(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 883 901**

(51) Int. CI.:

F03D 17/00 (2006.01)
F03D 7/04 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.06.2018 E 18176763 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.05.2021 EP 3415754**

(54) Título: **Procedimiento de alternancia de desplazamiento para el funcionamiento de turbina eólica**

(30) Prioridad:

14.06.2017 US 201715622317

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.12.2021

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

WHEELER, FREDERICK WILSON;
ZHENG, DANIAN;
PHAN, JAMES HUU y
RITTENHOUSE, BRIAN ALLEN

(74) Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

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

Procedimiento de alternancia de desplazamiento para el funcionamiento de turbina eólica

[0001] La presente invención se refiere en general a las turbinas eólicas y, más en particular, a procedimientos de alternancia de desplazamiento para el funcionamiento de una turbina eólica para evaluar el rendimiento de la turbina en diferentes modos de funcionamiento.

[0002] La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medio ambiente actualmente disponibles, y a este respecto la atención que atraen las turbinas eólicas ha experimentado un incremento. Una turbina eólica moderna típicamente incluye una torre, un generador, una multiplicadora, una góndola y un rotor que incluye una o más palas de rotor. Las palas de rotor captan la energía cinética del viento usando principios aerodinámicos 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 multiplicadora o, si no se usa una multiplicadora, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica que se puede distribuir por una red eléctrica. Dichas configuraciones también pueden incluir convertidores de energía que convierten una frecuencia de energía eléctrica generada en una frecuencia sustancialmente similar a una frecuencia de red eléctrica.

[0003] Tradicionalmente, las turbinas eólicas incluyen un módulo de control, que trata de aumentar al máximo la salida de energía de la turbina frente a las condiciones variables de viento y de red, al tiempo que satisface restricciones tales como las capacidades nominales de subsistema y las cargas de componentes. En base a una salida de energía máxima determinada, el módulo de control controla el funcionamiento de diversos componentes de turbina, tales como el generador/convertidor de energía, el sistema de pitch, los frenos y el mecanismo de orientación (“yaw”) para alcanzar la máxima eficacia energética.

[0004] El rendimiento de una turbina eólica, en términos de producción anual de energía (AEP), se puede mejorar mediante cambios de control y/o diversos productos, características y/o actualizaciones disponibles para las turbinas eólicas. Uno o más beneficios de un cambio de control y/o una actualización se determinan típicamente usando un procedimiento de alternancia. Por ejemplo, para una verificación del beneficio de la actualización, la turbina se hace funcionar en un estado de funcionamiento de referencia (es decir, sin la actualización) y se hace funcionar en un estado de funcionamiento actualizado (es decir, con la actualización). Para cambios de parámetros de control, los parámetros de control se alternan a través de una secuencia repetida de estados de parámetros de control. Cada estado representa un conjunto de parámetros o ajustes del sistema de control que afectan al funcionamiento de la turbina. Durante la prueba de alternancia, se registran mediciones de velocidad de viento y producción de energía. Los datos de velocidad de viento y energía recopilados durante cada estado se usan para evaluar el rendimiento de la turbina durante ese estado. Típicamente, la velocidad de viento se mide usando el anemómetro de la góndola de la turbina, que en general está montado en la góndola detrás del rotor, pero se puede localizar en cualquier ubicación adecuada sobre la torre. A continuación, se pueden calcular y comparar valores de rendimiento para cada estado. Así pues, la comparación se puede usar para validar una ganancia de rendimiento o para seleccionar un estado que proporciona un mayor rendimiento.

[0005] El enfoque del anemómetro de góndola, sin embargo, a veces se ve obstaculizado debido a la imprecisión de las mediciones del anemómetro de la góndola y la proyección de estas mediciones en estimaciones de AEP. Además, el anemómetro de la góndola no mide directamente la velocidad de viento en libre circulación deseada en la turbina debido a los efectos aerodinámicos de la turbina. La relación entre la velocidad de viento en el anemómetro de la góndola y la velocidad de viento en libre circulación, durante el funcionamiento de la turbina, se denomina función de transferencia de góndola ("NTF"). El controlador de la turbina determina y almacena la NTF que la turbina eólica usa internamente para corregir la velocidad de viento medida por el anemómetro de la góndola para calcular la velocidad de viento en libre circulación.

