) respectiva(s) temperatura(s).

[0029] En particular, una potencia de refrigeración del sistema de refrigeración de aire puede depender de al menos una de la temperatura del aire ambiental, la temperatura del aire de refrigeración y una (al menos una) temperatura del sistema de conversión de potencia.

55 **[0030]** En un modo de realización de un procedimiento para operar una turbina eólica que incluye un sistema de conversión de potencia y un sistema de refrigeración de aire, el procedimiento incluye controlar el sistema de refrigeración de aire para refrigerar el aire ambiental y proporcionar el aire ambiental refrigerado como aire de refrigeración al sistema de conversión de potencia dependiendo de al menos un parámetro operativo de la turbina eólica, en particular, dependiendo de al menos un parámetro operativo del sistema de conversión de potencia.
60

[0031] El término "parámetro operativo del sistema de conversión de potencia" como se usa en el presente documento alude a cualquier parámetro que pueda influir y/o usarse para controlar la operación del sistema de conversión de potencia durante la conversión de la potencia motriz de entrada en potencia de salida eléctrica. El término "parámetro operativo del sistema de conversión de potencia" típicamente abarca una demanda de potencia reactiva, una demanda de potencia activa, una producción de potencia activa del sistema de conversión de
65

- potencia, una producción de potencia reactiva del sistema de conversión de potencia, una corriente de salida del sistema de conversión de potencia, una tensión de salida del sistema de conversión de potencia, una temperatura del sistema de conversión de potencia y cualquiera de los componentes del sistema de conversión de potencia, respectivamente, una temperatura del refrigerante de un refrigerante usado en un circuito de refrigeración interno del/de los respectivo(s) componente(s) del sistema de conversión de potencia, pero también la temperatura del aire ambiental y la temperatura del aire de refrigeración proporcionado, y cualquier combinación o función de las mismas.
- 5
- [0032]** El sistema de refrigeración de aire, en particular, se puede operar en el modo de refrigeración dependiendo de al menos uno de: la temperatura del aire ambiental, una temperatura del refrigerante, una temperatura de una caja de engranajes, una temperatura de un convertidor de potencia, una temperatura de un transformador y una temperatura del generador, en particular, una temperatura de un rodamiento del generador y/o una temperatura de un estátor del generador.
- 10
- [0033]** Típicamente se miden las respectivas temperaturas.
- 15
- [0034]** A diferencia de esto, la demanda de potencia reactiva y/o la demanda de potencia activa típicamente se reciben, por ejemplo, desde un controlador de parque eólico de un parque eólico al que pertenece la turbina eólica.
- 20
- [0035]** El modo de refrigeración se puede activar en base a al menos una de la(s) temperatura(s) típicamente medida(s), la demanda de potencia reactiva recibida y la demanda de potencia activa recibida.
- [0036]** Además, el modo de refrigeración se puede desactivar (más tarde) en base a al menos una de (una) temperatura(s) medida(s) (más tarde), una demanda de potencia reactiva recibida (más tarde) y una demanda de potencia activa recibida (más tarde).
- 25
- [0037]** Como se describe anteriormente, el aire de refrigeración se puede usar para extraer calor del sistema de conversión de potencia.
- 30
- [0038]** Esto típicamente se logra usando el sistema de refrigeración que recibe el aire de refrigeración, y/o puede incluir operar una cascada de tres o incluso cuatro circuitos de refrigeración acoplados térmicamente entre sí.
- [0039]** El procedimiento puede incluir además restringir al menos una de una potencia de salida reactiva del sistema de conversión de potencia y una potencia de salida reactiva del sistema de conversión de potencia si la temperatura del sistema de conversión de potencia y la temperatura del al menos un componente de conversión de potencia del sistema de conversión de potencia, respectivamente, es igual a o mayor que un respectivo tercer umbral de temperatura.
- 35
- [0040]** El tercer umbral de temperatura típicamente es más grande que al menos uno, más típicamente ambos, del respectivo primer umbral de temperatura y del respectivo segundo umbral de temperatura.
- 40
- [0041]** De acuerdo con un modo de realización de un procedimiento para fabricar y/o actualizar (modernizar) una turbina eólica, el procedimiento incluye proporcionar un sistema de conversión de potencia de la turbina eólica con un sistema de refrigeración de aire configurado para refrigerar el aire ambiental de modo que el sistema de refrigeración de aire pueda proporcionar el aire ambiental refrigerado como aire de refrigeración al sistema de conversión de potencia de la turbina eólica, en particular, un sistema de refrigeración para o del sistema de conversión de potencia y sus componentes de conversión de potencia, respectivamente.
- 45
- [0042]** El procedimiento puede incluir, en particular, conectar térmicamente el sistema de refrigeración de aire con el sistema de conversión de potencia para extraer el calor. Por ejemplo, una salida para el aire ambiental refrigerado del sistema de refrigeración de aire se puede conectar con una entrada de aire de refrigeración y/o un ventilador de un sistema de refrigeración del sistema de conversión de potencia, tal como un intercambiador de calor. Además, el procedimiento típicamente incluye conectar eléctricamente el sistema de refrigeración de aire con un sistema de distribución de potencia eléctrica interno de la turbina eólica. Además, el procedimiento puede incluir actualizar un *software* de control de un sistema de control de la turbina eólica de acuerdo con los procedimientos de control explicados en el presente documento, en particular, actualizar un *software* de un controlador de turbina eólica.
- 50
- [0043]** De acuerdo con un modo de realización de un procedimiento, el procedimiento incluye modernizar un sistema de refrigeración existente de un sistema de conversión de potencia de una turbina eólica con un sistema de refrigeración de aire adicional, tal como un sistema de aire acondicionado.
- 55
- [0044]** Las etapas de los procedimientos para operar la turbina eólica como se explica en el presente documento típicamente se realizan por un sistema de control para o incluso de la turbina eólica. El sistema de control está acoplado en comunicación con el sistema de conversión de potencia y el sistema de refrigeración de aire, y típicamente se implementa como un controlador, por ejemplo, un respectivo controlador de turbina.
- 60
- 65

5 [0045] Cabe señalar que un sistema de distribución de potencia eléctrica interno de la turbina eólica se puede conectar con el sistema de conversión de potencia para recibir potencia eléctrica que se va a distribuir al sistema de refrigeración de aire. En este modo de realización, el sistema de conversión de potencia se puede considerar como una fuente de potencia eléctrica y el sistema de refrigeración de aire como un consumidor de potencia eléctrica y carga eléctrica, respectivamente.

10 [0046] En otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a un producto de programa informático o un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio que comprende instrucciones que, al ejecutarse por uno o más procesadores de un sistema, en particular, una turbina eólica que tiene un sistema de control que proporciona los uno o más procesadores como se explica en el presente documento, provocan que el sistema lleve a cabo los procedimientos como se explica en el presente documento.

15 [0047] Aún en otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a una turbina eólica que incluye un rotor que comprende palas de rotor, un sistema de refrigeración de aire configurado para recibir aire ambiental, para refrigerar el aire ambiental y para proporcionar el aire ambiental refrigerado como aire de refrigeración, y un sistema de conversión de potencia conectado mecánicamente con el rotor, que se puede conectar eléctricamente a una red de suministro y configurado para convertir la potencia motriz de entrada en potencia de salida eléctrica. Un sistema de refrigeración de la turbina eólica está configurado para recibir el aire de refrigeración y usar el aire de refrigeración para extraer calor del sistema de conversión de potencia. Además, el aire ambiental se recibe desde el exterior de la turbina eólica.

[0048] El sistema de conversión de potencia se puede implementar como un sistema de DFIG.

25 [0049] El sistema de refrigeración puede ser un sistema de refrigeración del sistema de conversión de potencia, en particular, un sistema de refrigeración que, a menor temperatura del aire ambiental (menor que un segundo umbral de temperatura para la temperatura del aire ambiental), sea suficiente para refrigerar de forma fiable (uno o más de los componentes de) el sistema de conversión de potencia (sin recibir el aire ambiental refrigerado del sistema de refrigeración de aire).

30 [0050] El sistema de refrigeración de aire y el sistema de refrigeración se pueden considerar como una cascada de dos sistemas de refrigeración acoplados térmicamente.

35 [0051] Como el sistema de refrigeración de aire solo se puede operar en condiciones específicas (alta temperatura ambiental y alto requisito de potencia), el sistema de refrigeración y el sistema de refrigeración de aire también se pueden considerar como sistema de refrigeración principal del sistema de conversión de potencia y sistema de refrigeración complementario del sistema de conversión de potencia, respectivamente.

40 [0052] El sistema de refrigeración de aire (en cascada) y el sistema de refrigeración típicamente implementan una cascada de (al menos) tres circuitos de refrigeración acoplados térmicamente entre sí, por ejemplo una cascada de (al menos) cuatro circuitos de refrigeración acoplados térmicamente entre sí.

45 [0053] El sistema de refrigeración puede incluir uno o más circuitos de refrigeración internos cerrados conectados térmicamente con el sistema de conversión de potencia para extraer el calor (de un respectivo componente de conversión de potencia), un circuito de refrigeración abierto acoplado térmicamente con el respectivo circuito de refrigeración interno cerrado y configurado para recibir el aire de refrigeración del sistema de refrigeración de aire, un intercambiador de calor dispuesto entre el circuito de refrigeración abierto y el circuito de refrigeración interno cerrado, y un refrigerador principal configurado para recibir el aire de refrigeración y que incluye típicamente un intercambiador de calor y/o que se implementa como un refrigerador de aire-líquido, en particular, un refrigerador de aceite-aire. Sin embargo, esto último puede depender del componente particular que se va a refrigerar. Por ejemplo, una salida para el aire ambiental refrigerado del sistema de refrigeración de aire se puede conectar directamente o por medio de un intercambiador de calor de líquido/líquido con un refrigerador de aceite de una caja de engranajes del sistema de conversión de potencia.

55 [0054] Típicamente, el sistema de refrigeración de aire se proporciona por un sistema de aire acondicionado.

