

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 707 923**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2014** **E 14190166 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018** **EP 2868918**

54 Título: **Sistema y procedimiento para controlar una turbina eólica**

30 Prioridad:

**31.10.2013 US 201314068356**

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

**05.04.2019**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)  
1 River Road  
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**DRAPER, SAMUEL DAVID**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 707 923 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

Sistema y procedimiento para controlar una turbina eólica

La presente materia se refiere por lo general a turbinas eólicas y, más particularmente, a un sistema y procedimiento para controlar una turbina eólica de una manera que proporciona una mayor potencia de salida durante una porción temprana de la vida útil de la turbina sin resultar en una reducción en la vida útil total de la turbina.

La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medio ambiente actualmente disponibles y las turbinas eólicas han ganado cada vez más atención en este sentido. Una turbina eólica moderna incluye normalmente una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola, y uno o más rotores. Las palas del rotor son los elementos principales para la conversión de la energía eólica en energía eléctrica. Las palas tienen normalmente el perfil de sección transversal de un perfil aerodinámico tal que, durante la operación, el aire fluye sobre la pala produciendo una diferencia de presión entre sus lados. En consecuencia, una fuerza de sustentación, que se dirige desde el lado de presión hacia el lado de aspiración, actúa sobre la pala. La fuerza de sustentación genera un par en el eje del rotor principal, que se engrana a un generador para producir electricidad. Véase documentos US 6.850.821 y EP 2 302 208, por ejemplo.

Normalmente, una turbina eólica se diseña para operar a su potencia nominal durante la vida útil predeterminada o esperada. En muchos casos, esta vida útil esperada se limita por o se basa en la vida esperada de los componentes de uno o más de los componentes de la turbina eólica (denominados en la presente memoria como "componentes que limitan la vida"). Por ejemplo, la Figura 1 ilustra datos ejemplares para una turbina eólica convencional que tiene una vida 100 útil esperada (que termina en la línea 102 discontinua) que se define por la vida esperada de los componentes (indicada por la curva 104 de vida de los componentes) de uno o más de sus componentes que limitan la vida. Como se muestra en la Figura 1, puesto que la turbina eólica se opera a su potencia nominal a lo largo del tiempo (indicado por la curva 106 calificación constante), la vida restante de los componentes para su uno o más componentes que limitan la vida disminuye linealmente a lo largo de la curva 104 de vida de los componentes desde el 100 % en el arranque inicial de la turbina eólica hasta aproximadamente el 50 % en el punto medio de la vida esperada de la turbina (indicado por el punto 108) y después a aproximadamente el 0 % al final 102 de la vida 100 útil esperada de la turbina 100. Por lo tanto, para una turbina eólica de este tipo (suponiendo que no hay otros factores de diseño limitantes o restrictivos), la vida 100 útil esperada de la turbina se define por la vida útil esperada de tal uno o más componentes que limitan la vida.

Además, para muchas turbinas eólicas, la potencia de salida nominal asociada a cada turbina eólica está muy por debajo de la potencia de salida máxima instantánea que puede lograrse. Por lo tanto, a menudo es deseable aumentar la capacidad de una turbina eólica para maximizar su potencia de salida total. Sin embargo, tal aumento de capacidad da como resultado una mayor carga sobre los componentes de la turbina eólica, reduciendo de este modo la vida de los componentes. Como tal, para una turbina eólica que tiene una vida útil esperada que se limita basándose en la vida esperada de los componentes del uno o más componentes que limitan la vida, el aumento de capacidad de la turbina eólica puede reducir significativamente su vida útil total.

Por consiguiente, un sistema y procedimiento para controlar una turbina eólica que permite aumentar la potencia de salida de la turbina a lo largo de una primera porción de su vida útil para aumentar el valor actual neto de la turbina sin resultar en una reducción en la vida útil total de la turbina serían bien recibidos en la tecnología.

Diversos aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden quedar claros a partir de la descripción, o pueden aprenderse mediante la práctica de la invención.

La presente invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

Diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se comprenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y a las reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran las realizaciones de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

la Figura 1 ilustra un gráfico ejemplar que representa tanto la potencia de salida de una turbina eólica (eje y, a la izquierda) como una función del tiempo (eje x) como la vida de los componentes de uno o más componentes de la turbina eólica (eje y, a la derecha) a medida que la turbina eólica se opera a lo largo del tiempo a su potencia de salida nominal;

la Figura 2 ilustra una vista en perspectiva de una realización de una turbina eólica;

la Figura 3 ilustra una vista en perspectiva simplificada del interior de la góndola de la turbina eólica que se muestra en la Figura 2;

la Figura 4 ilustra una vista esquemática de una realización de los componentes adecuados que pueden incluirse dentro de un controlador de la turbina de la turbina eólica que se muestra en la Figura 2;

la Figura 5 ilustra un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento para controlar una turbina eólica de acuerdo con los aspectos de la presente materia;

5 la Figura 6 ilustra un gráfico ejemplar que representa tanto potencia de salida de una turbina eólica (eje y, a la izquierda) como una función del tiempo (eje x) como la vida de los componentes de uno o más componentes de la turbina eólica (eje y, a la derecha) a medida que la turbina eólica se opera a lo largo del tiempo junto con una curva de capacidad nominal predeterminada de acuerdo con los aspectos de la presente materia;

la Figura 7 ilustra un gráfico que muestra ejemplos de resultados de diversos análisis de carga (por ejemplo, LA #1- #5) realizados en una turbina eólica para determinar su potencia de salida máxima basada en la carga de acuerdo con aspectos de la presente materia;

10 la Figura 8 ilustra otro gráfico ejemplar que representa tanto la potencia de salida de una turbina eólica (eje y, a la izquierda) como una función de tiempo de tiempo (eje x) como la vida de los componentes de uno o más componentes de la turbina eólica (eje y, a la derecha) a medida que la turbina eólica se opera a lo largo del tiempo junto con una curva de capacidad nominal predeterminada diferente de acuerdo con los aspectos de la presente materia;

15 la Figura 9 ilustra un gráfico que proporciona bandas de carga ejemplares bandas representativas de diferentes condiciones de carga que se producen en una turbina eólica en diferentes combinaciones de condiciones de operación; y

20 la Figura 10 ilustra gráfico que muestra una porción de la curva de capacidad nominal predeterminada que se muestra en la Figura 6, que ilustra en particular los ajustes que se pueden hacer cuando baja la capacidad de la turbina eólica para tener en cuenta las condiciones reales de operación de la turbina.

A continuación se hará referencia, en detalle, a las realizaciones de la invención, cuyo uno o más ejemplos se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no como limitación de la invención. De hecho, será evidente para los expertos en la materia que diversas modificaciones y variaciones se pueden hacer en la presente invención sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, las características  
25 ilustradas o descritas como parte de una realización se pueden utilizar con otra realización para producir una realización adicional. Por lo tanto, se pretende que la presente invención cubra tales modificaciones y variaciones que entran dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Por lo general, la presente materia se refiere a un sistema y procedimiento para controlar una turbina eólica. Específicamente, el sistema y procedimiento divulgados se proporcionan para una turbina eólica a ser operada a  
30 una potencia de salida inicial que es superior a su potencia nominal durante una porción temprana de la vida útil de la turbina. A medida que la turbina eólica continúa operándose a lo largo del tiempo, la potencia de salida puede reducirse de la potencia de salida inicial para mantener la vida útil real de la turbina eólica en o por encima de su vida útil esperada. Por ejemplo, la turbina eólica puede operarse a una mayor potencia de salida (es decir, por encima de su potencia de salida nominal) durante una primera porción de la vida útil de la turbina para aumentar su  
35 potencia de salida y a potencia de salida reducida (es decir, por debajo de su potencia nominal) durante una segunda porción de la vida útil de la turbina para mantener la vida útil real de la turbina eólica sustancialmente igual o mayor que su vida útil esperada. Como resultado de este sesgo de carga temprano, el valor actual neto de la turbina eólica se puede aumentar de manera significativa al principio de su vida sin reducir su vida útil total.

Haciendo referencia a continuación a la Figura 2, una vista en perspectiva de una realización de una turbina 10 eólica se ilustra de acuerdo con aspectos de la presente materia. Como se muestra, la turbina 10 eólica incluye, por lo general, una torre 12 que se extiende desde una superficie 14 de soporte, una góndola 16 montada sobre la torre 12, y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un cubo 20 giratorio y al menos una pala 22 del rotor acoplada a y que se extiende hacia fuera desde el cubo 20. Por ejemplo, en la realización ilustrada, el rotor 18 incluye tres palas 22 del rotor. Sin embargo, en una realización alternativa, el rotor 18 puede incluir más o menos de  
45 tres palas 22 del rotor. Cada pala 22 del rotor puede estar separada alrededor del cubo 20 para facilitar el giro del rotor 18 para permitir que la energía cinética se transfiera del viento en energía mecánica útil, y posteriormente, en energía eléctrica. Por ejemplo, el cubo 20 se puede acoplar de forma giratoria a un generador 24 eléctrico (Figura 3) situado dentro de la góndola 16 para permitir la producción de energía eléctrica.

La turbina 10 eólica puede incluir también un sistema de control de turbina o controlador 26 de turbina centralizado dentro de la góndola 16 (o dispuesto en cualquier otra ubicación adecuada dentro y/o en relación con la turbina 10 eólica). Por lo general, el controlador 26 de turbina puede comprender un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por tanto, en diversas realizaciones, el controlador 26 de turbina puede incluir instrucciones adecuadas legibles por ordenador que, cuando se aplican, configuran el controlador 26 para realizar diversas funciones diferentes, tales como recepción, transmisión y/o la ejecución de señales de control de turbinas eólicas. Como tal, el  
50 controlador 26 de turbina puede, por lo general, configurarse para controlar los diferentes modos de operación (por ejemplo, secuencias de arranque o parada) y/o componentes de la turbina 10 eólica. Por ejemplo, el controlador 26 puede configurarse para ajustar el paso de la pala o el ángulo de inclinación de cada pala 22 del rotor (es decir, un ángulo que determina la perspectiva de la pala 22 con respecto a la dirección del viento) sobre su eje 28 de paso

para controlar la velocidad de giro de la pala 22 del rotor y/o la potencia de salida generada por la turbina 10 eólica. Por ejemplo, el controlador 26 de turbina puede controlar el ángulo de paso de las palas 22 del rotor, ya sea individual o simultáneamente, transmitiendo señales de control adecuadas a una o más unidades de control de paso o mecanismos 32 de ajuste de paso (Figura 3) de la turbina 10 eólica.