[0006] Sin embargo, las pruebas de alternancia que usan el anemómetro de la góndola para medir la velocidad del viento también pueden cambiar la NTF. Un cambio de NTF crea un sesgo en la medición de velocidad del viento que es diferente para los diferentes estados o modos de funcionamiento. Con las pruebas y análisis de alternancia convencionales, dicho sesgo a su vez sesga el rendimiento de turbina determinado o medido de una manera desconocida o impredecible.

[0007] Así pues, la presente divulgación está dirigida a un sistema y procedimiento mejorados para validar un beneficio de una actualización proporcionada a una turbina eólica que aborda los problemas mencionados anteriormente. Más específicamente, la presente divulgación está dirigida a unos procedimientos de alternancia de desplazamiento para el funcionamiento de turbina eólica que validan con exactitud y eficacia diversas actualizaciones proporcionadas a la turbina eólica.

[0008] El documento US 2016/298607 A1 describe un "sistema y procedimiento para evaluar el impacto en el rendimiento de las actualizaciones de turbina eólica".

[0009] 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 se pueden descubrir mediante la puesta en práctica de la invención.

[0010] En un aspecto, la presente materia está dirigida a un procedimiento para evaluar el rendimiento de una turbina eólica en diferentes modos de funcionamiento. El procedimiento incluye hacer funcionar la turbina eólica en un primer modo de funcionamiento. El procedimiento también incluye generar un primer conjunto de datos de funcionamiento relacionados con el primer modo de funcionamiento. Más específicamente, el primer conjunto de datos de funcionamiento incluye, al menos, un primer parámetro y un segundo parámetro. Además, el primer y segundo parámetros del primer conjunto se miden durante diferentes períodos de tiempo durante el primer modo de funcionamiento. El procedimiento incluye además cambiar el primer modo de funcionamiento a un segundo modo de funcionamiento. Además, el procedimiento incluye generar un segundo conjunto de datos de funcionamiento relacionados con el segundo modo de funcionamiento. El segundo conjunto de datos de funcionamiento también incluye, al menos, un primer parámetro y un segundo parámetro. Por tanto, el procedimiento incluye determinar una característica de rendimiento del primer y segundo modos de funcionamiento en base al primer y segundo conjuntos de datos de funcionamiento.

[0011] En un modo de realización, el primer parámetro del segundo conjunto se puede medir durante el primer modo de funcionamiento, mientras que el segundo parámetro del segundo conjunto se puede medir durante el segundo modo de funcionamiento. Más específicamente, en determinados modos de realización, el primer parámetro del primer conjunto se puede medir durante una primera ventana de funcionamiento del primer modo de funcionamiento, mientras que el segundo parámetro del primer conjunto se puede medir durante una segunda ventana de funcionamiento del primer modo de funcionamiento. Además, el primer parámetro del segundo conjunto se puede medir durante una segunda ventana de funcionamiento del primer modo de funcionamiento, mientras que el segundo parámetro del segundo conjunto se puede medir durante una primera ventana de funcionamiento del segundo modo de funcionamiento.

[0012] En otro modo de realización, un retraso (“lag”) de tiempo entre el primer parámetro y el segundo parámetro para cada uno del primer y segundo modos de funcionamiento puede ser fijo y/o constante.