[0055] El sistema de refrigeración de aire se puede configurar para extraer calor del aire ambiental a una tasa de al menos hasta aproximadamente 15 kW, más típicamente de al menos hasta aproximadamente 20 kW, incluso más típicamente de al menos hasta aproximadamente 23 kW.

60 [0056] Además, el sistema de refrigeración de aire se puede configurar para extraer calor del aire ambiental con una eficacia de refrigeración de al menos 2, más típicamente de al menos 2,5 o incluso de al menos 3.

65 [0057] El sistema de conversión de potencia típicamente incluye uno o más componentes de conversión de potencia configurados para contribuir a convertir la potencia motriz de entrada recibida desde el rotor en potencia de salida eléctrica.

5 [0058] De forma más particular, el sistema de conversión de potencia puede incluir una caja de engranajes, un generador, un conjunto de conversión de potencia que típicamente incluya un convertidor de potencia, por ejemplo, un convertidor de potencia de lado de rotor y un convertidor de potencia de lado de línea, y un transformador como respectivos componentes de conversión de potencia.

[0059] Típicamente, el sistema de refrigeración está configurado para extraer calor de al menos uno de los componentes de conversión de potencia.

10 [0060] El/los componente(s) de conversión de potencia se puede(n) disponer en una góndola de la turbina eólica.

[0061] El sistema de refrigeración de aire se puede disponer al menos parcialmente en la góndola o sobre la góndola.

15 [0062] Típicamente, el sistema de conversión de potencia se puede conectar a un sistema de distribución de potencia eléctrica interno (red de potencia interna) para proporcionar potencia eléctrica al sistema de refrigeración de aire y al sistema de refrigeración.

20 [0063] En consecuencia, la potencia eléctrica puede fluir desde el sistema de conversión de potencia, a través del sistema de distribución de potencia eléctrica interno y hacia el sistema de refrigeración de aire, así como hacia el sistema de refrigeración.

25 [0064] Típicamente, la turbina eólica incluye al menos un sensor de temperatura para medir una respectiva temperatura, en particular, una temperatura del aire ambiental, una temperatura del aire de refrigeración, una temperatura del sistema de conversión de potencia y una temperatura de los respectivos componentes de conversión de potencia del sistema de conversión de potencia.

30 [0065] Además, un controlador de la turbina eólica típicamente está acoplado en comunicación con el sistema de refrigeración de aire, el sistema de conversión de potencia y el/los sensor(es) de temperatura, y configurado para controlar la turbina eólica de acuerdo con el procedimiento explicado en el presente documento.

35 [0066] Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se respaldarán y describirán además con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

Breve descripción de los dibujos

40 [0067] En la memoria descriptiva se expone una divulgación completa y habilitante de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

45 la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 2 ilustra una vista esquemática de un modo de realización de un sistema de potencia eléctrica y un sistema de control adecuados para su uso con la turbina eólica mostrada en la FIG. 1;

50 la FIG. 3 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un controlador adecuado para su uso con la turbina eólica mostrada en la FIG. 1;

la FIG. 4A ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

55 la FIG. 4B ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 4C ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento de acuerdo con un modo de realización de la presente divulgación;

60 la FIG. 5A ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento de acuerdo con un modo de realización de la presente divulgación; y

65 la FIG. 5B ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento de acuerdo con un modo de realización de la presente divulgación.

[0068] Las características únicas representadas en las figuras se muestran relativamente entre sí y, por lo tanto, no están necesariamente a escala. Los elementos similares o iguales en las figuras, incluso si se muestran en diferentes modos de realización, se representan con los mismos números de referencia.

5 **Descripción detallada de la invención**

[0069] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la divulgación, ilustrándose uno o más de sus ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, que no limitará la invención, estando definida la invención por las características de las reivindicaciones independientes 1 y 8, que únicamente limitan su alcance. Los modos de realización preferidos se definen en las reivindicaciones dependientes.

[0070] La FIG. 1 es una vista en perspectiva de una parte de una turbina eólica 100 de ejemplo. En el modo de realización de ejemplo, la turbina eólica 100 es una turbina eólica de eje horizontal. De forma alternativa, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica de eje vertical. La turbina eólica 100 incluye una góndola 102 que aloja un generador (no mostrado en la FIG. 1). La góndola 102 está montada en una torre 104 (estando mostrada una parte de la torre 104 en la FIG. 1). La torre 104 puede tener cualquier altura adecuada que facilite la operación de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. La turbina eólica 100 también incluye un rotor 106 que incluye tres palas 108 fijadas a un buje 110 rotatorio. De forma alternativa, la turbina eólica 100 incluye cualquier número de palas 108 que facilitan la operación de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. En el modo de realización de ejemplo, la turbina eólica 100 incluye una caja de engranajes (no mostrada en la FIG. 1) acoplada de forma operativa al rotor 106 y un generador (no mostrado en la FIG. 1).

[0071] Las palas de rotor 108 están espaciadas alrededor del buje 110 para facilitar la rotación del rotor 106 para posibilitar que la energía cinética se transfiera, a partir del viento, en energía mecánica utilizable y, posteriormente, en energía eléctrica.

[0072] En un modo de realización, las palas de rotor 108 tienen una longitud que varía de aproximadamente 15 metros (m) a aproximadamente 91 m. De forma alternativa, las palas de rotor 108 pueden tener cualquier longitud adecuada que posibilite que la turbina eólica 100 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, otros ejemplos no limitantes de longitudes de pala incluyen 20 m o menos, 37 m, 48,7 m, 50,2 m, 52,2 m o una longitud que sea mayor de 91 m. A medida que el viento golpea las palas de rotor 100 desde una dirección del viento 28, el rotor 106 se rota alrededor de un eje de rotación 30. A medida que las palas de rotor 108 se rotan y se someten a fuerzas centrífugas, las palas de rotor 108 también se someten a diversas fuerzas y momentos. Como tales, las palas de rotor 108 se pueden desviar y/o rotar desde una posición neutra, o no desviada, a una posición desviada.

[0073] Además, un ángulo de *pitch* de las palas de rotor 100, es decir, un ángulo que determina una perspectiva de las palas de rotor 100 con respecto a la dirección del viento, se puede cambiar por un sistema de *pitch* 109 para controlar la carga y potencia generadas por la turbina eólica 100 ajustando una posición angular de al menos una pala de rotor 108 en relación con los vectores de viento. Durante la operación de la turbina eólica 100, el sistema de *pitch* 109 puede cambiar un ángulo de *pitch* de las palas de rotor 109 de modo que las palas de rotor 109 se muevan a una posición de bandera, de modo que la perspectiva de al menos una pala de rotor 100 en relación con los vectores de viento proporcione que un área de superficie mínima de la pala de rotor 100 se oriente hacia los vectores de viento, lo que facilita reducir una velocidad de rotación y/o facilita una entrada en pérdida del rotor 18.

[0074] Un *pitch* de pala de cada pala de rotor 108 se puede controlar individualmente por un controlador de turbina eólica 202 o por un sistema de control de *pitch*. De forma alternativa, el *pitch* de pala para todas las palas de rotor 108 se puede controlar simultáneamente por dichos sistemas de control.

[0075] Además, en el modo de realización de ejemplo, a medida que cambia la dirección del viento 28, se puede rotar una dirección de orientación de la góndola 102, por un sistema de orientación 105, alrededor de un eje de orientación 38 para situar el rotor 106 con respecto a la dirección del viento 28.

[0076] El sistema de orientación 105 puede incluir un mecanismo de accionamiento de orientación proporcionado por la góndola 102.

[0077] Además, el sistema de orientación 105 también se puede controlar por el controlador de turbina eólica 107.

[0078] Para situar la góndola 102 apropiadamente con respecto a la dirección del viento 28, la góndola 102 también puede incluir al menos un mástil meteorológico 107 que pueda incluir una veleta y un anemómetro (ninguno mostrado en la figura 2). El mástil 107 puede proporcionar información al controlador de turbina eólica 202 con respecto a las condiciones ambientales. Esto puede incluir la dirección del viento y/o la velocidad del viento, así como la temperatura ambiental, la humedad ambiental, el tipo y/o la cantidad de precipitación (si la hay).

[0079] En el modo de realización de ejemplo, el controlador de turbina eólica 102 se muestra como centralizado dentro de la góndola 102, sin embargo, el controlador de turbina eólica también puede ser un sistema distribuido por toda la turbina eólica 100, en un sistema de soporte (no mostrado en la FIG. 1), dentro de un parque eólico y/o en un centro de control remoto. El controlador de turbina eólica 102 incluye un procesador configurado para realizar los procedimientos y/o etapas descritos en el presente documento.

[0080] En referencia, ahora, a la FIG. 2, se ilustra una vista esquemática de un modo de realización de un sistema eléctrico (de potencia) y de control 200 que se puede usar con la turbina eólica 100. Durante la operación, el viento incide en las palas 108 y las palas 108 transforman la energía eólica en un par de torsión de rotación mecánico que acciona de forma rotatoria un eje lento 112 por medio del buje 110.

[0081] En el modo de realización de ejemplo, el eje lento 112 está configurado para accionar una caja de engranajes 114 que posteriormente eleva la baja velocidad de rotación del eje lento 112 para accionar un eje rápido 116 a una velocidad de rotación incrementada. El eje rápido 116 está acoplado, en general, de forma rotatoria a un generador 118 para accionar de forma rotatoria un rotor de generador 122 que tiene un devanado de campo (no mostrado).

[0082] Más específicamente, en un modo de realización, el generador 118 puede ser un generador (asíncrono) de inducción doblemente alimentado (DFIG) de rotor bobinado trifásico, que incluya un estátor de generador 120 acoplado magnéticamente a un rotor de generador 122. Como tal, se puede inducir un campo magnético rotatorio por el rotor de generador 122 y se puede inducir una tensión dentro de un estátor de generador 120 que esté acoplado magnéticamente al rotor de generador 122. En dichos modos de realización, el generador 118 está configurado para convertir la energía mecánica de rotación en una señal de energía eléctrica de corriente alterna (CA) trifásica sinusoidal en el estátor de generador 120. La potencia eléctrica asociada se puede transmitir a un transformador principal 234 por medio de un bus de estátor 208, un conmutador de sincronización de estátor 206, un bus de sistema 216, un disyuntor de circuito de transformador principal 214 y un bus de lado de generador 236. El transformador principal 234 eleva la amplitud de tensión de la potencia eléctrica de modo que la potencia eléctrica transformada se pueda transmitir además a una red por medio de un disyuntor de circuito de red 238, un bus de lado de disyuntor 240 y un bus de red 242.