- 5 Haciendo referencia a continuación a la Figura 3, se ilustra una vista simplificada, interna de una realización de la góndola 16 de la turbina 10 eólica que se muestra en la Figura 2. Como se muestra, un generador 24 se puede disponer dentro de la góndola 16. Por lo general, el generador 24 se puede acoplar al rotor 18 para producir energía eléctrica a partir de la energía de giro generada por el rotor 18. Por ejemplo, como se muestra en la realización ilustrada, el rotor 18 puede incluir un eje 38 del rotor acoplado al cubo 20 para girar con el mismo. El eje 38 del rotor puede, a su vez, acoplarse en giro a un eje 40 del generador del generador 24 a través de una caja 42 de engranajes. Como se entiende generalmente, el eje 38 del rotor puede proporcionar una entrada de baja velocidad y alto par a la caja 42 de engranajes en respuesta al giro de las palas 22 del rotor y el cubo 20. La caja 42 de engranajes puede, a continuación, configurarse para convertir la entrada de baja velocidad y alto par en una salida de alta velocidad y bajo par para accionar el eje 40 del generador y, por tanto, el generador 24.
- 10
- 15 Además, como se ha indicado anteriormente, el controlador 26 puede también situarse dentro de la góndola 16 (por ejemplo, dentro de una caja o panel de control). Sin embargo, en otras realizaciones, el controlador 26 se puede situar dentro de cualquier otro componente de la turbina 10 eólica o en una ubicación fuera de la turbina eólica (por ejemplo, cuando el controlador 26 se configura como un controlador del parque para el control de una pluralidad de turbinas eólicas). Como se entiende generalmente, el controlador 26 se puede acoplar en comunicación a cualquier número de los componentes de la turbina 10 eólica para controlar la operación de tales componentes. Por ejemplo, como se ha indicado anteriormente, el controlador 26 se puede acoplar en comunicación a cada mecanismo 32 de ajuste de paso de la turbina 10 eólica (uno para cada pala 22 del rotor) a través de un controlador 30 de paso para facilitar el giro de cada pala 22 del rotor alrededor de su eje 28 de paso.
- 20

Por lo general, cada mecanismo 32 de ajuste de paso puede incluir cualquier componente adecuado y puede tener cualquier configuración adecuada que permita que el mecanismo 32 de ajuste de paso opere como se describe aquí. Por ejemplo, en diversas realizaciones, cada mecanismo 32 de ajuste de paso puede incluir un motor 44 de accionamiento de paso (por ejemplo, cualquier motor eléctrico adecuado), una caja 46 de engranajes de accionamiento de paso, y un piñón 48 de accionamiento de paso. En tales realizaciones, el motor 44 de accionamiento de paso se puede acoplar a la caja 46 de engranajes de accionamiento de paso de modo que el motor 44 de accionamiento de paso imparte una fuerza mecánica a la caja 46 de engranajes de accionamiento de paso. De manera similar, la caja 46 de engranajes de accionamiento de paso se puede acoplar al piñón 48 de accionamiento de paso para girar con el mismo. El piñón 48 de accionamiento de paso puede, a su vez, estar en acoplamiento giratorio con un cojinete 50 de paso acoplado entre el cubo 20 y una pala 22 del rotor correspondiente de tal manera que el giro del piñón 48 de accionamiento de paso haga girar el cojinete 50 de paso. Por tanto, en tales realizaciones, el giro del motor 44 de accionamiento de paso acciona la caja 46 de engranajes de accionamiento de paso y el piñón 48 de accionamiento de paso, girando así el cojinete 50 de paso y la pala 22 del rotor alrededor del eje 28 de paso. En realizaciones alternativas, debe apreciarse que cada mecanismo 32 de ajuste de paso puede tener cualquier otra configuración adecuada que facilite el giro de una pala 22 del rotor sobre su eje 28 de paso.

25

30

35

Además, la turbina 10 eólica puede incluir también uno o más sensores para el control de diversas condiciones de operación de la turbina 10 eólica. Por ejemplo, en diversas realizaciones, la turbina 10 eólica puede incluir uno o más sensores 60 en el eje configurados para supervisar una o más condiciones operativas relacionadas con el eje de la turbina 10 eólica, tales como las cargas que actúan sobre el eje 38 del rotor (por ejemplo, cargas de empuje, flexión y/o de par), la deflexión del eje 38 del rotor (por ejemplo, incluyendo la flexión del eje), la velocidad de giro del eje 38 del rotor y/o similares. La turbina eólica puede incluir también uno o más sensores 62 en las palas (Figuras 2 y 3) configurados para supervisar una o más condiciones operativas relacionadas con palas de la turbina 10 eólica, tales como las cargas que actúan sobre las palas 22 (por ejemplo, cargas de flexión), la deflexión de las palas 22 (por ejemplo, incluyendo la flexión, torsión de las palas y/o similares), la vibración de las palas 22, el ruido generado por las palas 22, el ángulo de paso de las palas 22, la velocidad de giro de las palas 22 y/o similares. Además, la turbina 10 eólica puede incluir uno o más sensores 64 en el generador configurados para supervisar una o más condiciones operativas relacionadas con el generador de la turbina 10 eólica, tales como la potencia de salida del generador 24, la velocidad de giro del generador 24, el par del generador y/o similares.

40

45

50

Por otra parte, la turbina 10 eólica puede incluir también diversos otros sensores para el control de numerosas otras condiciones de operación de la turbina. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 3, la turbina 10 eólica puede incluir uno o más sensores 66 en la torre para el control de diversas condiciones operativas relacionadas con la torre, tales como las cargas que actúan la torre 12, la deflexión de la torre 12 (por ejemplo, la flexión y/o torsión de la torre), las vibraciones de la torre y/o similares. Además, la turbina 10 eólica puede incluir uno o más sensores 68 de viento para supervisar una o más condiciones de viento de la turbina 10 eólica, como la velocidad del viento, la dirección del viento, la turbulencia o intensidad de turbulencia del viento y/o similares. Del mismo modo, la turbina 10 eólica puede incluir uno o más sensores 70 en el cubo para supervisar diversas condiciones operativas relacionadas con el cubo por ejemplo, las cargas transmitidas a través del cubo 20, vibraciones del cubo y/o similares), uno o más sensores 72 en la góndola para supervisar una o más condiciones operativas relacionadas con la góndola por

55

60

ejemplo, las cargas transmitidas a través de la góndola 16, las vibraciones de la góndola y/o similares) y/o uno o más sensores 74 en la caja de engranajes para supervisar una o más condiciones operativas relacionadas con la caja de engranajes (por ejemplo, el par caja de la engranajes, la carga de la caja de engranajes, las velocidades de giro dentro de la caja de engranajes y/o similares). Por supuesto, la turbina 10 eólica puede incluir además otros  
5 diversos sensores adecuados para supervisar cualquier otra condición de operación adecuada de la turbina 10 eólica. Se debe apreciar que los diversos sensores descritos en la presente memoria pueden corresponder a sensores pre-existentes de una turbina 10 eólica y/o sensores que se han instalado específicamente dentro de la turbina 10 eólica para permitir la supervisión de una o más condiciones de operación.

También debería apreciarse que, como se utiliza en la presente memoria, el término "supervisión" y las variaciones del mismo indican que los diversos sensores de la turbina 10 eólica se pueden configurar para proporcionar una medición directa de las condiciones de operación que se están supervisando o una medición indirecta de tales condiciones de operación. Por lo tanto, los sensores pueden, por ejemplo, utilizarse para generar señales relativas a la condición de operación que está siendo supervisada, que pueden utilizarse después por el controlador 26 para determinar el estado de operación real. Por ejemplo, las señales de medición proporcionadas por el uno o más  
10 sensores 62 en las palas que miden la deflexión de cada pala 22 del rotor se pueden utilizar por el controlador 26 para determinar una o más condiciones relacionadas con la operación de las palas (por ejemplo, carga de la pala) y/o una o más de otras condiciones de operación de la turbina 10 eólica (por ejemplo, intensidad de la turbulencia del viento).

Haciendo referencia a continuación a la Figura 4, un diagrama de bloques de una realización de componentes adecuados que se pueden incluir dentro del controlador 26 se ilustra de acuerdo con los aspectos de la presente materia. Como se muestra, el controlador 26 puede incluir uno o más procesadores 76 y uno o más dispositivos 78 de memoria asociados configurados para realizar una variedad de funciones implementadas en ordenador (por ejemplo, la realización de procedimientos, etapas, cálculos y similares divulgados en la presente memoria). Tal como se utiliza aquí, el término "procesador" se refiere no solo a los circuitos integrados referenciados en la técnica como estando incluidos en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), una aplicación de circuito integrado específico, y otros circuitos programables. Adicionalmente, el uno o más dispositivos 78 de memoria pueden comprender, por lo general, uno o más elementos de memoria que incluyen, pero no se limitan 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 de disco compacto (CD-ROM), un disco magneto-óptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Tal uno o más dispositivos 78 de memoria pueden, por lo general, configurarse para almacenar instrucciones adecuadas legibles por ordenador que, cuando se implementan por el uno o más procesadores 76, configuran el controlador 26 para realizar diversas funciones incluyendo, pero sin limitarse a, la aplicación de los procedimientos divulgados en la presente memoria.

Además, el controlador 26 puede incluir también un módulo 80 de comunicaciones para facilitar las comunicaciones entre el uno o más controladores 26 y los diversos componentes de la turbina 10 eólica. Por ejemplo, el módulo 80 de comunicaciones puede incluir una interfaz 82 de sensores (por ejemplo, uno o más convertidores analógico-digital) para permitir que las señales transmitidas por el uno o más sensores 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74 se conviertan en señales que pueden entenderse y procesarse por los procesadores 76.

Haciendo referencia a continuación a la Figura 5, un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento 200 para controlar una turbina eólica se ilustra de acuerdo con los aspectos de la presente materia. Como se ha indicado anteriormente, el procedimiento 200 divulgado se puede utilizar para conseguir mayores potencias de salida de forma temprana en la vida útil de una turbina eólica sin reducir sustancialmente la vida útil total de la turbina 10. Específicamente, durante un período de operación inicial de la vida de la turbina, la turbina 10 eólica puede aumentar su capacidad de manera que se opera a una potencia de salida mayor que su potencia nominal. Como resultado, los diversos componentes de la turbina 10 eólica se pueden ver sometidos a un aumento de la carga durante este período de operación inicial, lo que puede conducir a un mayor desgaste/daño/degradación de los componentes. Para una turbina 10 eólica que tiene una vida útil esperada que se limita por la vida útil esperada de los componentes de uno o más de sus componentes que limitan la vida, la operación continuada en estas potencias de salida aumentadas puede reducir significativamente la vida útil real de la turbina. Por lo tanto, de acuerdo con los aspectos de la presente materia, la potencia de salida de la turbina 10 eólica puede reducirse a lo largo del tiempo de los mayores niveles de potencia de salida a niveles de salida por debajo de la potencia de salida nominal de manera que la vida útil real de la turbina eólica se mantiene sustancialmente igual o mayor que su vida útil esperada.