[0013] En otros modos de realización, el primer y segundo parámetros pueden incluir información con respecto a al menos uno de o una combinación de los siguientes parámetros: salida de energía, velocidad de generador, salida de par de torsión, condiciones de red, ángulo de pitch, relación de velocidad específica, ángulo de orientación, consignas de control interno, condiciones de carga, información geográfica, temperatura, presión, condiciones climáticas, deformación, ruido ambiental, ráfagas de viento, velocidad de viento, dirección de viento, aceleración de viento, turbulencia de viento, cizalladura de viento, viraje de viento, estela y/o similares o combinaciones de los mismos. Por ejemplo, en un modo de realización, el primer parámetro del primer y segundo conjuntos de datos de funcionamiento puede incluir la velocidad de viento, y el segundo parámetro del primer y segundo conjuntos de datos de funcionamiento puede incluir una salida de energía.

[0014] En modos de realización adicionales, la etapa de determinar una característica de rendimiento del primer y segundo modos de funcionamiento en base al primer y segundo conjuntos de datos de funcionamiento puede incluir generar una primera y segunda curvas de energía para el primer y segundo modos de funcionamiento en base a la velocidad de viento y la salida de energía de los respectivos primer y segundo conjuntos de datos de funcionamiento y comparar la primera y la segunda curvas de energía para el primer y segundo modos de funcionamiento para determinar el modo de funcionamiento óptimo.

[0015] En varios modos de realización, el procedimiento puede incluir además medir la velocidad de viento por medio de un anemómetro montado en la góndola para el primer y segundo modos de funcionamiento.

[0016] En modos de realización particulares, el procedimiento también puede incluir filtrar el primer y segundo conjuntos de datos de funcionamiento. Además, el procedimiento puede incluir alternar entre el primer y el segundo modos de funcionamiento y generar una pluralidad de primeros y segundos conjuntos de datos durante cada uno de los modos.

[0017] Aún en otro modo de realización, el procedimiento puede incluir implementar un cambio en la turbina eólica antes de hacer funcionar la turbina eólica en el segundo modo de funcionamiento. Dicho cambio, por ejemplo, puede incluir cambiar uno o más parámetros de control de la turbina eólica y/o proporcionar al menos una actualización a la turbina eólica. Por ejemplo, en un modo de realización, el (los) parámetro(s) de control puede(n) incluir una velocidad de generador, una consigna de par de torsión, un ángulo de pitch, una relación de velocidad específica, un ángulo de orientación o un otro parámetro adecuado o combinaciones de los mismos. Además, la(s) actualización(es) puede(n) incluir uno cualquiera de o una combinación de los siguientes: un ángulo de pitch o de orientación revisado, una relación de velocidad específica, unas actualizaciones de software, unas actualizaciones de controles, unas actualizaciones de hardware o unos controles de estela, o cualquier otra actualización similar que se puede poner en, o retirar de, su lugar rápida y automáticamente.

[0018] En otro aspecto, la presente materia está dirigida a un sistema para evaluar el rendimiento de una turbina eólica en diferentes modos de funcionamiento. El sistema incluye un procesador acoplado comunicativamente a uno o más sensores. El procesador está configurado para realizar una o más operaciones, que incluyen pero sin limitarse a hacer funcionar la turbina eólica en un modo de funcionamiento de referencia, hacer una transición desde el modo de funcionamiento de referencia a un primer modo de funcionamiento, generar un primer conjunto de datos de funcionamiento que comprenden, al menos, un primer parámetro y un segundo parámetro, midiéndose el primer parámetro del primer conjunto durante el modo de funcionamiento de referencia y midiéndose el segundo parámetro del primer conjunto durante el primer modo de funcionamiento, hacer una transición desde el primer modo de funcionamiento de nuevo al modo de funcionamiento de referencia, realizar una transición del modo de funcionamiento de referencia a un segundo modo de funcionamiento, generar un segundo conjunto de datos de funcionamiento que comprenden, al menos, un primer parámetro y un segundo parámetro, midiéndose el primer parámetro del segundo conjunto durante el modo de funcionamiento de referencia y midiéndose el segundo parámetro del segundo conjunto durante el segundo modo de funcionamiento, y determinar un rendimiento característico del primer y el segundo modos de funcionamiento en base al primer y el segundo conjuntos de datos de funcionamiento.