[0083] Además, el sistema de potencia eléctrica y de control 200 puede incluir un controlador de turbina eólica 202 configurado para controlar cualquiera de los componentes de la turbina eólica 100 y/o implementar cualquiera de las etapas de procedimiento como se describe en el presente documento. Por ejemplo, como se muestra, en particular, en la FIG. 3, el controlador 202 puede incluir uno o más procesadores 204 y uno o más dispositivos de memoria 207 asociados configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares, y almacenar datos pertinentes como se divulga en el presente documento). Adicionalmente, el controlador 202 también puede incluir un módulo de comunicaciones para facilitar las comunicaciones entre el controlador 202 y los diversos componentes de la turbina eólica 100, por ejemplo, cualquiera de los componentes de la FIG. 2.

[0084] Además, como se muestra en la FIG. 3, el módulo de comunicaciones 209 puede incluir una interfaz de sensor 211 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 204. Se debe apreciar que los sensores (por ejemplo, los sensores 252, 254, 256, 257, 258) se pueden acoplar en comunicación al módulo de comunicaciones 209 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 3, los sensores 252, 254, 256, 257, 258 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 211 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, los sensores 252, 254, 256, 257, 258 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 211 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Como tal, el procesador 204 se puede configurar para recibir una o más señales de los sensores.

[0085] Los sensores 252, 254, 256 pueden ser un sensor para corrientes y/o tensiones deseados para controlar la conversión de potencia de la turbina eólica 100. Esto se explica con más detalle a continuación.

[0086] Además, se puede proporcionar al menos un sensor 258 para datos de sensor que se refieren a datos meteorológicos, por ejemplo, sensor(es) proporcionado(s) por el mástil meteorológico 107 mostrado en la FIG. 1. En particular, un sensor de temperatura del aire ambiental 258 se puede proporcionar por el mástil meteorológico 107.

[0087] Además, se puede proporcionar al menos un sensor de temperatura 257 para medir temperaturas dentro de la góndola, en particular, un respectivo sensor para medir una temperatura del sistema de conversión de potencia como se explica anteriormente con respecto a la FIG. 2 y componentes del mismo, respectivamente, y/o para medir una temperatura del flujo de aire interno y los circuitos de refrigeración explicados con más detalle a continuación con respecto a las FIGS. 4A, 4B.

[0088] Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como incluidos en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables. El procesador 204 también está configurado para calcular algoritmos de control avanzados y comunicarse con una variedad de protocolos basados en Ethernet o en serie (Modbus, OPC, CAN, etc.). Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 207 puede(n) comprender, en general, elemento(s) de memoria que incluya(n), pero sin limitarse a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM)), un medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disquete, una memoria de solo lectura en disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 207 se puede(n) configurar, en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 204, configuran el controlador 202 para realizar las diversas funciones como se describe en el presente documento.

[0089] En referencia de nuevo a la FIG. 2, el estátor de generador 120 se puede acoplar eléctricamente a un conmutador de sincronización de estátor 206 por medio de un bus de estátor 208. En un modo de realización de ejemplo, para facilitar la configuración del DFIG, el rotor de generador 122 está acoplado eléctricamente a un conjunto de conversión de potencia 210 bidireccional por medio de un bus de rotor 212. De forma alternativa, el rotor de generador 122 está acoplado eléctricamente al bus de rotor 212 por medio de cualquier otro dispositivo que facilite la operación del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento. Como otra alternativa, el sistema eléctrico y de control 200 está configurado como un sistema de conversión de potencia completa (no mostrado) que incluye un conjunto de conversión de potencia completa (no mostrado en la FIG. 2) similar en diseño y operación al conjunto de conversión de potencia 210 y acoplado eléctricamente al estátor de generador 120. El conjunto de conversión de potencia completa facilita la canalización de potencia eléctrica entre el estátor de generador 120 y una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (no mostrada). En el modo de realización de ejemplo, el bus de estátor 208 transmite potencia trifásica desde el estátor de generador 120 al conmutador de sincronización de estátor 206. El bus de rotor 212 transmite potencia trifásica desde el rotor de generador 122 al conjunto de conversión de potencia 210. En el modo de realización de ejemplo, el conmutador de sincronización de estátor 206 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de transformador principal 214 por medio de un bus de sistema 216. En un modo de realización alternativo, se usan uno o más fusibles (no mostrados) en lugar del disyuntor de circuito de transformador principal 214. En otro modo de realización, no se usan ni fusibles ni el disyuntor de circuito de transformador principal 214.

[0090] El conjunto de conversión de potencia 210 incluye un filtro de rotor 218 que está acoplado eléctricamente al rotor de generador 122 por medio del bus de rotor 212. Un bus de filtro de rotor 219 acopla eléctricamente el filtro de rotor 218 a un convertidor de potencia de lado de rotor 220, y el convertidor de potencia de lado de rotor 220 está acoplado eléctricamente a un convertidor de potencia de lado de línea 222. El convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 son puentes de convertidor de potencia que incluyen semiconductores de potencia (no mostrados). En un modo de realización de ejemplo, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 están configurados en una configuración de modulación por ancho de pulso (PWM) trifásica que incluye dispositivos de conmutación de transistor bipolar de puerta aislada (IGBT) (no mostrados en la FIG. 2) que operan como es conocido en la técnica. De forma alternativa, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 tienen cualquier configuración que use cualquier dispositivo de conmutación que facilite la operación del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento. El conjunto de conversión de potencia 210 está acoplado en comunicación electrónica de datos con el controlador de turbina 202 para controlar la operación del convertidor de potencia de lado de rotor 220 y del convertidor de potencia de lado de línea 222.

[0091] En el modo de realización de ejemplo, un bus de convertidor de potencia de lado de línea 223 acopla eléctricamente el convertidor de potencia de lado de línea 222 a un filtro de línea 224. Además, un bus de línea 225 acopla eléctricamente el filtro de línea 224 a un contactor de línea 226. Además, el contactor de línea 226 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de conversión 228 por medio de un bus de disyuntor de circuito de conversión 230. Además, el disyuntor de circuito de conversión 228 está acoplado eléctricamente al disyuntor de circuito de transformador principal 214 por medio del bus de sistema 216 y un bus de conexión 232. De forma alternativa, el filtro de línea 224 está acoplado eléctricamente al bus de sistema 216 directamente por medio del bus de conexión 232 e incluye cualquier esquema de protección adecuado (no mostrado) configurado para tener en cuenta la extracción del contactor de línea 226 y el disyuntor de circuito de conversión 228 del sistema eléctrico y de control 200. El disyuntor de circuito de transformador principal 214 está acoplado eléctricamente a un transformador principal de potencia eléctrica 234 por medio de un bus de lado de generador 236. El transformador principal 234 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de red 238 por medio un bus de lado de disyuntor 240. El disyuntor de circuito de red 238 está conectado a la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica por medio de un bus de red 242. En un modo de realización alternativo, el transformador principal 234 está acoplado eléctricamente a uno o más fusibles (no mostrados), en lugar de al disyuntor de circuito de red 238, por medio del bus de lado de disyuntor 240. En otro modo de realización, no se usa ningún fusible ni disyuntor de circuito de red 238, sino que el transformador principal 234 se acopla a la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica por medio del bus de lado de disyuntor 240 y el bus de red 242.

[0092] En el modo de realización de ejemplo, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 está acoplado en comunicación eléctrica con el convertidor de potencia de lado de línea 222 por medio de un único enlace de corriente continua (CC) 244. De forma alternativa, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 están acoplados eléctricamente por medio de enlaces de CC individuales y separados (no mostrados en la FIG. 2). El enlace de CC 244 incluye un carril positivo 246, un carril negativo 248 y al menos un condensador 250 acoplado entre el carril positivo 246 y el carril negativo 248. De forma alternativa, el condensador 250 incluye uno o más condensadores configurados en serie y/o en paralelo entre el carril positivo 246 y el carril negativo 248.

[0093] El controlador de turbina 202 está configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de tensión y corriente eléctrica desde un primer conjunto de sensores de tensión y corriente eléctrica 252. Además, el controlador de turbina 202 está configurado para monitorizar y controlar al menos algunas de las variables operativas (también denominadas en el presente documento como parámetros operativos) asociadas con la turbina eólica 100. En el modo de realización de ejemplo, cada uno de los tres sensores de tensión y corriente eléctrica 252 está acoplado eléctricamente a cada una de las tres fases del bus de red 242. En consecuencia, se puede determinar una frecuencia actual de la red por el controlador 202. De forma alternativa o además, el controlador de turbina 202 se puede acoplar funcionalmente con un sensor de frecuencia que se puede conectar con la red. Además, es posible que el controlador 202 reciba la frecuencia actual de la red o al menos una señal representativa de la frecuencia actual de la red por medio del controlador de central principal, tal como un controlador de parque eólico acoplado funcionalmente con un respectivo sensor.

[0094] Como se muestra en la FIG. 2, el sistema eléctrico y de control 200 también incluye un controlador de convertidor 262 que está configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de tensión y corriente eléctrica. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador de convertidor 262 recibe señales de medición de tensión y corriente eléctrica de un segundo grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 254 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de estátor 208. El controlador de convertidor 262 recibe un tercer grupo de señales de medición de tensión y corriente eléctrica de un tercer grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 256 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de rotor 212. El controlador de convertidor 262 también recibe un cuarto grupo de señales de medición de tensión y corriente eléctrica de un cuarto grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 264 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de disyuntor de circuito de conversión 230. El segundo conjunto de sensores de tensión y corriente eléctrica 254 es sustancialmente similar al primer conjunto de sensores de tensión y corriente eléctrica 252, y el cuarto conjunto de sensores de tensión y corriente eléctrica 264 es sustancialmente similar al tercer conjunto de sensores de tensión y corriente eléctrica 256. El controlador de convertidor 262 es sustancialmente similar al controlador de turbina 202 y está acoplado en comunicación electrónica de datos al controlador de turbina 202. Además, en el modo de realización de ejemplo, el controlador de convertidor 262 está físicamente integrado dentro del conjunto de conversión de potencia 210. De forma alternativa, el controlador de convertidor 262 tiene cualquier configuración que facilite la operación del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento.