Para ilustrar los diversos principios de la presente materia, el procedimiento 200 mostrado en la Figura 5 se describirá, por lo general, con referencia a la Figura 6, que proporciona un ejemplo comparativo con el procedimiento convencional para la operación de la turbina eólica descrita anteriormente con referencia a la Figura 1. Específicamente, a diferencia del ejemplo de la Figura 1 en la que la turbina 10 eólica se opera continuamente a su potencia nominal a lo largo de una curva de capacidad nominal constante (mostrada en la Figura 6 como línea 106 discontinua), la turbina 10 eólica se configura para operarse de acuerdo con una curva 306 de capacidad nominal predeterminada a lo largo de la que la potencia de salida está a mayores niveles (es decir, por encima de la potencia nominal de la turbina) durante un primer período 310 de tiempo inicial y transiciona después a potencias de salida reducidas (es decir, por debajo de la potencia nominal de la turbina) durante un segundo período 312 de tiempo

posterior. Como resultado, la producción de energía de la turbina 10 eólica puede aumentarse significativamente durante el primer periodo 310 de tiempo. Sin embargo, tales mayores potencias nominales pueden también dar como resultado un aumento sustancial de la velocidad a la que los componentes de la turbina 10 eólica se desgastan, dañan o, de otro modo, degradado. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 6, la vida restante de los componentes de cualquiera de los componentes que limitan la vida de la turbina 10 eólica (indicada por la curva 304 de vida de los componentes) se reduce significativamente durante el primer periodo 310 de tiempo. Específicamente, a diferencia del ejemplo mostrado en la Figura 1 en el que la vida restante de los componentes en el punto 108 medio de la vida útil esperada de la turbina era igual a aproximadamente el 50 %, la vida restante de los componentes en tal punto 108 medio está muy por debajo del 50 %. Por lo tanto, para evitar una reducción de la vida útil total de la turbina 10 eólica, la potencia nominal puede reducirse por debajo de la potencia nominal durante el segundo periodo 312 de tiempo para retardar la degradación de los componentes. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 5, la potencia nominal se puede reducir de tal manera que la curva 304 de vida de los componentes se aplane y se extienda hasta un punto en y/o más allá de la línea 102 que define el final de la vida 100 útil esperada de la turbina, asegurando de esta manera que la vida útil real de la turbina 10 sea sustancialmente igual a o mayor que su vida 100 útil esperada.

Se debe apreciar que, como se utiliza en la presente memoria, la vida útil real de una turbina 10 eólica es "sustancialmente igual a" su vida útil esperada si la vida útil real está dentro del 5 % de la vida útil esperada de la turbina.

Como se muestra en la Figura 5, en (202), el procedimiento 200 incluye instalar una turbina 10 eólica en un sitio dado de la turbina eólica. En diversas realizaciones, la turbina 10 eólica que se instala puede corresponder a la única turbina eólica situada en dicho sitio o puede corresponder a una de muchas turbinas eólicas que forman parte de un parque eólico en el sitio seleccionado. Se debe apreciar que, cuando múltiples turbinas 10 eólicas se instalan en un sitio dado, cada turbina 10 eólica puede controlarse individualmente (a través del controlador 26 de cada turbina) utilizando los procedimientos divulgados en la presente memoria. Como alternativa, las turbinas 10 eólicas se pueden controlar juntas a través de un controlador del parque.

Adicionalmente, en (204), el procedimiento 200 incluye operar la turbina 10 eólica a una potencia de salida inicial que es mayor que su potencia nominal. Específicamente, como se ha indicado anteriormente, una vez que la turbina 10 eólica se instala en el sitio, la turbina 10 eólica se puede controlar durante un período de operación inicial de modo que la potencia de salida de la turbina está por encima de su potencia nominal para aumentar la salida de la turbina a lo largo de una primera porción de su vida. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 6, la potencia de salida inicial de la turbina eólica (indicada en el punto 320) puede estar bien por encima de la potencia nominal de la turbina.

Se debe apreciar que la turbina 10 eólica se puede controlar de cualquier manera adecuada que permita que se logre una potencia de salida inicial elevada de este tipo. Por ejemplo, como se entiende generalmente, el ángulo de paso de las palas 22 del rotor de una turbina 10 eólica se hace pasar normalmente (por ejemplo, utilizando los mecanismos 32 de ajuste de paso) más alejado a medida que la velocidad del viento alcanza y supera la velocidad del viento nominal de la turbina para mantener la turbina 10 eólica operando a su potencia nominal. Por tanto, en diversas realizaciones, tal paso de las palas 22 del rotor puede eliminarse y/o retrasarse para permitir la consecución de una potencia de salida inicial elevada.

También debe apreciarse que la potencia de salida inicial puede corresponder, por lo general, a cualquier potencia de salida adecuada que es mayor que la potencia de salida nominal de la turbina eólica. Sin embargo, en diversas realizaciones, la potencia de salida inicial se puede seleccionar basándose en una potencia de salida máxima determinada por la turbina 10 eólica. Específicamente, se puede realizar un análisis de carga de la turbina 10 eólica para determinar su potencia de salida máxima basándose en los márgenes de carga para los componentes de la turbina. Por ejemplo, cuando se opera a su potencia nominal, puede existir un margen de carga sustancial entre la carga real de los componentes de la turbina eólica y la envolvente de diseño o el umbral de carga para cada componente (es decir, el punto en el que un componente dado falla realmente debido a una carga excesiva). Por lo tanto, mediante el análisis de los márgenes de carga para una turbina 10 eólica dada, la potencia de salida máxima basada en la carga de la turbina 10 eólica puede determinarse. Esta potencia de salida máxima puede, a continuación, utilizarse como la potencia de salida inicial de la turbina 10 eólica.

En diversas realizaciones, el análisis de carga se puede realizar utilizando un modelo generado por ordenador. Por ejemplo, un modelo tridimensional (por ejemplo, un modelo de elementos finitos) de la turbina 10 eólica puede crearse utilizando el software de modelado adecuado. De este modo, los diversos parámetros de diseño y/o mecánicos de cada componente de turbina eólica (por ejemplo, la geometría/forma, dimensiones y propiedades del material, tales como la relación Poisson, el módulo de Young y la densidad, etc.) pueden introducirse en el modelo. Después de esto, el uso de software de análisis de carga adecuado (por ejemplo, cualquier software de análisis de elementos finitos comercialmente disponible adecuado), la operación de la turbina 10 eólica puede modelarse basándose en las condiciones de operación conocidas y/o esperadas de la turbina.

Por ejemplo, en diversas realizaciones, las condiciones del viento específicas de sitio, tales como la velocidad media del viento en el sitio (por ejemplo, una velocidad anual media del viento o una velocidad media del viento en veinte

años), una distribución media de la velocidad del viento en el sitio (es decir, la distribución o perfil de la velocidad del viento durante un período prolongado de tiempo) y/o cualquier otra u otras condiciones de operación adecuadas específicas del sitio (por ejemplo, ráfagas de viento y/o intensidad de turbulencia en el sitio), se pueden utilizar como entradas de carga para modelar con precisión la operación de la turbina 10 eólica basándose en sus condiciones de operación conocidas y/o esperadas. Las cargas resultantes de los componentes pueden a continuación analizarse basándose en el umbral de carga de cada componente de turbina eólica para identificar la configuración de par y velocidad máxima del rotor a la que la turbina 10 eólica puede operarse sin un fallo de un componente, que se puede utilizar después para determinar la potencia de salida máxima del aerogenerador 10.

Por ejemplo, la Figura 7 ilustra un diagrama de datos ejemplar que muestra los resultados de diversos análisis de carga (por ejemplo, LA #1- #5) realizados en una turbina eólica de 1,5 MW v, con varios de los componentes de la turbina eólica representándose a lo largo del eje x y el % margen con respecto al umbral de carga representándose a lo largo del eje y. Como se muestra, a la potencia nominal de 1,5 MW, el análisis de carga indicó que existía un margen de carga sustancial para cada uno de los componentes de la turbina eólica. Sin embargo, a medida que las configuraciones de velocidad y/o par del rotor de la turbina eólica se incrementaron para permitir el aumento de las potencias de salida, las cargas de los componentes se incrementaron también, lo que redujo los márgenes de carga de cada componente. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 7, cuando se opera a una potencia de 1,8 MW, el margen de carga para el cojinete de paso transición de positivo a negativo, lo que indica una alta probabilidad de que el cojinete de paso falle debido a una carga excesiva. Por lo tanto, puede determinarse que, basándose en las condiciones de operación conocidas y/o esperadas de la turbina eólica particular que está siendo analizada, la potencia de salida máxima de dicha turbina eólica está por debajo de 1,8 MW, tal como 1,7 MW o 1,75 MW. Esta potencia de salida máxima puede, a continuación, en diversas realizaciones, utilizarse como la potencia de salida inicial para la turbina 10 eólica.

Debe apreciarse que, aunque una turbina eólica instalada dentro de un parque eólico puede tener exactamente las mismas especificaciones de diseño que otras turbinas eólicas con el parque, la potencia de salida máxima para cada turbina eólica puede variar debido a diferentes condiciones de operación. Por ejemplo, las turbinas eólicas, situadas en el lado izquierdo de un campo pueden verse sometidas a velocidades medias del viento más bajas y/o a distribuciones de viento inferiores en comparación con las turbinas eólicas situadas en el lado derecho del campo (por ejemplo, debido a las diferencias del terreno, tales como colinas, etc.). Como resultado de ello, el análisis de carga puede indicar que las turbinas eólicas en el lado izquierdo del campo tienen una mayor potencia de salida máxima en comparación con las turbinas eólicas en el lado derecho del campo debido a las cargas más bajas que actúan sobre tales turbinas eólicas. De forma similar, las turbinas eólicas situadas corriente abajo de otras turbinas eólicas pueden verse sometidas a condiciones de operación muy diferentes en comparación con las turbinas eólicas corriente arriba y, por tanto, las potencias de salida máximas pueden diferir entre las turbinas eólicas corriente arriba y corriente abajo.

También debe apreciarse que, en realizaciones alternativas, la potencia de salida inicial utilizada al realizar elemento 204 del procedimiento puede corresponder cualquier otra potencia de salida adecuada que sea mayor que la potencia de salida nominal de la turbina 10 eólica que se controla, tal como cualquier potencia de salida entre la potencia de salida máxima de dicha turbina 10 eólica y su potencia de salida nominal.