[0019] En un modo de realización, la una o más operaciones pueden incluir además alternar entre el modo de funcionamiento de referencia y la pluralidad de modos de funcionamiento posteriores después del segundo modo de funcionamiento, generar un conjunto de datos de funcionamiento para cada uno de los modos de funcionamiento posteriores que comprende, al menos, un primer parámetro y un segundo parámetro, midiéndose los primeros parámetros de cada conjunto de datos durante el modo de funcionamiento de referencia y midiéndose los segundos parámetros de cada conjunto de datos durante el modo de funcionamiento respectivo, determinar una característica de rendimiento del primer y el segundo modos de funcionamiento en base al primer y el segundo conjunto de datos de funcionamiento. También se debe entender que el sistema puede incluir además cualquiera de las características adicionales como se describe en el presente documento.

[0020] Aún en otro aspecto, la presente materia está dirigida a un procedimiento para evaluar el rendimiento de una turbina eólica en diferentes modos de funcionamiento. El procedimiento incluye hacer funcionar la turbina eólica en un primer modo de funcionamiento. Además, el procedimiento incluye generar un primer conjunto de datos de funcionamiento relacionados con el primer modo de funcionamiento que contiene, al menos, un primer parámetro y un segundo parámetro. Además, el procedimiento incluye cambiar el primer modo de funcionamiento a un segundo modo de funcionamiento. Además, el procedimiento incluye generar un segundo conjunto de datos de funcionamiento relacionados con el segundo modo de funcionamiento que también contiene, al menos, un primer parámetro y un segundo parámetro. Más específicamente, el primer parámetro del segundo conjunto se mide durante el primer modo de funcionamiento, mientras que el segundo parámetro del segundo conjunto se mide durante el segundo modo de funcionamiento. Por tanto, el procedimiento también incluye determinar una característica de rendimiento del primer y segundo modos de funcionamiento en base al primer y el segundo conjuntos de datos de funcionamiento. También se debe entender que el procedimiento puede incluir además cualquiera de las etapas y/o características adicionales como se describe en el presente documento.

[0021] Diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que están incorporados en, y que constituyen una parte de, la presente memoria descriptiva, ilustran los modos de realización de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

[0022] En los dibujos:

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 controlador para su uso con la turbina eólica mostrada en la FIG. 1;

la FIG. 3 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para evaluar el rendimiento de una turbina eólica en diferentes modos de funcionamiento de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 4 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un procedimiento para evaluar el rendimiento de una turbina eólica haciéndola funcionar en dos modos de funcionamiento;

la FIG. 5 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un procedimiento para evaluar el rendimiento de una turbina eólica alternando entre dos modos de funcionamiento;

la FIG. 6 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un procedimiento para evaluar el rendimiento de una turbina eólica haciéndola funcionar en dos modos de funcionamiento, en particular

ilustrando cada punto de datos de una primera ventana de funcionamiento emparejado con un punto de datos de una segunda ventana de funcionamiento que tiene el mismo retraso de tiempo;

la FIG. 7 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un procedimiento para evaluar el rendimiento de una turbina eólica haciéndola funcionar en dos modos de funcionamiento, en particular ilustrando cada punto de datos de una primera ventana de funcionamiento emparejado con uno o más puntos de datos de una segunda ventana de funcionamiento y viceversa, independientemente del retraso de tiempo; y

la FIG. 8 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un procedimiento para evaluar el rendimiento de una turbina eólica alternando entre un modo de funcionamiento de referencia y una pluralidad de modos de funcionamiento diferentes.

[0023] Se hace referencia ahora en detalle a unos modos de realización de la invención, uno o más ejemplos de los cuales se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, y no como una limitación de la invención.