[0095] Durante la operación, el viento incide en las palas 108 y las palas 108 transforman la energía eólica en un par de torsión de rotación mecánico que acciona de forma rotatoria el eje lento 112 por medio del buje 110. El eje lento 112 acciona la caja de engranajes 114 que, posteriormente, eleva la baja velocidad de rotación del eje lento 112 para accionar el eje rápido 116 a una velocidad de rotación incrementada. El eje rápido 116 acciona de forma rotatoria el rotor de generador 122. Se induce un campo magnético rotatorio por el rotor de generador 122 y se induce una tensión dentro del estátor de generador 120 que está acoplado magnéticamente al rotor de generador 122. El generador 118 convierte la energía mecánica de rotación en una señal de energía eléctrica de corriente alterna (CA) trifásica sinusoidal en el estátor de generador 120. En el modo de realización de ejemplo, la potencia eléctrica asociada se transmite al transformador principal 234 por medio del bus de estátor 208, el conmutador de sincronización de estátor 206, el bus de sistema 216, el disyuntor de circuito de transformador principal 214 y el bus de lado de generador 236. El transformador principal 234 eleva la amplitud de tensión de la potencia eléctrica y la potencia eléctrica transformada se transmite además a una red por medio del bus de lado de disyuntor 240, el disyuntor de circuito de red 238 y el bus de red 242.

[0096] En el modo de realización de ejemplo, se proporciona una segunda trayectoria de transmisión de potencia eléctrica. La potencia de CA sinusoidal trifásica eléctrica se genera dentro del rotor de generador 122 y se transmite al conjunto de conversión de potencia 210 por medio del bus de rotor 212. Dentro del conjunto de conversión de potencia 210, la potencia eléctrica se transmite al filtro de rotor 218 y la potencia eléctrica se modifica para la tasa de cambio de las señales de PWM asociadas con el convertidor de potencia de lado de rotor 220. El convertidor de potencia de lado de rotor 220 actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA trifásica sinusoidal a potencia de CC. La potencia de CC se transmite al enlace de CC 244. El condensador 250 facilita la mitigación de las variaciones de amplitud de tensión del enlace de CC 244 al facilitar la mitigación de una onda de CC asociada con la rectificación de CA.

[0097] La potencia de CC se transmite posteriormente desde el enlace de CC 244 al convertidor de potencia de lado de línea 222 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 actúa como un inversor configurado para

convertir la potencia eléctrica de CC del enlace de CC 244 en potencia eléctrica de CA sinusoidal trifásica con tensiones, corrientes y frecuencias predeterminadas. Esta conversión se monitoriza y controla por medio del controlador de convertidor 262. La potencia de CA convertida se transmite desde el convertidor de potencia de lado de línea 222 al bus de sistema 216 por medio del bus de convertidor de potencia de lado de línea 223 y el bus de línea 225, el contactor de línea 226, el bus de disyuntor de circuito de conversión 230, el disyuntor de circuito de conversión 228 y el bus de conexión 232. El filtro de línea 224 compensa o ajusta las corrientes armónicas en la potencia eléctrica transmitida desde el convertidor de potencia de lado de línea 222. El conmutador de sincronización de estátor 206 está configurado para cerrarse para facilitar la conexión de la potencia trifásica del estátor de generador 120 con la potencia trifásica del conjunto de conversión de potencia 210.

[0098] El disyuntor de circuito de conversión 228, el disyuntor de circuito de transformador principal 214 y el disyuntor de circuito de red 238 están configurados para desconectar los correspondientes buses, por ejemplo, cuando el flujo de corriente en exceso puede dañar los componentes del sistema eléctrico y de control 200. También se proporcionan componentes de protección adicionales, incluyendo el contactor de línea 226, que se puede controlar para formar una desconexión abriendo un conmutador (no mostrado en la FIG. 2) correspondiente a cada línea del bus de línea 225.

[0099] El conjunto de conversión de potencia 210 compensa o ajusta la frecuencia de la potencia trifásica del rotor de generador 122 para cambios, por ejemplo, en la velocidad del viento en el buje 110 y las palas 108. Por lo tanto, de esta manera, las frecuencias de rotor mecánicas y eléctricas se desacoplan de la frecuencia de estátor.

[0100] En algunas condiciones, las características bidireccionales del conjunto de conversión de potencia 210, y, específicamente, las características bidireccionales del convertidor de potencia de lado de rotor 220 y del convertidor de potencia de lado de línea 222, facilitan la retroalimentación de al menos parte de la potencia eléctrica generada en rotor de generador 122. Más específicamente, la potencia eléctrica se transmite desde el bus de sistema 216 al bus de conexión 232 y posteriormente a través del disyuntor de circuito de conversión 228 y el bus de disyuntor de circuito de conversión 230 al conjunto de conversión de potencia 210. En el conjunto de conversión de potencia 210, la potencia eléctrica se transmite a través del contactor de línea 226, el bus de línea 225 y el bus de convertidor de potencia de lado de línea 223 al convertidor de potencia de lado de línea 222. El convertidor de potencia de lado de línea 222 actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA trifásica sinusoidal a potencia de CC. La potencia de CC se transmite al enlace de CC 244. El condensador 250 facilita la mitigación de las variaciones de amplitud de tensión de enlace de CC 244 facilitando la mitigación de un rizado de CC a veces asociado con la rectificación de CA trifásica.

[0101] La potencia de CC se transmite posteriormente desde el enlace de CC 244 al convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de rotor 220 actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC transmitida desde el enlace de CC 244 en una potencia eléctrica de CA sinusoidal trifásica con tensiones, corrientes y frecuencias predeterminadas. Esta conversión se monitoriza y controla por medio del controlador de convertidor 262. La potencia de CA convertida se transmite desde el convertidor de potencia de lado de rotor 220 al filtro de rotor 218 por medio del bus de filtro de rotor 219 y posteriormente se transmite al rotor de generador 122 por medio del bus de rotor 212, facilitando, de este modo, una operación subsíncrona.

[0102] El conjunto de conversión de potencia 210 está configurado para recibir señales de control desde el controlador de turbina 202. Las señales de control se basan en condiciones detectadas o características operativas de la turbina eólica 100 y el sistema eléctrico y de control 200. Las señales de control se reciben por el controlador de turbina 202 y se usan para controlar la operación del conjunto de conversión de potencia 210. Se puede usar retroalimentación de uno o más sensores por el sistema eléctrico y de control 200 para controlar el conjunto de conversión de potencia 210 por medio del controlador de convertidor 262, incluyendo, por ejemplo, tensiones o retroalimentaciones de corriente del bus de disyuntor de circuito de conversión 230, bus de estátor y bus de rotor por medio del segundo conjunto de sensores de tensión y corriente eléctrica 254, el tercer conjunto de sensores de tensión y corriente eléctrica 256 y el cuarto conjunto de sensores de tensión y corriente eléctrica 264. Usando esta información de retroalimentación y, por ejemplo, señales de control de conmutación, se pueden generar de cualquier manera conocida señales de control de conmutación de sincronización de estátor y señales de control (desconexión) de disyuntor de circuito de sistema. Por ejemplo, para un transitorio de tensión de red con características predeterminadas, el controlador de convertidor 262 interrumpirá sustancialmente al menos de forma temporal la conducción de los IGBT dentro del convertidor de potencia de lado de línea 222. Dicha suspensión de la operación del convertidor de potencia de lado de línea 222 mitigará sustancialmente la potencia eléctrica que se canaliza a través del conjunto de conversión de potencia 210 a aproximadamente cero.

[0103] En el modo de realización de ejemplo, el generador 118, el conjunto de conversión de potencia 210 acoplado eléctricamente al generador 118 y el transformador elevador 234 forman el sistema de conversión de potencia de la turbina eólica 100.

[0104] La FIG. 4A ilustra un diagrama de bloques de una turbina eólica 400. La turbina eólica 400 típicamente es similar a la turbina eólica 100 explicada anteriormente con respecto a de la FIG. 1 a la fig. 3 y también tiene una

góndola 402, un sistema de conversión de potencia 410 dispuesto en la góndola 402, conectado mecánicamente con un rotor, y que se puede conectar eléctricamente con una red de suministro para alimentar potencia de salida eléctrica P a la red de suministro, típicamente por medio de un disyuntor de circuito de red 238 y opcionalmente por medio de otro transformador (exterior a la góndola 402), por ejemplo, un transformador de parque eólico.

5

[0105] En el modo de realización de ejemplo, un sistema de refrigeración de aire 450, que típicamente se implementa como y/o se proporciona por un sistema de aire acondicionado, está dispuesto en y/o sobre la góndola 402.

10

[0106] En un modo de refrigeración, el sistema de refrigeración de aire 450 refrigera el aire ambiental 28a recibido desde el exterior de la góndola 401 desde la temperatura del aire ambiental T_a a una menor temperatura T_c , y alimenta o descarga el aire ambiental refrigerado como aire de refrigeración 28c en el interior de la góndola 402, de forma más particular, hacia o incluso hacia un sistema de refrigeración 430 del sistema de conversión de potencia 410, en particular, por medio de un conducto de suministro de aire dispuesto entre una salida del sistema de refrigeración de aire 450 para el aire ambiental 28c refrigerado y una entrada de aire de refrigeración del sistema de refrigeración 430 para extraer el calor Q en exceso del sistema de conversión de potencia 420. En este procedimiento, el aire de refrigeración 28c se recalienta y se descarga desde la góndola 402 como aire de escape 28d de mayor temperatura T_d , típicamente por medio de un conducto de escape.