Haciendo referencia de nuevo a la Figura 5, en (206), el procedimiento 200 incluye reducir la potencia de salida de la turbina 10 eólica a lo largo del tiempo de la potencia de salida inicial a una potencia de salida final que es menor que la potencia de salida nominal de la turbina. Específicamente, como se ha indicado anteriormente, la potencia de salida se puede reducir a lo largo del tiempo de manera que la vida útil real de la turbina 10 eólica sea sustancialmente igual o mayor que su vida útil esperada. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 6, en diversas realizaciones, la potencia de salida se puede reducir a lo largo del tiempo entre la potencia 320 de salida inicial y la potencia de salida final (indicada por el punto 322) de acuerdo con una curva 306 de capacidad nominal predeterminada. Por lo general, esta curva 306 de capacidad nominal puede seleccionarse de modo que la curva 304 de vida útil de los componentes de cualquier componente que limita la vida de la turbina 10 eólica se extienda a lo largo de un período de tiempo que sea sustancialmente igual o mayor que la vida 100 útil esperada de la turbina 10 eólica. Por lo tanto, si la vida útil esperada de la turbina es de 20 años, la turbina 10 eólica puede reducir su la potencia 320 de salida inicial, de manera que permita que la vida de los componentes de cualquiera de sus componentes que limitan la vida útil se extienda en al menos aproximadamente 20 años.

Se debe apreciar que la curva de capacidad nominal predeterminada puede corresponder por lo general a cualquier curva de operación adecuada que permite que la turbina 10 eólica se opere a través de toda su vida útil esperada. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 6, la curva 306 de capacidad nominal predeterminada define una línea recta entre las potencias 320, 322 de salida inicial y final de tal manera que la potencia de salida de la turbina 10 se reduce linealmente a lo largo del tiempo. Sin embargo, en otras realizaciones, la curva 306 de capacidad nominal predeterminada se puede seleccionar de manera que defina una línea curva entre las potencias 320, 322 de salida inicial y final.

También debe apreciarse que, en diversas realizaciones, la curva 306 de capacidad nominal predeterminada puede seleccionarse de manera que la potencia de salida de la turbina 10 eólica se reduzca de forma continua entre las potencias de salida inicial y final (por ejemplo, como se muestra en la Figura 6). Sin embargo, en otras realizaciones,

la potencia de salida de la turbina 10 eólica no se tiene que reducir de forma continua en el tiempo. Por ejemplo, como se muestra en el ejemplo de la Figura 8, la potencia de salida se mantiene en su potencia 320 de salida inicial, aumentada durante un período 350 de tiempo prolongado antes de reducirse durante un período 352 de reducción de capacidad. La potencia de salida se mantiene a continuación a la potencia 322 de salida final a lo largo de otro período 354 de tiempo prolongado. En dicha realización, seleccionando cuidadosamente los períodos 350, 354 de tiempo para mantener las potencias 320, 322 de salida inicial y final además de la manera en que se reduce capacidad de la potencia de salida durante el período 352 de reducción de capacidad, la vida útil real de la turbina 10 eólica se puede mantener sustancialmente igual o mayor que su vida 100 útil esperada (por ejemplo, como se indica por la curva 304 de vida de los componentes de la Figura 8).

Además, se debe apreciar que, en diversas realizaciones, la turbina 10 eólica se puede operar a lo largo de su curva 306 de capacidad nominal predeterminada sin hacer referencia a cualquiera de sus condiciones de operación reales. Por lo tanto, si la referencia de tiempo para la curva 306 de capacidad nominal se basa en el tiempo de operación de la turbina 10 eólica (es decir, la cantidad de tiempo que la turbina se opera en realidad), el controlador 26 puede simplemente configurarse para controlar la turbina 10 de modo que su potencia de salida se mantenga a lo largo de la curva de capacidad nominal a medida que la turbina se opera a lo largo del tiempo. De manera similar, si la referencia de tiempo para la curva 306 de capacidad nominal se basa en el tiempo del calendario, el controlador 26 se puede configurar para controlar la turbina 10 de modo que su potencia de salida se mantenga a lo largo de la curva de capacidad nominal a medida que pasa el tiempo. En una realización de este tipo, si la turbina 10 eólica ha estado inactiva durante cualquier período de tiempo, tras el arranque de la turbina 10, el controlador 26 puede configurarse para desplazar el punto de operación actual a lo largo de la curva 306 de capacidad nominal hacia la derecha para tener en cuenta dicho tiempo de inactividad.

Como alternativa, el controlador 26 se puede configurar para ajustar el punto de operación a lo largo de la curva 306 de capacidad nominal predeterminada basándose en una o más condiciones de operación de la turbina 10 eólica. Específicamente, en diversas realizaciones, se puede suponer que una turbina 10 eólica se somete a condiciones de carga medias esperadas u observadas en su sitio cuando se determina inicialmente la reducción en la vida de los componentes que se produce mientras que la turbina 10 está operando a una potencia nominal dada durante cualquier período de tiempo específico. Por lo tanto, si se determina que la turbina 10 eólica está operando, en cambio, en condiciones de carga más bajas durante el período de tiempo específico, puede ser necesario ajustar en una dirección el punto de operación a lo largo de la curva 306 de capacidad nominal para tener en cuenta el menor desgaste/daño/degradación de los componentes que se produce durante dicho período de tiempo. De forma similar, si se determina que la turbina 10 eólica opera en cambio en condiciones de carga más altas durante un período de tiempo específico, es posible que el punto de operación a lo largo de la curva 306 de capacidad nominal deba ajustarse en la otra dirección para tener en cuenta el mayor desgaste/daño/degradación de los componentes que se produce durante dicho período de tiempo.

Por lo tanto, haciendo referencia de nuevo a la Figura 5, en 208, el procedimiento 200 puede, en diversas realizaciones, incluir supervisar una o más condiciones de operación de la turbina 10 eólica. Por ejemplo, como se ha indicado anteriormente, la turbina 10 eólica puede incluir una pluralidad de sensores (por ejemplo, los sensores 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74) para la medición de diversas condiciones de operación de la turbina 10 eólica. Las señales de medición proporcionadas por los sensores pueden a continuación transmitirse al controlador 26 para permitir que el controlador 26 controle tal una o más condiciones de operación.

Además, en 210, el procedimiento 200 incluye determinar un ajuste de tiempo para la curva 306 de capacidad nominal predeterminada basándose en la una o más condiciones de operación supervisadas. Específicamente, en diversas realizaciones, el controlador 26 se puede configurar para determinar el efecto de las condiciones de operación actuales para la turbina 10 eólica en la vida de los componentes de cualquiera de los componentes que limitan la vida de la turbina. Por ejemplo, en una realización, el controlador 26 se puede configurar para estimar un factor de daño para tal uno o más componentes basándose en las condiciones de operación actuales. Este factor de daño puede, a continuación, estar correlacionado con un ajuste de tiempo para ajustar el punto de operación de la turbina 10 eólica a lo largo de la curva 306 de capacidad nominal predeterminada.

Por ejemplo, la Figura 9 ilustra un gráfico que proporciona datos ejemplares que se pueden utilizar por el controlador 26 para correlacionar las condiciones de operación actuales de una turbina 10 eólica con un factor de daño correspondiente que es representativo de la diferencia entre el cambio esperado en la vida de los componentes a lo largo del tiempo (por ejemplo, en condiciones de operación medias) y el cambio real en la vida de los componentes a lo largo del tiempo basándose en tales condiciones de operación reales. Como se muestra en la Figura 9, se proporciona datos ejemplares como una función de la velocidad del viento (eje x) y la intensidad de turbulencia (eje y). Sin embargo, en otras realizaciones, cualquier otras condiciones de operación adecuadas se pueden utilizar como una base para determinar el factor de daño divulgado.

Como se muestra en la Figura 9, el gráfico incluye una pluralidad de bandas 400, 402, 404, 406, 408 de carga, cubriendo cada banda de carga diversas combinaciones diferentes de la velocidad del viento y la intensidad de turbulencia. Específicamente, en la realización ilustrada, el gráfico incluye una banda 400 de carga media, primera y segunda bandas 402, 404 de carga bajas y primera y segunda bandas 406, 408 de carga alta. Sin embargo, en otras realizaciones, el gráfico puede incluir cualquier otro número de bandas de carga.

En diversas realizaciones, la banda 400 de carga media se puede seleccionar para extenderse a través de diversas combinaciones de velocidad del viento e intensidad de turbulencia a las que la turbina 10 eólica está generalmente experimentando condiciones de carga medias o normales. Además, las bandas 402, 404 de carga baja se pueden seleccionar de manera que se extienden a través de diversas combinaciones de velocidad del viento e intensidad de turbulencia a las que la turbina 10 eólica está operando en condiciones de carga más bajas en comparación con las de la banda 400 de carga media. Por lo tanto, a medida que la velocidad del viento y/o la turbulencia del viento se reducen en comparación con las contenidas dentro de la banda 400 de carga media, la operación de la turbina 10 eólica puede transicionar a la primera banda 402 de carga baja y, con más reducciones en la velocidad del viento y/o turbulencia del viento, en la segunda banda 404 de carga baja. De forma similar, las bandas 406, 408 de carga alta pueden seleccionarse para extenderse a través de varias combinaciones de velocidad del viento e intensidad de turbulencia a las que la turbina 10 eólica está operando en condiciones de carga más altas en comparación con las de la banda 400 de carga media. Por lo tanto, a medida que la velocidad del viento y/o la turbulencia del viento aumentan con respecto a las contenidas dentro de la banda 400 de carga media, la operación de la turbina 10 eólica puede transicionar a la primera banda 406 de carga alta y, con aumentos adicionales en la velocidad del viento y/o turbulencia del viento, a la segunda banda 408 de carga alta.

Se debe apreciar que las diversas bandas 400, 402, 404, 406, 408 de carga mostradas en la Figura 9 se proporcionan simplemente como ejemplos de bandas de carga que se puedan desarrollar basándose en los cambios en las condiciones de carga de la turbina en función de la velocidad del viento y la turbulencia del viento. Un experto en la materia debe apreciar fácilmente que bandas de carga similares pueden desarrollarse para cualquier otra combinación adecuada de condiciones de operación modelando la turbina 10 eólica basándose en tales condiciones cambiantes o mediante la realización de cualquier otro tipo adecuado de análisis.