[0024] En general, la presente materia está dirigida a un sistema y procedimiento para evaluar el rendimiento de una turbina eólica en diferentes modos de funcionamiento. En un modo de realización, por ejemplo, la presente divulgación está dirigida a un procedimiento de alternancia de desplazamiento que utiliza datos de velocidad de viento y energía con un retraso de tiempo. Como se usa en el presente documento, un conjunto de datos de desplazamiento es un grupo de parámetros de funcionamiento de la turbina eólica, tales como, por ejemplo, pares de medición de velocidad de viento y energía. Así pues, se recopila un conjunto de datos de desplazamiento para cada modo de funcionamiento. Además, los conjuntos de datos de desplazamiento se crean con las siguientes propiedades: (1) la velocidad de viento se mide durante el mismo modo de funcionamiento para todos los conjuntos de datos; (2) la energía se mide durante el estado de funcionamiento que se está probando para cada conjunto de datos, y (3) el retraso de tiempo entre la medición de velocidad de viento y la medición de energía es fijo y constante. Una vez que los conjuntos de datos de desplazamiento están recopilados, un procesador (ya sea a nivel de parque o de turbina) procesa los conjuntos de datos para determinar el rendimiento de la turbina para cada modo. Por ejemplo, en determinados modos de realización, los datos recopilados se pueden filtrar, los puntos de datos directamente después de una transición de modo se pueden eliminar y/o se pueden calcular unas curvas de energía y la producción de energía anual (AEP).

[0025] Los diversos modos de realización del sistema y procedimiento descritos en el presente documento proporcionan numerosas ventajas que no están presentes en la técnica anterior. Por ejemplo, la presente divulgación permite la determinación del rendimiento de la turbina para múltiples estados de control usando el anemómetro de la góndola sin la posibilidad de sesgo debido a un cambio de NTF a medida que cambian los estados de control. Además, el procedimiento de control de la presente divulgación permite el uso de datos de prueba de alternancia existentes para llevar a cabo una determinación de ganancia de rendimiento, lo que ahorra tiempo de validación.

[0026] En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica 10 configurada para implementar la tecnología de control de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, la turbina eólica 10 incluye en general una torre 12 que se extiende desde una superficie de apoyo 14, una góndola 16 montada en la torre 12 y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje rotatorio 20 y al menos una pala de rotor 22 acoplada a, y que se extiende hacia el exterior desde, el buje 20. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el rotor 18 incluye tres palas de rotor 22. Sin embargo, en un modo de realización alternativo, el rotor 18 puede incluir más o menos de tres palas de rotor 22. Cada pala de rotor 22 puede estar separada alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 y permitir que se transfiera energía cinética del viento como energía mecánica utilizable y, posteriormente, energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 20 puede estar acoplado de forma rotatoria a un generador eléctrico (no mostrado) situado dentro de la góndola 16 para permitir que se produzca energía eléctrica.

[0027] La turbina eólica 10 también puede incluir un controlador de turbina eólica 26 centralizado dentro de la góndola 16. Sin embargo, en otros modos de realización, el controlador 26 puede estar localizado dentro de cualquier otro componente de la turbina eólica 10 o en una ubicación fuera de la turbina eólica. Además, el controlador 26 puede estar acoplado comunicativamente a cualquier número de los componentes de la turbina eólica 10 para controlar el funcionamiento de dichos componentes y/o implementar una acción de control. Así pues, el controlador 26 puede incluir un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por tanto, en varios modos de realización, el controlador 26 puede incluir instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan, configuran el controlador 26 para que realice diversas funciones diferentes, tales como recibir, transmitir y/o ejecutar señales de control de turbina eólica. En consecuencia, el controlador 26 puede estar configurado en general para controlar los diversos modos de funcionamiento de la turbina eólica 10 (por ejemplo, secuencias de arranque o de parada), reducir o aumentar la potencia nominal de la turbina eólica 10 y/o controlar diversos componentes de la turbina eólica 10. Por ejemplo, el controlador 26 puede estar configurado para controlar el pitch de pala o el ángulo de pitch de cada una de las palas de rotor 22 (es decir, un ángulo que determina una

perspectiva de las palas del rotor 22 con respecto a la dirección del viento) para controlar la salida de energía generada por la turbina eólica 10 ajustando una posición angular de al menos una pala de rotor 22 con respecto al viento. Por ejemplo, el controlador 26 puede controlar el ángulo de pitch de las palas de rotor 22 haciendo girar las palas de rotor 22 alrededor de un eje de pitch 28, ya sea individual o simultáneamente, transmitiendo señales de control adecuadas a un mecanismo de accionamiento de pitch o de ajuste de pitch (no mostrado) de la turbina eólica 10.