15

20

[0107] Como se ilustra además en la FIG. 4A, el sistema de refrigeración de aire 450 puede estar provisto de potencia eléctrica P_i desde el sistema de conversión de potencia 420 por medio de un sistema de distribución de potencia eléctrica interno 470.

25

[0108] Típicamente, al menos un generador del sistema de conversión de potencia 410 se puede refrigerar, si se desea, usando el sistema de refrigeración 430 que está provisto de aire ambiental 28c refrigerado por el sistema de refrigeración de aire 430, en particular, a mayor temperatura del aire ambiental T_a , si se va a extraer un alto calor Q residual y/o si se desea que el sistema de conversión de potencia 410 suministre una gran cantidad de potencia P (activa y/o reactiva) a la red.

30

[0109] De forma alternativa o además, una caja de engranajes, un convertidor de potencia, un transformador y/o un armario eléctrico del sistema de conversión de potencia 410 se pueden refrigerar de esta manera para mantener el respectivo componente por debajo de una respectiva temperatura umbral. Por ejemplo, el sistema de aire acondicionado se puede conectar a un refrigerador de caja de engranajes por medio de un intercambiador de calor de líquido-líquido.

35

[0110] La temperatura T_c del aire ambiental refrigerado y del aire de refrigeración 28c, respectivamente, y/o la diferencia de temperaturas $T_a - T_c$ pueden ser incluso controlables.

40

[0111] Típicamente, la temperatura de uno o más de los componentes del sistema de conversión de potencia 410 se controla por un controlador de turbina acoplado en comunicación por medio de un bus de datos y/o respectivas líneas de datos con el sistema de refrigeración de aire 450, el sistema de refrigeración 430, el sistema de conversión de potencia 410, los componentes de conversión de potencia del sistema de conversión de potencia 410 y/o los respectivos sensores de temperatura.

45

[0112] Para refrigerar el sistema de conversión de potencia 410 y sus componentes de conversión de potencia, respectivamente, el sistema de refrigeración 430 puede tener uno o más circuitos de refrigeración cerrados para extraer calor Q que se hacen circular con un respectivo refrigerante que se puede refrigerar con aire de refrigeración 28c, por ejemplo, uno (o incluso más) respectivos circuitos de refrigeración cerrados para cada componente de conversión de potencia.

50

[0113] Un circuito de refrigeración cerrado de este tipo se muestra en la FIG. 4B que ilustra un diagrama de bloques de una turbina eólica 400 que típicamente es similar a, e incluso puede corresponder a, la turbina eólica 400 explicada anteriormente con respecto a la FIG. 4A.

55

[0114] En el modo de realización de ejemplo, el sistema de refrigeración de aire 450 incluye un primer circuito de refrigeración abierto C1 para recibir aire ambiental 28' en una primera entrada y un segundo circuito de refrigeración abierto C2 para recibir aire ambiental 28 en una segunda entrada. Los circuitos de refrigeración abiertos C1, C2 están acoplados térmicamente entre sí por medio de un intercambiador de calor H12 del sistema de refrigeración de aire 450 de modo que, en el modo de refrigeración, el calor se transfiera desde el aire ambiental 28a recibido en la segunda entrada al aire ambiental 28a' recibido en la primera entrada. Mientras que el aire caliente del primer circuito de refrigeración abierto C1 se descarga, en el modo de refrigeración, en una primera salida como primer aire de escape 28d' a mayor temperatura $T_e > T_a$, el aire ambiental refrigerado del segundo circuito de refrigeración abierto C2 se descarga como aire de refrigeración 28c de menor temperatura $T_c < T_a$ en una segunda salida y se transfiere a un ventilador F de ejemplo de un sistema de refrigeración 430 para bombear aire de refrigeración 28c a través de un circuito de refrigeración abierto C3 del sistema de refrigeración 430. El circuito de refrigeración abierto C3 está acoplado térmicamente por medio de un intercambiador de calor H34 del

60

65

sistema de refrigeración 430 con un circuito de refrigeración cerrado C4 de ejemplo para extraer calor Q del sistema de conversión de potencia 410.

5 **[0115]** En consecuencia, se puede usar una cascada de cuatro circuitos de refrigeración C1-C4 acoplados térmicamente entre sí para refrigerar el sistema de conversión de potencia 410.

[0116] Sin embargo, también es posible que para refrigerar el sistema de conversión de potencia 410 solo se usen tres circuitos de refrigeración acoplados térmicamente entre sí.

10 **[0117]** Por ejemplo, el primer circuito de refrigeración abierto C1 se puede omitir, por ejemplo, en un modo de realización en el que el intercambiador de calor H12 se implementa como refrigerador termoeléctrico, es decir, basado en refrigeración termoeléctrica del aire ambiental 28 en el circuito de refrigeración abierto C2 y el calor transferido se descarga por medio de aletas de refrigeración o similares.

15 **[0118]** Sin embargo, debido a la mayor eficacia, el intercambiador de calor H12 típicamente se implementa como un sistema de compresión de vapor (incluso que tiene un circuito de refrigeración interno cerrado adicional).

[0119] Esto también se puede aplicar al intercambiador de calor H34.

20 **[0120]** La FIG. 4C ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento 1000 de operación de una turbina eólica, en particular, una turbina eólica 100, 400, 400' como se explica anteriormente con respecto a de la FIG. 1 a la FIG. 4B. Como tal, la turbina eólica tiene un sistema de conversión de potencia para proporcionar potencia de salida eléctrica a una red, en particular, una red de suministro, y un sistema de refrigeración de aire para proporcionar (en un modo de refrigeración) aire ambiental refrigerado como aire de refrigeración al sistema de conversión de potencia.

25 **[0121]** Típicamente durante la operación de la turbina eólica en un modo operativo normal, en el que el sistema de conversión de potencia convierte la potencia motriz de entrada recibida desde el rotor en potencia de salida eléctrica y proporciona al menos una parte importante de la potencia de salida eléctrica a la red de suministro, el procedimiento 1000 incluye un bloque (etapa) 1100 de operación del sistema de refrigeración de aire en el modo de refrigeración y provisión de aire ambiental refrigerado como aire de refrigeración al sistema de conversión de potencia, respectivamente.

30 **[0122]** De acuerdo con un modo de realización, el bloque 1100 se realiza dependiendo de al menos un parámetro operativo del sistema de conversión de potencia y/o si el al menos un parámetro operativo es igual a o mayor que un respectivo umbral.

35 **[0123]** En consecuencia, el bloque 1100 típicamente se realiza dependiendo de la determinación del al menos un parámetro operativo, por ejemplo, incluyendo la medición de una o más respectivas temperaturas, o la recepción del al menos un parámetro operativo en un bloque 1050 precedente.

[0124] Como se indica por la flecha discontinua en la FIG. 4C, el procedimiento 1000 puede regresar del bloque 1100 al bloque 1050 en un momento más tarde para comenzar un nuevo ciclo de control.

45 **[0125]** Además, solo si, a pesar de refrigerar el sistema de conversión de potencia usando el aire ambiental refrigerado como aire de refrigeración, una temperatura del sistema de conversión de potencia (por ejemplo, al menos un componente de potencia del mismo) es igual a o mayor que un respectivo umbral de temperatura superior (tercer umbral de temperatura), una potencia de salida reactiva del sistema de conversión de potencia y/o una potencia de salida reactiva del sistema de conversión de potencia se pueden restringir en un bloque 1200 posterior.

50 **[0126]** La FIG. 5A ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento 2000 de operación de una turbina eólica, en particular, una turbina eólica 100, 400, 400' como se explica anteriormente con respecto a de la FIG. 1 a la FIG. 4B.

55 **[0127]** Típicamente el procedimiento 2000 es similar al procedimiento 1000 explicado anteriormente con respecto a la FIG. 4C y también incluye un bloque 2100 de operación del sistema de refrigeración de aire de la turbina eólica en el modo de refrigeración. Sin embargo, el procedimiento 2000 es más específico.

60 **[0128]** En el modo de realización de ejemplo, el sistema de refrigeración de aire se opera en el modo de refrigeración solo si la temperatura T_a del aire ambiental es igual a o mayor que un umbral de temperatura ambiental T_{h_Ta} de, por ejemplo, 30° o 35 °C, y se satisface al menos una de las siguientes condiciones: (a) una demanda de potencia reactiva RPD del sistema de conversión de potencia es igual a o mayor que un umbral de demanda de potencia reactiva $Th1_RPD$, y (b) una demanda de potencia activa APD del sistema de conversión de potencia es igual a o mayor que un umbral de demanda de potencia activa $Th1_APD$.

[0129] De otro modo, la producción de potencia activa y típicamente también reactiva del sistema de conversión de potencia se controla en un bloque 2300 sin usar el modo de refrigeración del sistema de refrigeración de aire para incrementar la extracción de calor del sistema de conversión de potencia, lo que no se desea en estas condiciones.

5

[0130] El procedimiento 2000 se puede considerar como incrementar proactivamente la extracción de calor del sistema de conversión de potencia en condiciones de alta demanda de potencia y alta temperatura ambiental, lo que, de otro modo, puede dar como resultado altas cargas térmicas para los componentes del sistema de conversión de potencia.

10

[0131] Para reducir las fluctuaciones inducidas por el control y/o ahorrar energía, el sistema de refrigeración de aire también se puede operar solo en el modo de refrigeración si se satisfacen las condiciones anteriores ($T_a \geq T_h_T_a$ y $(RPD > Th1_RPD$ o $APD \geq Th1_APD$)) durante un respectivo periodo de tiempo predeterminado, por ejemplo, de uno o varios segundos.

15

[0132] La FIG. 5B ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento 3000 de operación de una turbina eólica, en particular, una turbina eólica 100, 400, 400' como se explica anteriormente con respecto a de la FIG. 1 a la FIG. 4B.

20

[0133] Típicamente el procedimiento 3000 también es similar al procedimiento 1000 explicado anteriormente con respecto a la FIG. 4C y también incluye un correspondiente bloque 2100 de (activación o mantenimiento) operación del sistema de refrigeración de aire de la turbina eólica en el modo de refrigeración. Sin embargo, el procedimiento 3000 es más específico.