Adicionalmente, en diversas realizaciones, cada banda 400, 402, 404, 406, 408 de carga se puede asociar con un factor de daño que es representativo de la magnitud de desgaste/daño/degradación que ocurre en uno o más de los componentes que limitan la vida de la turbina 10 eólica mientras que la turbina 10 está operando bajo un conjunto específico de condiciones de operación. Por lo tanto, el factor de daño puede ser mayor para las condiciones de carga que están por encima de las condiciones de carga normales o esperadas y menor para las condiciones de carga que están por debajo de las condiciones de carga normales o esperadas. Por ejemplo, en una realización particular de la presente materia, la banda 400 de carga media puede asignar un factor de daño específico, tal como un factor de daño de 1. Adicionalmente, a las bandas 402, 404 de carga baja, se les puede asignar un factor de daño que es menor que el factor de daño para la banda 400 de carga media, tal como un factor de daño de 0,1 para la primera banda 402 de carga baja y un factor de daño de 0,01 para la segunda banda 404 de carga baja. De manera similar, a las bandas 406, 408 de carga alta se les puede asignar un factor de daño que es mayor que el factor de daño para la banda 400 de carga media, tal como un factor de daño de 10 para la primera banda 406 de carga alta y un factor de daño de 100 para la segunda banda 408 de carga alta.

Una vez determinado, el factor de daño puede a continuación utilizarse para calcular un ajuste de tiempo para la curva 306 de capacidad nominal predeterminada. Específicamente, en diversas realizaciones, el factor de daño puede multiplicarse por la cantidad de tiempo durante el que la turbina 10 eólica estaba operando dentro de la banda 400, 402, 404, 406, 408 carga asociada con el factor de daño determinado. Por ejemplo, utilizando los valores del factor de daño ejemplares que se muestran en la Figura 9, si la turbina 10 eólica se opera dentro de la banda 400 de carga media durante un período de diez minutos, el ajuste de tiempo puede ser igual a 10 minutos (es decir, 10 minutos, multiplicado por un factor de daño de 1). Sin embargo, si la turbina 10 eólica se opera dentro de la primera banda 402 de carga baja durante un período de diez minutos, el ajuste de tiempo puede ser igual a 1 minuto (es decir, 10 minutos, multiplicado por un factor de daño de 0,1). De forma similar, si la turbina 10 eólica opera dentro de la segunda banda 408 de carga alta durante un período de diez minutos, el ajuste de tiempo puede ser igual a 1000 minutos (es decir, 10 minutos multiplicado por un factor de daño de 100).

Haciendo referencia de nuevo a la Figura 5, en 212, el procedimiento 200 incluye seleccionar un punto de operación a lo largo de la curva 306 de capacidad nominal predeterminada para la turbina 10 eólica basándose en el ajuste de tiempo calculado. Por ejemplo, la Figura 10 ilustra una porción de la curva 306 de capacidad nominal predeterminada mostrada en la Figura 6. Como se muestra en la Figura 10, si el controlador 26 se configura simplemente para seguir la curva 306 de capacidad nominal a lo largo del tiempo sin tener en cuenta los ajustes de tiempo, el controlador 26 se puede configurar para reducir la capacidad de la turbina 10 eólica de una primera potencia 500 de salida a una segunda potencia 502 de salida a lo largo de un período X de tiempo determinado. De manera similar, utilizando los valores ejemplares del factor de daño que se muestran en la Figura 9, el controlador 26 se puede configurar también para reducir la capacidad de la turbina 10 eólica de la primera potencia 500 de salida a la segunda potencia 502 de salida a lo largo del período X de tiempo asumiendo que la turbina 10 se opera dentro de la banda 400 de carga media durante todo el período X de tiempo (debido al factor de daño igual a 1). Sin embargo, cuando la turbina 10 eólica se está operando en condiciones de carga baja o de carga alta, el ajuste de tiempo calculado se puede utilizar para ajustar el punto de operación en una ubicación diferente a lo largo de la curva 306 de capacidad nominal predeterminada, ajustando de este modo la cantidad que la turbina 10 eólica reduce su capacidad para tomar en cuenta tales condiciones de carga baja/alta.

En concreto, si la turbina 10 eólica está operando dentro de una de las bandas 402, 404 de carga baja durante el período X de tiempo, la cantidad que la turbina 10 eólica reduce su capacidad a través del período de tiempo puede

reducirse para tomar en cuenta la reducción de carga de los componentes que ocurre durante dicho periodo de tiempo. Por ejemplo, utilizando los valores ejemplares del factor de daño que se muestran en la Figura 9, si la turbina 10 eólica está operando dentro de la primera banda 402 de carga baja a lo largo del periodo X de tiempo, el controlador 26 se puede configurar para reducir la capacidad de la turbina 10 eólica de la primera potencia 500 de salida a una potencia de salida (indicada por el punto 504) que corresponde a la potencia de salida a lo largo de la curva 306 de capacidad nominal predeterminada que está desplazada de la primera potencia 500 de salida por un ajuste de tiempo de  $X/10$  (es decir, debido al factor de daño de 0,1). De forma similar, si la turbina 10 eólica se opera dentro de una de las bandas de 406, 408 carga alta durante el período X de tiempo, la cantidad que la turbina 10 eólica reduce su capacidad a través del período de tiempo puede incrementarse significativamente para tomar en cuenta el aumento de carga de los componentes que se produce durante dicho período de tiempo. Por ejemplo, utilizando de nuevo los valores ejemplares del factor de daño que se muestran en la Figura 9, si la turbina 10 eólica se opera dentro de la primera banda 406 de carga alta a lo largo del periodo X de tiempo, el controlador 26 se puede configurar para reducir la capacidad de la turbina 10 eólica de la primera potencia 500 de salida a una potencia de salida (indicada por el punto 506) que corresponde a la potencia de salida a lo largo de la curva 306 de capacidad nominal predeterminada que está desplazada de la primera potencia 500 de salida por un ajuste de tiempo de  $10 \cdot X$  (es decir, debido al factor de daño de 10). En consecuencia, mediante el uso de este tipo de ajustes de tiempo, el punto de operación de la turbina 10 eólica puede ajustarse con precisión a lo largo de la curva 306 de capacidad nominal predeterminada para tomar en cuenta la reducción real en la vida útil de los componentes que se produce en un componente que limita la vida dado basándose en las condiciones operativas reales de la turbina, permitiendo así que el controlador 26 mejore la eficacia de operación de la turbina 10 eólica mientras se mantiene la vida útil real de la turbina 10 sustancialmente igual o mayor que su vida útil esperada.

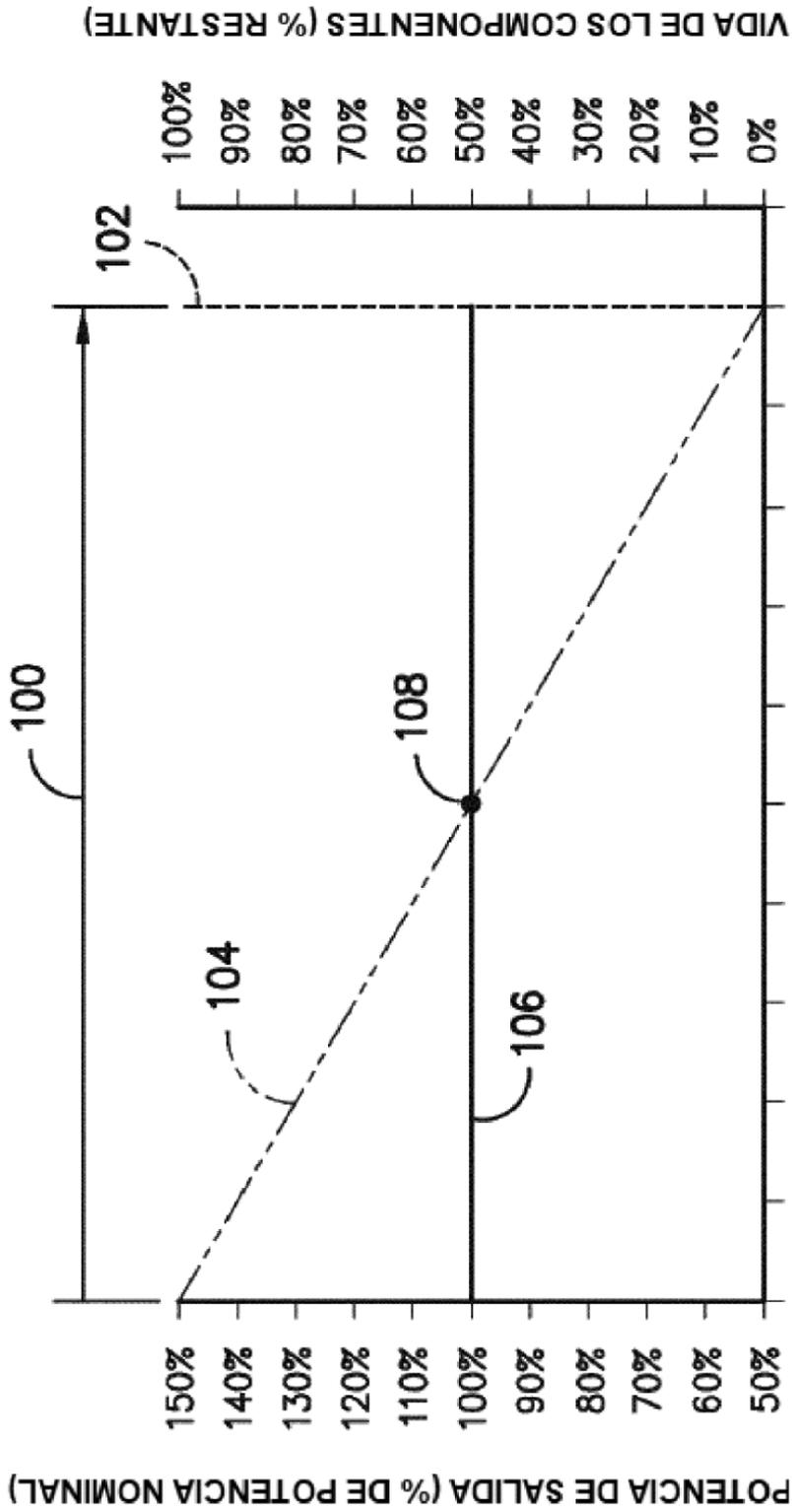
Se debe apreciar que, en realizaciones alternativas, el ajuste de tiempo para la curva 306 de capacidad nominal predeterminada puede determinarse utilizando cualquier otra metodología adecuada (por ejemplo, mediante el uso de un factor de base diferente para calcular el ajuste de tiempo o simplemente calculando el ajuste de tiempo basándose directamente en una o más condiciones de operación de la turbina 10 eólica). Además, se debe apreciar que el ajuste de tiempo se puede aplicar también para ajustar el punto de operación a lo largo de la curva 206 de capacidad nominal predeterminada de cualquier otra manera adecuada que permita que el controlador 26 tome, al menos parcialmente, la reducción real de la vida de los componentes que se produce durante la operación de la turbina 10 eólica.

Además, como se muestra en la Figura 5, si bien que el controlador 26 continúa ajustando el punto de operación a lo largo de la curva 306 de capacidad nominal predeterminada basándose en los ajustes de tiempo calculados, la potencia de salida puede aún disminuirse a lo largo del tiempo de la potencia de salida inicial a la potencia de salida final (como se muestra en 206).

Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferido, y para permitir también que cualquier experto en la materia poner en práctica la invención, incluyendo la fabricación y uso de los dispositivos o sistemas y la realización de cualquiera de los procedimientos incorporados. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones.

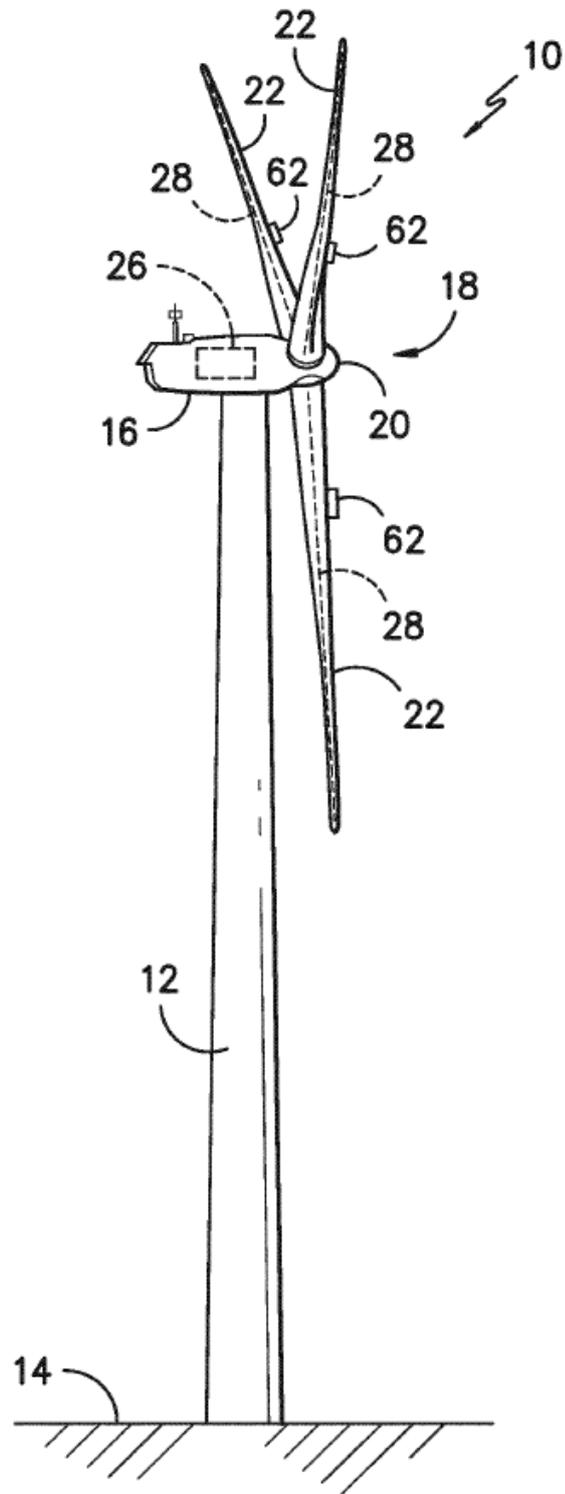
**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento (200) para controlar una turbina (10) eólica que tiene una vida útil esperada a una potencia de salida nominal, comprendiendo el procedimiento:
- 5           operar la turbina eólica a una potencia (320) de salida inicial que es mayor que la potencia de salida nominal de la turbina (10) eólica;  
          supervisar al menos una condición de operación de la turbina (10) eólica;  
          determinar un ajuste de tiempo para una curva (306) de capacidad nominal predeterminada basándose en la al menos una condición de operación;
- 10           seleccionar un punto de operación de la turbina (10) eólica a lo largo de la curva de capacidad nominal predeterminada basándose en el ajuste de tiempo; y  
          reducir una potencia de salida de la turbina (10) eólica a lo largo del tiempo para mantener una vida útil real de la turbina (10) eólica sustancialmente igual o mayor que la vida útil esperada, en el que una potencia (322) de salida final de la turbina (10) eólica al final de la vida útil esperada es menor que la potencia de salida nominal, en el que la reducción de la potencia de salida de la turbina (10) eólica en el tiempo comprende la reducción de la potencia de salida a lo largo del tiempo a lo largo de la curva (306) de capacidad nominal predeterminada entre la potencia de salida inicial y la potencia de salida final.
- 15
2. El procedimiento (200) de la reivindicación 1, que comprende además realizar un análisis de la carga en la turbina (10) eólica para determinar la potencia máxima para la turbina (10) eólica.
- 20
3. El procedimiento (200) de la reivindicación 2, que comprende además establecer la potencia de salida inicial de la turbina (10) eólica como la potencia de salida máxima.
- 25
4. El procedimiento (200) de la reivindicación 1, en el que la curva (306) de capacidad nominal predeterminada define una línea recta entre la potencia de salida inicial y la potencia de salida final.
5. El procedimiento (200) de la reivindicación 1, que comprende además determinar un factor de daño para al menos un componente que limita la vida de la turbina (10) eólica basándose en la al menos una condición de operación, en el que el ajuste de tiempo se determina basándose en el factor de daño.
- 25
6. El procedimiento (200) de la reivindicación 5, en el que el factor de daño varía dependiendo de una condición de carga de la turbina (10) eólica.
- 30
7. El procedimiento (200) de cualquier reivindicación anterior, en el que la vida útil esperada de la turbina (10) eólica se limita basándose en la vida útil esperada de los componentes de al menos un componente que limita la vida de la turbina eólica.
- 30
8. Un sistema, que comprende:
- una turbina (10) eólica que tiene una vida útil esperada a una potencia de salida nominal;
- un controlador (26) configurado para controlar la operación de la turbina (10) eólica, estando el controlador (26) configurado para operar la turbina (10) eólica de acuerdo con el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 35