25

[0134] En el modo de realización de ejemplo, el modo de refrigeración se activa en el bloque 3100 si una temperatura T_c del aire de refrigeración es igual a o mayor que un primer umbral de temperatura del aire de refrigeración $Th1_T_c$, si una temperatura TGS de un estátor de generador es igual a o mayor que un primer umbral de temperatura de estátor de generador $Th1_TGS$, o si una temperatura TGB de un rodamiento de generador es igual a o mayor que un primer umbral de temperatura de rodamiento de generador $Th1_TGB$.

30

[0135] Las temperaturas T_c , TGS y TGB típicamente se monitorizan en un bloque 3050.

35

[0136] Después de activar el modo de refrigeración, se puede comprobar si las temperaturas T_c , TGS y TGB, no obstante, superan o al menos alcanzan un respectivo umbral de temperatura superior $Th3_T_c$ ($>Th1_T_c$), $Th3_TGS$ ($>Th1_TGS$), $Th3_TGB$ ($>Th1_TGB$).

40

[0137] Si es así, se puede activar la restricción de potencia para el sistema de conversión de potencia para evitar el sobrecalentamiento en un bloque 3200.

40

[0138] De otro modo, se puede comprobar si todas las temperaturas T_c , TGS y TGB están por debajo de un respectivo segundo umbral de temperatura $Th2_T_c$ ($Th2_T_c < Th1_T_c$), $Th2_TGS$ ($Th2_TGS < Th1_TGS$), $Th2_TGB$ ($Th2_TGS < Th1_TGS$).

45

[0139] Si es así, se puede desactivar el modo de refrigeración y el procedimiento 3000 puede regresar al bloque 3050. De otro modo, se mantiene el modo de refrigeración.

50

[0140] En comparación con el procedimiento 2000 explicado anteriormente con respecto a la FIG. 5A, el sistema de refrigeración de aire se opera en el modo de refrigeración dependiendo de las temperaturas de generador monitorizadas. Por tanto, el modo de refrigeración solo se usa cuando realmente se desea.

50

[0141] De forma alternativa o además, se pueden tener en cuenta las temperaturas de otros componentes de conversión de potencia para controlar (activar/desactivar) el modo de refrigeración.

55

[0142] Además, se pueden tener en cuenta una o más propiedades térmicas de la turbina eólica y sus componentes, respectivamente, en particular, el/los componente(s) de conversión de potencia, tal como las respectivas constantes de tiempo térmicas para controlar el modo de refrigeración (operación del sistema de refrigeración de aire).

60

[0143] Aunque las características específicas de diversos modos de realización de la invención se pueden mostrar en algunos dibujos y no en otros, esto solo es por conveniencia. De acuerdo con los principios de la invención, se puede hacer referencia a y/o reivindicar cualquier característica de un dibujo en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

65

[0144] Los modos de realización de la presente invención se han descrito anteriormente con referencia a diagramas de bloques e ilustraciones de diagramas de flujo de procedimientos, aparatos (es decir, sistemas) y productos de programa informático. Se entenderá que cada bloque de los diagramas de bloques e ilustraciones de

diagramas de flujo, y combinaciones de bloques en los diagramas de bloques e ilustraciones de diagramas de flujo, respectivamente, se pueden implementar por diversos medios, incluyendo instrucciones de programa informático. Estas instrucciones de programa informático se pueden cargar en un ordenador de propósito general, un ordenador de propósito especial u otro aparato de procesamiento de datos programable, tal como el/los procesador(es) 204 analizado(s) anteriormente con referencia a la FIG. 3, para producir una máquina, de modo que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otro aparato de procesamiento de datos programable creen un medio para implementar las funciones especificadas en el bloque o bloques del diagrama de flujo.

[0145] Estas instrucciones de programa informático también se pueden almacenar en una memoria legible por ordenador no transitoria que pueda dar instrucciones a un ordenador u otro aparato de procesamiento de datos programable (por ejemplo, el/los procesador(es) 204 de la FIG. 3) para que funcione de una manera particular, de modo que las instrucciones almacenadas en la memoria legible por ordenador produzcan un artículo de fabricación que incluya instrucciones legibles por ordenador para implementar la función especificada en el bloque o bloques del diagrama de flujo. Las instrucciones de programa informático también se pueden cargar en un ordenador u otro aparato de procesamiento de datos programable para provocar que se realice una serie de etapas operativas en el ordenador u otro aparato programable para producir un procedimiento implementado por ordenador de modo que las instrucciones que se ejecuten en el ordenador u otro aparato programable proporcionen etapas para implementar las funciones especificadas en el bloque o bloques del diagrama de flujo.

[0146] En consecuencia, los bloques de los diagramas de bloques e ilustraciones de diagramas de flujo admiten combinaciones de medios para realizar las funciones especificadas, combinaciones de etapas para realizar las funciones especificadas y medios de instrucción de programa para realizar las funciones especificadas. También se entenderá que cada bloque de los diagramas de bloques e ilustraciones de diagramas de flujo, y combinaciones de bloques en los diagramas de bloques e ilustraciones de diagramas de flujo, se pueden implementar por sistemas informáticos basados en *hardware* de propósito especial que realizan las funciones o etapas especificadas, o combinaciones de *hardware* de propósito especial e instrucciones de ordenador.

[0147] A menos que se indique expresamente de otro modo, de ninguna manera se pretende que ningún procedimiento expuesto en el presente documento se interprete como que requiere que sus etapas se realicen en un orden específico. En consecuencia, si la reivindicación de un procedimiento no enumera, en realidad, un orden que se va a seguir por sus etapas o no se indica específicamente de otro modo en las reivindicaciones o descripciones que las etapas van a estar limitadas a un orden específico, de ninguna manera se pretende que un orden se deduzca, en ningún respecto. Esto es válido para cualquier posible base no expresa de interpretación, incluyendo: cuestiones de lógica con respecto a la disposición de las etapas o flujo operativo, sentido llano derivado de la organización gramatical o puntuación; el número o tipo de modos de realización descritos en la memoria descriptiva.

[0148] El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos se les ocurran a los expertos en la técnica. Por ejemplo, al menos uno de los componentes de conversión de potencia, tal como el transformador, se puede ubicar al menos parcialmente en la torre o una base en lugar de en la góndola. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieran del lenguaje literal de las reivindicaciones.

Números de referencia

turbina eólica	100, 400, 400'
góndola	102, 402
torre	104
sistema de orientación	105
rotor	106
mástil meteorológico	107
palas	108
sistema de <i>pitch</i>	109
buje	110
eje lento	112
caja de engranajes	114

ES 3 015 482 T3

	generador	118
5	estátor de generador	120
	rotor de generador	122
	sistema de control	200
10	controlador de turbina	202
	procesador	204
15	conmutador de sincronización	206
	memoria	207
	bus de estátor	208
20	módulo de comunicaciones	209
	conjunto de conversión de potencia	210, 410
25	interfaz de sensor	211
	bus de rotor	212
	disyuntor de circuito de transformador	214
30	bus de sistema	216
	filtro de rotor	218
35	bus de filtro	219
	convertidor de potencia de lado de rotor	220
	convertidor de potencia de lado de línea	222
40	bus de convertidor de potencia de lado de línea	223
	filtro de línea	224
45	bus de línea	225
	contactor de línea	226
	disyuntor de circuito de conversión	228
50	bus de disyuntor de circuito de conversión	230
	bus de conexión	232
55	transformador principal de potencia eléctrica	234
	bus de lado de generador	236
	disyuntor de circuito de red	238
60	bus de lado de disyuntor	240
	red de distribución por medio de un bus de red	242
65	enlace de CC	244
	carril positivo	246

ES 3 015 482 T3

	carril negativo	248
5	condensador	250
	sensores de corriente eléctrica	252
	sensores de corriente eléctrica	254
10	sensores de corriente eléctrica	256
	sensores de temperatura	257, 258
15	controlador de convertidor	262
	sensores de corriente eléctrica	264
	sistema de refrigeración	430
20	sistema de refrigeración de aire	450
	red interna	470
25	procedimiento, etapas de procedimiento	1000 - 3200
	demanda de potencia reactiva	RPD
	demanda de potencia activa	APD
30	temperatura de estátor	TGS
	temperatura de rodamiento	TGB
35	temperatura	Ta-Td
	umbrales para parámetro	parámetro Th*
	circuitos de refrigeración	C1-C4
40	ventilador	F
	intercambiador de calor	H12, H34
45	potencia	P
	calor	Q

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento (1000, 2000, 3000) para operar una turbina eólica (100, 400, 400') que comprende un sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420, 430) configurado para proporcionar potencia de salida eléctrica (P) a una red (242), y un sistema de refrigeración de aire (450) configurado, en un modo de refrigeración, para refrigerar un aire ambiental (28a) y proporcionar el aire ambiental refrigerado como aire de refrigeración (28c) al sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420, 430), comprendiendo el procedimiento (1000, 2000, 3000):

 - 10 • operar (1100, 2100, 3100) el sistema de refrigeración de aire (450) en el modo de refrigeración si al menos un parámetro operativo (APD, RPD, TGB, TBS) del sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420, 430) es igual a o mayor que un respectivo umbral (Th1_APD, Th1_RPD, Th1_TGB, Th1_TBS),
 - 15 estando el procedimiento **caracterizado por que** el aire ambiental se recibe desde el exterior de la turbina eólica.
- 20 2. El procedimiento (1000, 2000, 3000) de la reivindicación 1, en el que el sistema de refrigeración de aire (450) se opera en el modo de refrigeración si se satisface al menos una de las siguientes condiciones:

 - 25 • una demanda de potencia reactiva (RPD) del sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420, 430) es igual a o mayor que un umbral de demanda de potencia reactiva (Th1_RPD);
 - una demanda de potencia activa (APD) del sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420, 430) es igual a o mayor que un umbral de demanda de potencia activa (Th1_APD);
 - 30 • una temperatura (Ta) del aire ambiental (28a) es igual a o mayor que un umbral de temperatura ambiental (Th_Ta);
 - una temperatura (Tc) del aire de refrigeración (28c) es igual a o mayor que un umbral de temperatura del aire de refrigeración (Th1_Tc);
 - 35 • una temperatura (TGS, TGB, Tc) de al menos un componente de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420) del sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420, 430) es igual a o mayor que un respectivo primer umbral de temperatura (Th1_TGS, Th1_TGB, Th1_Tc), típicamente comprendiendo el sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420, 430) varios componentes de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420) configurados para contribuir a convertir la potencia motriz de entrada en la potencia de salida eléctrica (P) si la potencia motriz de entrada se recibe desde un rotor (106) de la turbina eólica (100, 400, 400'), comprendiendo el rotor (106) palas de rotor (108); y
 - 40 • la temperatura (TGS, TGB, Tc) del al menos uno de los componentes de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420) es igual a o más grande que un respectivo segundo umbral de temperatura (Th2_GS, Th2_TGB, Th2_Tc) más pequeño que el respectivo primer umbral de temperatura (Th1_TGS, Th1_TGB, Th1_Tc).
- 45 3. El procedimiento (1000, 3000) de la reivindicación 2, en el que el sistema de refrigeración de aire (450) se opera en el modo de refrigeración dependiendo de la temperatura del al menos un componente de conversión de potencia.
- 50 4. El procedimiento (1000, 3000) de la reivindicación 2 o 3, en el que el sistema de refrigeración de aire (450) se opera en el modo de refrigeración dependiendo de al menos una de una temperatura de una caja de engranajes (114), una temperatura de un convertidor de potencia (220, 222), una temperatura de un transformador (234) y una temperatura del generador (118), en particular, al menos una de una temperatura (TGB) de un rodamiento del generador (118) y una temperatura (TGS) de un estátor (120) del generador (118).
- 55 5. El procedimiento (1000, 2000) de la reivindicación 2, en el que el sistema de refrigeración de aire (450) se opera en el modo de refrigeración independientemente de la temperatura del al menos un componente de conversión de potencia del sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420, 430).
- 60 6. El procedimiento (1000, 2000, 3000) de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, que comprende además restringir (1200, 3200) al menos una de una potencia de salida reactiva del sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420, 430) y una potencia de salida reactiva del sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420, 430) si la temperatura del al menos un componente de conversión de potencia

del sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420, 430) es igual a o mayor que un respectivo tercer umbral de temperatura (Th3_GS, Th3_TGB, Th3_Tc), siendo más grande el tercer umbral de temperatura (Th3_GS, Th3_TGB, Th3_Tc) que al menos uno del respectivo primer umbral de temperatura (Th1_TGS, Th1_TGB, Th1_Tc) y del respectivo segundo umbral de temperatura (Th2_GS, Th2_TGB, Th2_Tc).

7. El procedimiento (1000, 2000, 3000) de cualquier reivindicación precedente, que comprende al menos uno de:

- medir (1050) una respectiva temperatura;
- recibir la demanda de potencia reactiva (RPD);
- recibir la demanda de potencia activa (APD);
- activar el modo de refrigeración en base a al menos una de la temperatura medida, demanda de potencia reactiva (RPD) recibida y demanda de potencia activa (APD) recibida;
- desactivar el modo de refrigeración en base a al menos una de la temperatura medida, demanda de potencia reactiva (RPD) recibida y demanda de potencia activa (APD) recibida; y
- usar el aire de refrigeración para extraer calor (Q) del sistema de conversión de potencia, en particular, por medio de un sistema de refrigeración (430) del sistema de conversión de potencia, estando configurado el sistema de refrigeración (430) para recibir el aire de refrigeración;
- operar una cascada de tres circuitos de refrigeración (C1-C3) acoplados térmicamente entre sí; y
- operar una cascada de cuatro circuitos de refrigeración (C1-C4) acoplados térmicamente entre sí.

8. Una turbina eólica (100, 400, 400') que comprende:

- un rotor (106) que comprende palas de rotor (108);
- un sistema de refrigeración de aire (450) configurado para recibir aire ambiental (28a), para refrigerar el aire ambiental (28a), y para proporcionar el aire ambiental refrigerado como aire de refrigeración (28c);
- un sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420, 430) conectado mecánicamente con el rotor (106), que se puede conectar eléctricamente a una red de suministro (242), configurado para convertir la potencia motriz de entrada en potencia de salida eléctrica (P); y
- un sistema de refrigeración (430) configurado para recibir el aire de refrigeración (28) y para usar el aire de refrigeración para extraer calor (Q) del sistema de conversión de potencia,

caracterizada por que el sistema de refrigeración de aire (450) está configurado para recibir el aire ambiental (28a) desde el exterior de la turbina eólica.

9. La turbina eólica (100, 400, 400') de la reivindicación 8, en la que el sistema de refrigeración de aire (450) y el sistema de refrigeración (430) implementan al menos uno de: una cascada de tres circuitos de refrigeración (C1-C3) acoplados térmicamente entre sí y una cascada de cuatro circuitos de refrigeración (C1-C4) acoplados térmicamente entre sí, en la que el sistema de refrigeración de aire (450) se proporciona por un sistema de aire acondicionado, en la que el sistema de refrigeración de aire (450) está configurado para extraer calor del aire ambiental a una tasa de al menos hasta aproximadamente 15 kW, más típicamente de al menos hasta aproximadamente 20 kW, incluso más típicamente de al menos hasta aproximadamente 23 kW, y/o en la que el sistema de refrigeración de aire (450) está configurado para extraer calor del aire ambiental con una eficacia de refrigeración de al menos 2, más típicamente de al menos 3.

10. La turbina eólica (100, 400, 400') de la reivindicación 8 o 9, en la que el sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420, 430) comprende al menos un componente de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420) configurado para contribuir a convertir la potencia motriz de entrada recibida desde el rotor (106) en potencia de salida eléctrica (P), en la que el sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234) comprende al menos uno de: una caja de engranajes (114), un generador (118), un conjunto de conversión de potencia (210) y un transformador (234) como respectivos componentes de conversión de potencia, en la que el sistema de refrigeración (430) está configurado para extraer calor de al menos uno de los componentes de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420), en la que al menos uno de los

componentes de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420) está dispuesto en una góndola (102) de la turbina eólica, en la que el sistema de refrigeración de aire (450) está dispuesto al menos parcialmente en la góndola o sobre la góndola, en la que el sistema de refrigeración (430) comprende al menos uno de: un circuito de refrigeración interno cerrado (C4) conectado de forma fluidica con el sistema de conversión de potencia para extraer el calor, un circuito de refrigeración abierto (C3) acoplado térmicamente con el circuito de refrigeración interno cerrado (C4) y configurado para recibir el aire de refrigeración (28c), un intercambiador de calor (H34) dispuesto entre el circuito de refrigeración abierto (C3) y el circuito de refrigeración interno cerrado (C4), y un refrigerador principal configurado para recibir el aire de refrigeración (28c), comprendiendo típicamente el refrigerador principal el intercambiador de calor y/o estando implementado como un intercambiador de calor de líquido-líquido o un refrigerador de aire-líquido, en particular, un refrigerador de aceite-aire, en la que el sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420) está configurado para convertir la potencia motriz de entrada tanto en potencia de salida activa como en potencia de salida reactiva, y/o en la que el sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234, 410, 420) es un sistema de DFIG.

11. La turbina eólica (100, 400, 400') de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, que comprende además un controlador (202) acoplado en comunicación con al menos uno del sistema de refrigeración de aire (450), el sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234), y al menos un sensor de temperatura, estando configurado típicamente el sistema de control (202) para llevar a cabo el procedimiento (1000, 2000, 3000) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
12. La turbina eólica (100, 400, 400') de la reivindicación 11, en la que el al menos un sensor de temperatura está configurado para medir una respectiva temperatura de al menos uno de: el aire ambiental, el aire de refrigeración, el sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234) y al menos un componente de conversión de potencia del sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234).
13. La turbina eólica (100, 400, 400') de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en la que el sistema de refrigeración (430) comprende al menos uno de un ventilador (F) y un intercambiador de calor (H34) para el sistema de conversión de potencia que puede estar provisto del aire de refrigeración (28c), en particular, un respectivo ventilador y/o intercambiador de calor para al menos un componente de conversión de potencia del sistema de conversión de potencia, tal como el generador.
14. La turbina eólica (100, 400, 400') de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en la que el sistema de conversión de potencia y el sistema de refrigeración de aire (450) se pueden conectar con un sistema de distribución de potencia eléctrica interno (470), y/o en la que el sistema de refrigeración de aire (450) puede estar provisto de potencia eléctrica (Pi) desde el sistema de conversión de potencia (114, 118, 210, 234).
15. Un producto de programa informático o un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio que comprende instrucciones que, al ejecutarse por uno o más procesadores (204) de un sistema, en particular, un sistema de control (202) de la turbina eólica (100, 400, 400') de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14, provocan que el sistema lleve a cabo el procedimiento (1000, 2000, 3000) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