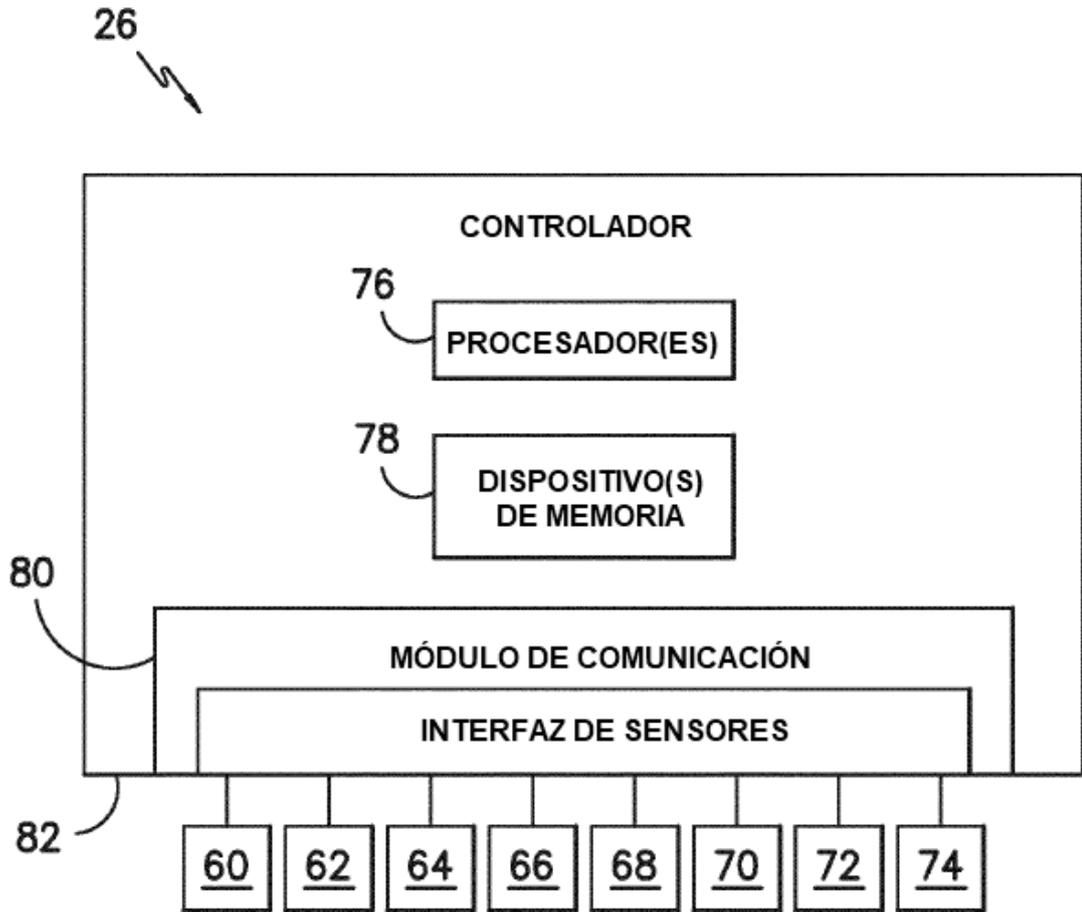
TIEMPO

**FIG. -1-**

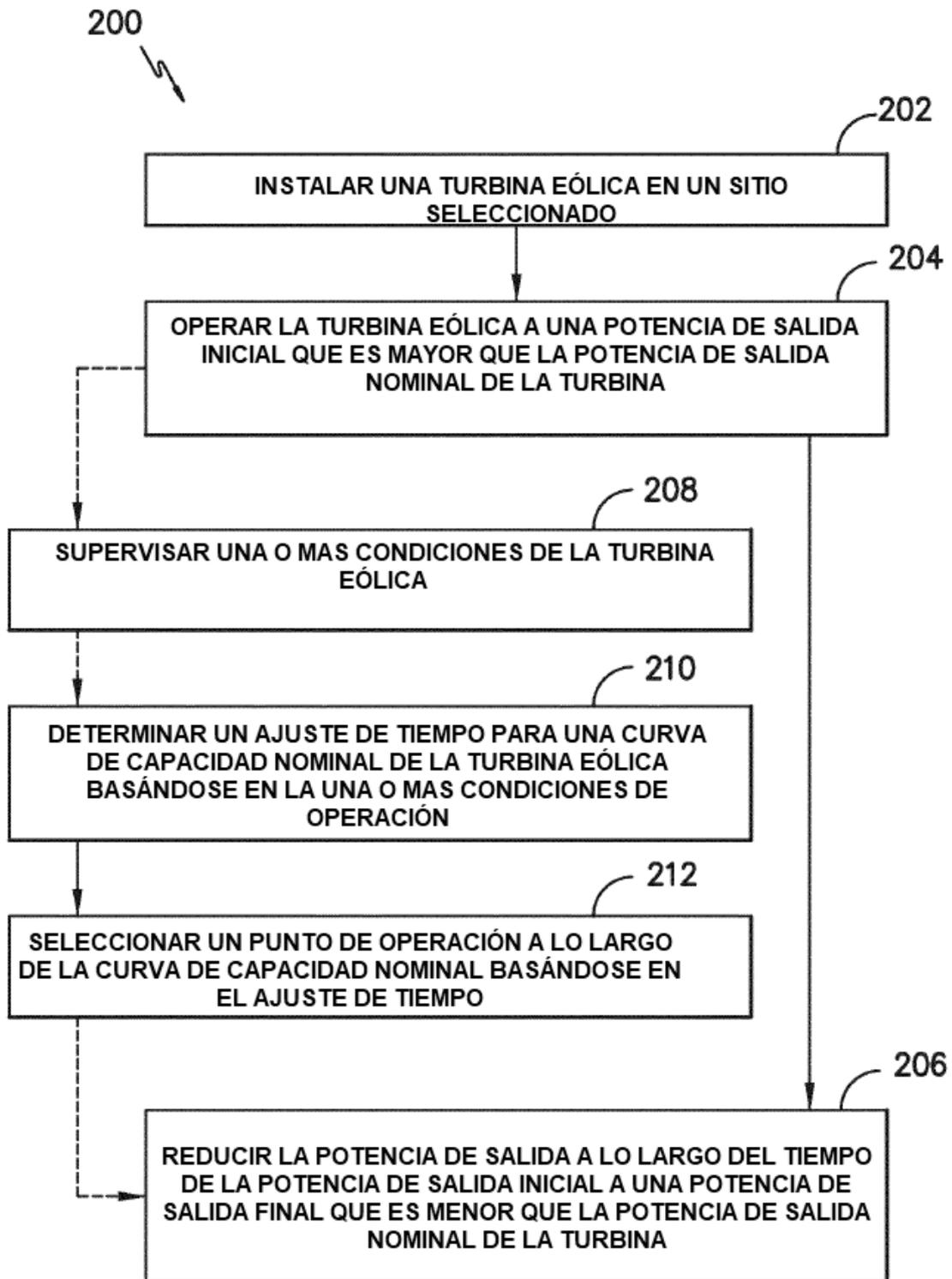


**FIG. -2-**

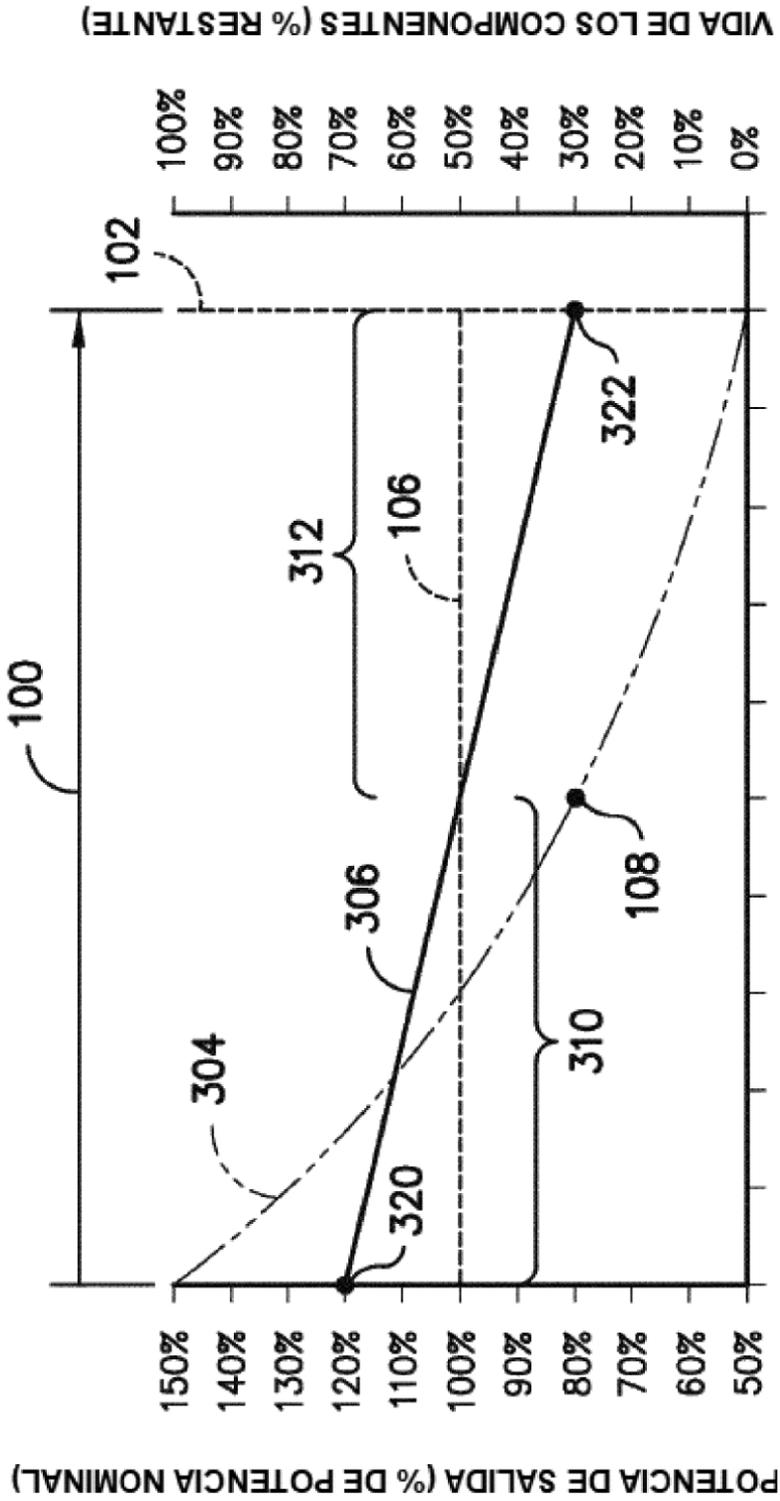




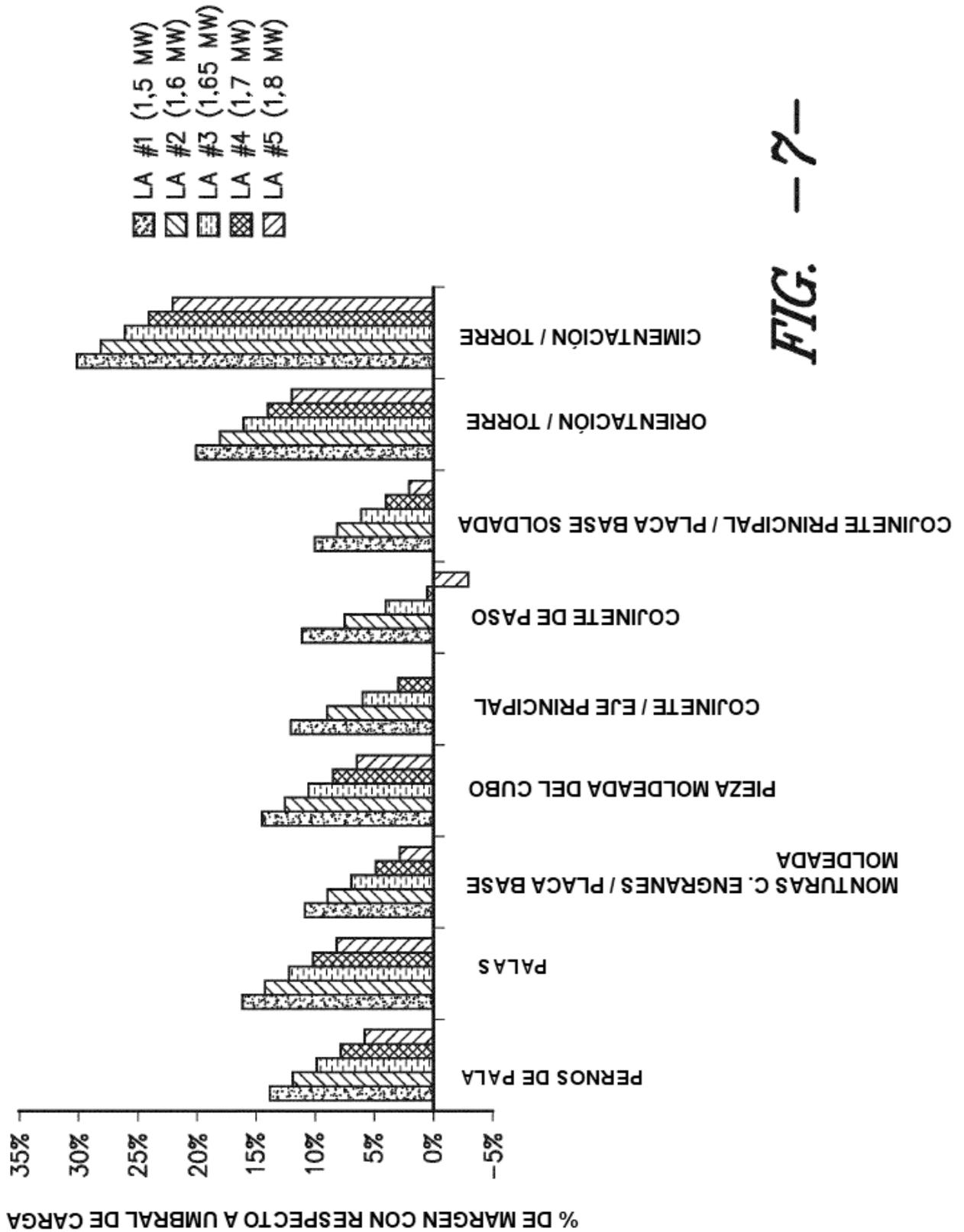
*FIG. -4-*



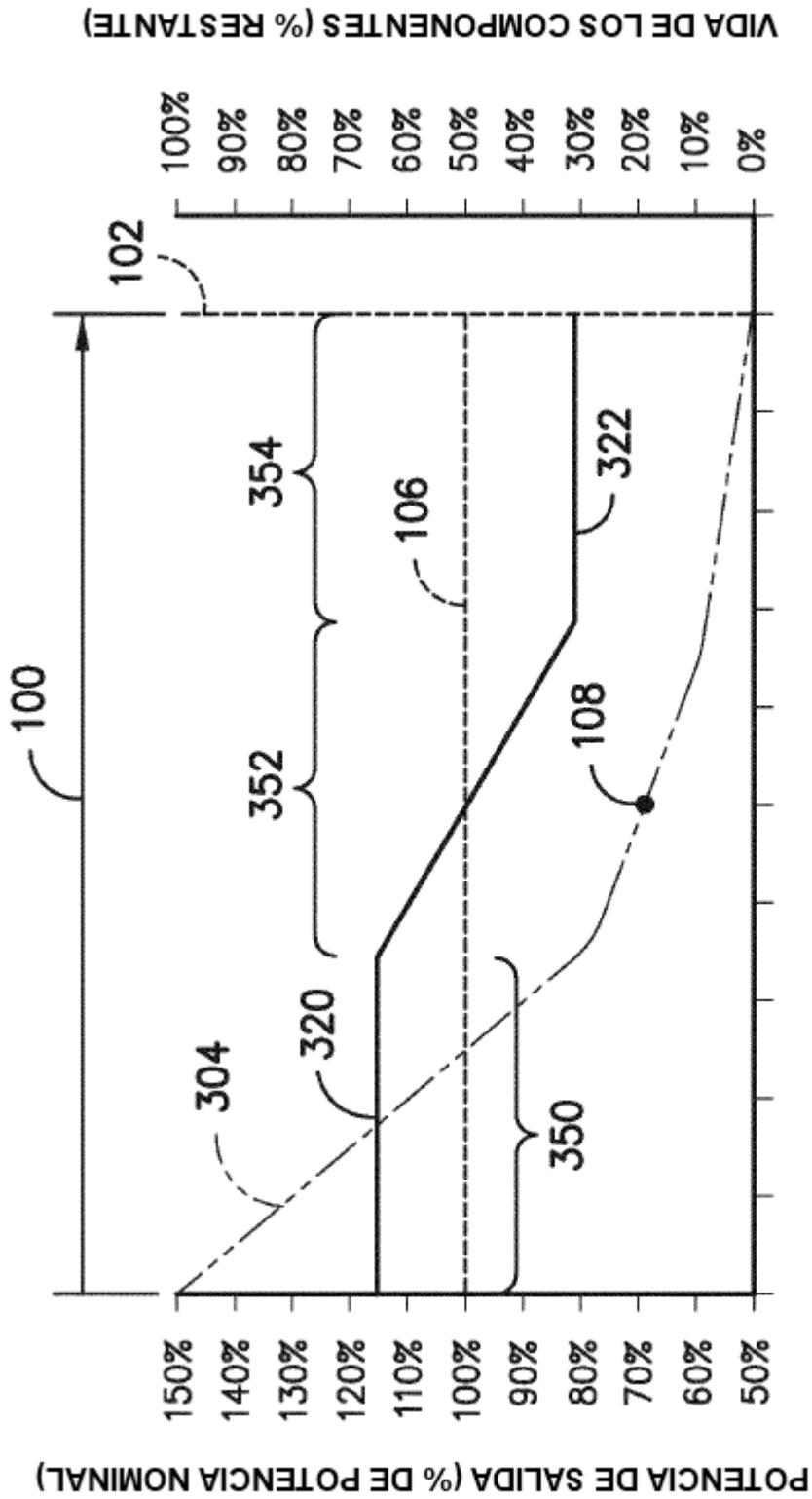
**FIG. -5-**



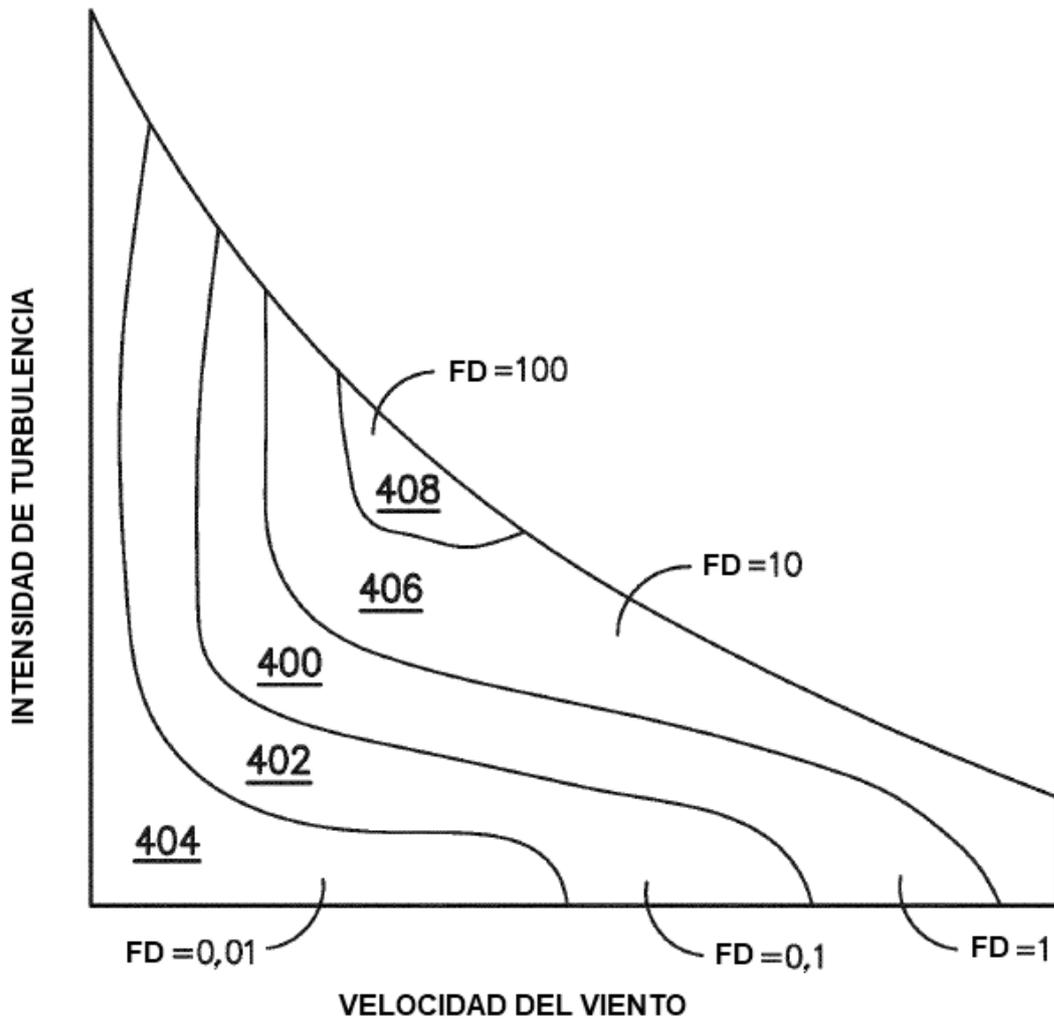
**FIG. -6-**



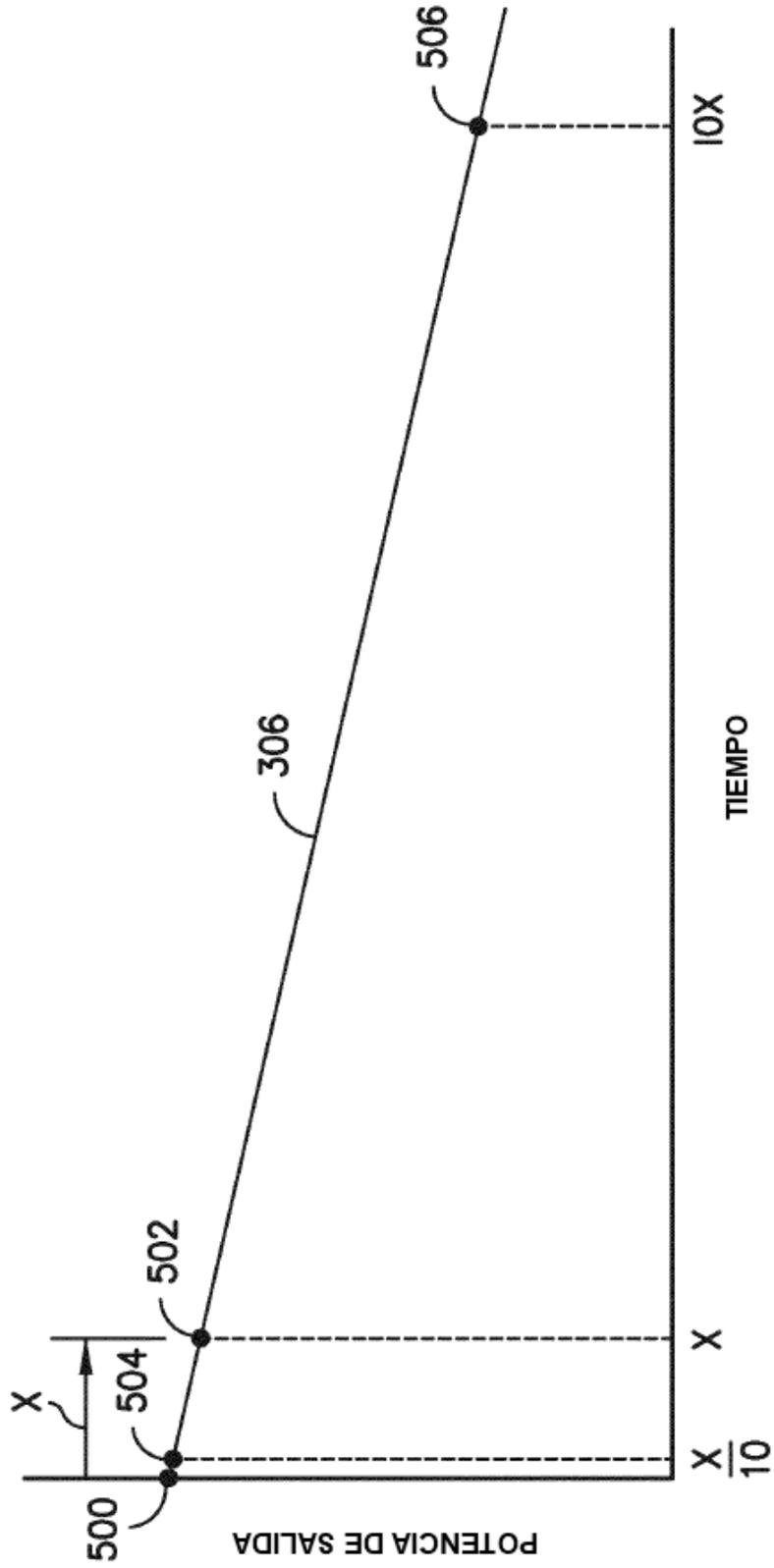
**FIG. -7-**



TIEMPO  
**FIG. -8-**



**FIG. -9-**



**FIG. -10-**