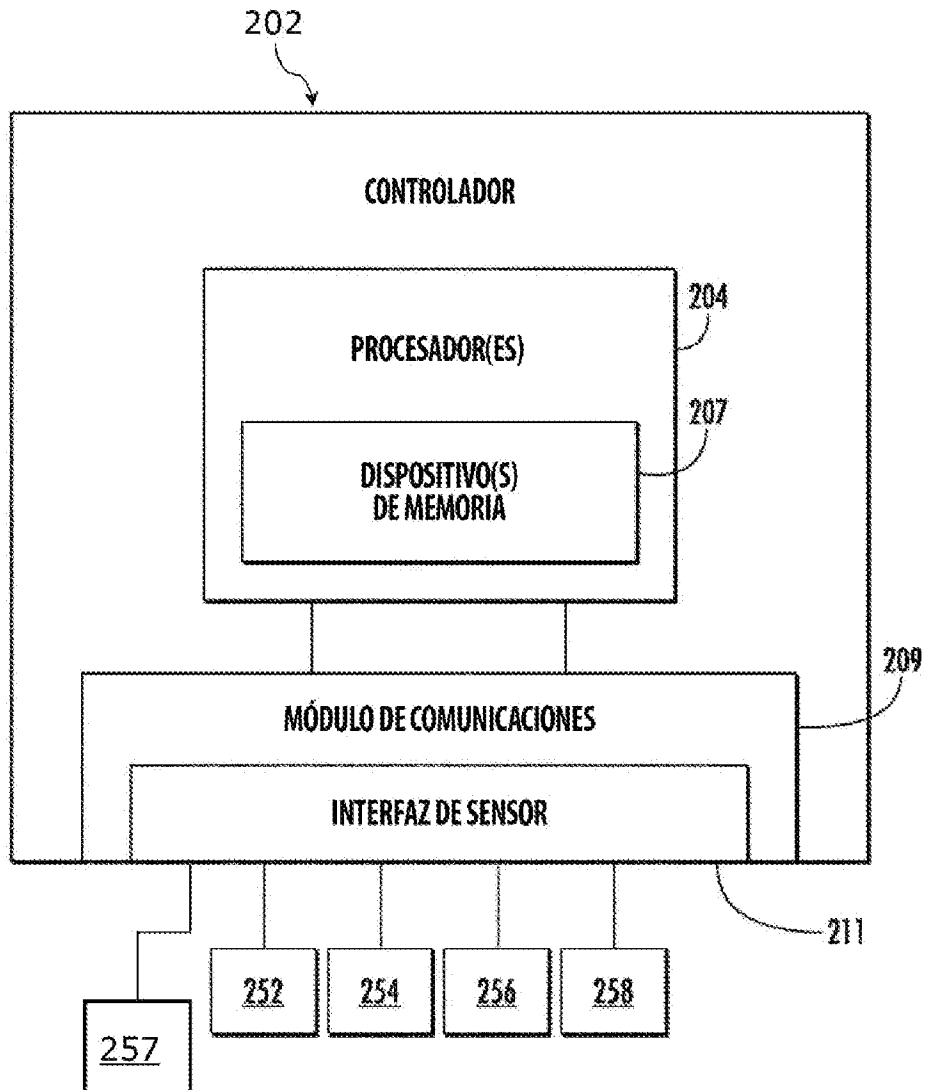


FIG 3

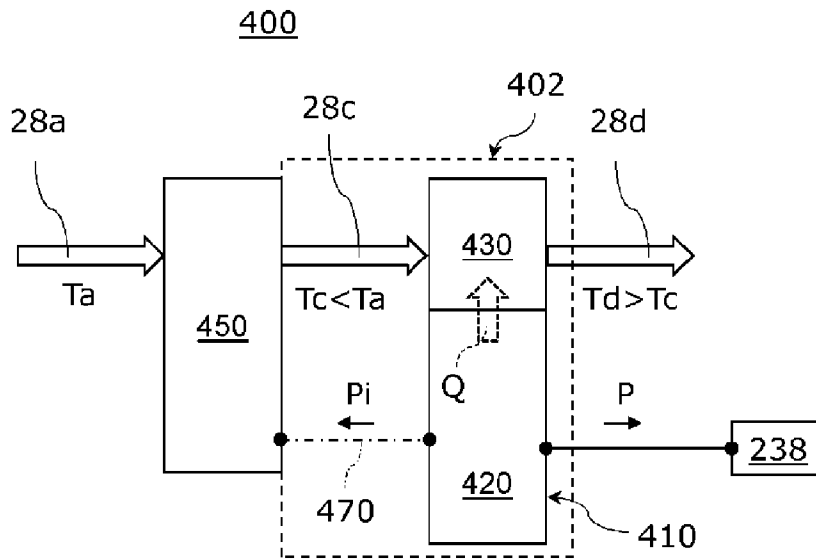


FIG 4A

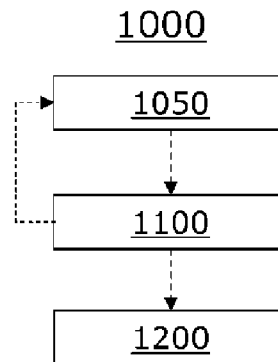


FIG 4C

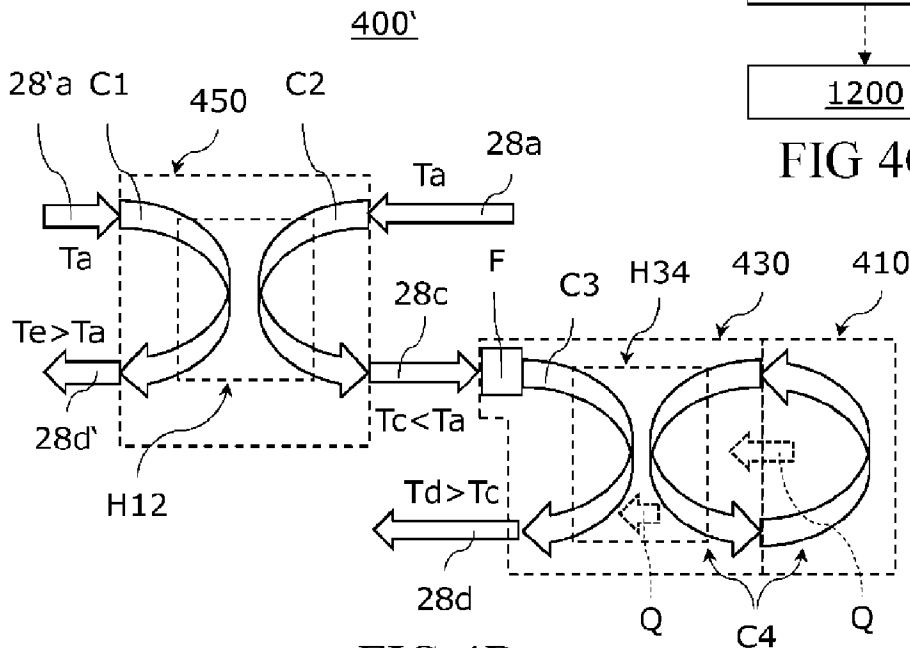


FIG 4B

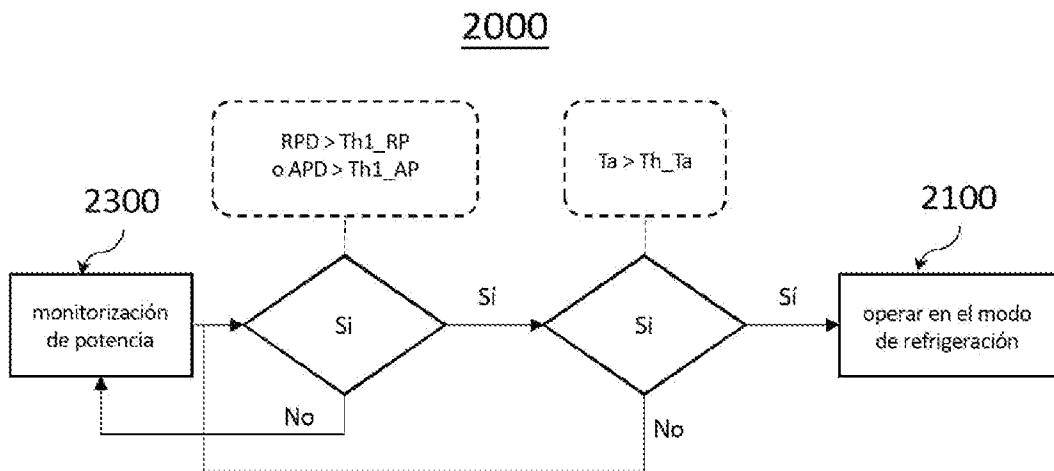


FIG 5A

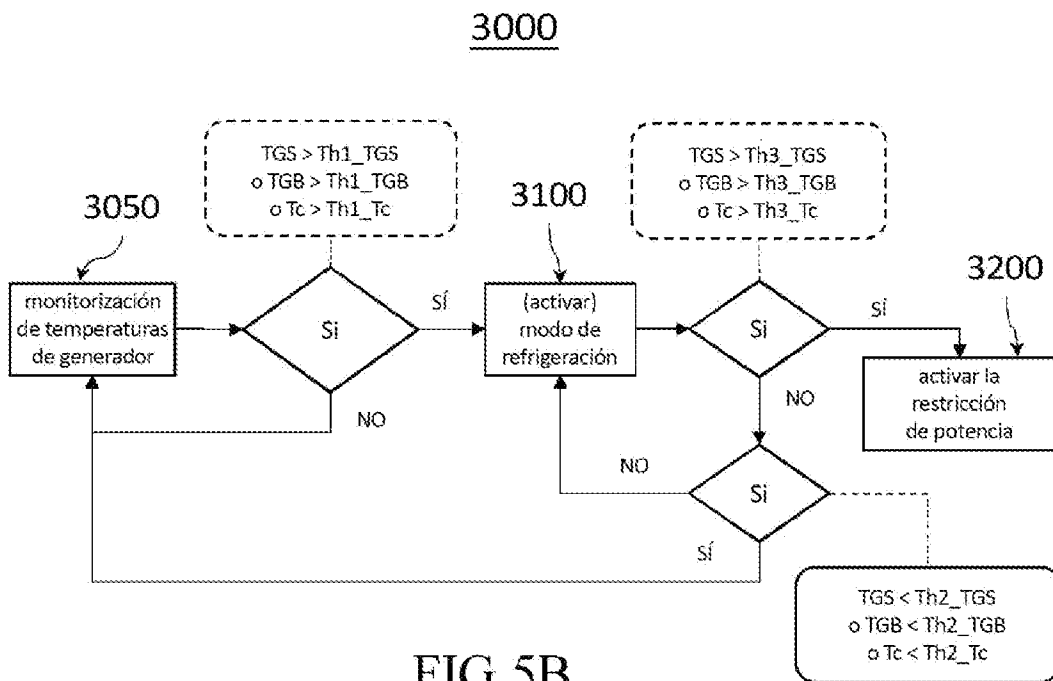


FIG 5B