[0028] En referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de componentes adecuados que pueden estar incluidos dentro del controlador 26 de acuerdo con unos aspectos de la presente divulgación. Como se muestra, el controlador 26 puede incluir uno o más procesadores 58 y dispositivos de memoria asociados 60 configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, las etapas, los cálculos y similares divulgados en el presente documento). Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a circuitos integrados que en la técnica se describen incluidos en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación, unos procesadores de señales digitales (DSP), unos circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC), unas matrices de puertas programables *in situ* (FPGA) y/u otros circuitos programables. Además, el (los) dispositivo(s) de memoria 60 en general puede(n) incluir uno(s) elemento(s) de memoria que incluye(n), pero no se limita(n) a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM)), un medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), una o más unidades de disco duro, un disquete, una memoria de solo lectura de disco compacto (CD-ROM), unas unidades de lectura/escritura de disco compacto (CD-R/W), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) , unas unidades *flash*, unas unidades ópticas, unos dispositivos de almacenamiento de estado sólido y/u otros elementos de memoria adecuados.

[0029] Adicionalmente, el controlador 26 también puede incluir un módulo de comunicaciones 62 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 26 y los diversos componentes de la turbina eólica 10. Por ejemplo, el módulo de comunicaciones 62 puede incluir una interfaz de sensor 64 (por ejemplo, uno o más convertidores analógico-digital) para permitir que las señales transmitidas por uno o más sensores 30, 65, 66, 68 se conviertan en señales que el controlador 26 pueda entender y procesar. Además, se debe apreciar que los sensores 30, 65, 66, 68 se pueden acoplar comunicativamente al módulo de comunicaciones 62 usando unos medios cualesquiera adecuados. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 2, los sensores 30, 65, 66, 68 están acoplados a la interfaz de sensor 64 por medio de una conexión alámbrica. Sin embargo, en modos de realización alternativos, los sensores 30, 65, 66, 68 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 64 por medio de una conexión inalámbrica, por ejemplo usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Por ejemplo, el módulo de comunicaciones 62 puede incluir Internet, una red de área local (LAN), unas redes de área local inalámbrica (WLAN), unas redes de área amplia (WAN) tales como unas redes de interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMax), unas redes de satélite, unas redes celulares, unas redes de sensores, unas redes *ad hoc* y/o unas redes de corto alcance. Así pues, el procesador 58 puede estar configurado para recibir una o más señales directamente desde los sensores 30, 65, 66, 68. En modos de realización adicionales, el procesador 58 también puede recibir una o más señales desde unos subsistemas de la turbina eólica 10 que contienen otros sensores.

[0030] Los sensores 30, 65, 66, 68 pueden ser unos sensores cualesquiera adecuados configurados para medir cualquier dato de funcionamiento de la turbina eólica 10 y/o unos parámetros de viento del parque eólico 200. Por ejemplo, los sensores 30, 65, 66, 68 pueden incluir unos sensores de pala para medir un ángulo de pitch de una de las palas de rotor 22 o para medir una carga que actúa sobre una de las palas de rotor 22; unos sensores de generador para monitorizar el generador (por ejemplo, un par de torsión, una velocidad de rotación, una aceleración y/o la salida de energía); y/o diversos sensores de viento para medir diversos parámetros de viento (por ejemplo, una velocidad de viento, una dirección de viento, etc.). Además, los sensores 30, 65, 66, 68 pueden estar localizados cerca del suelo de la turbina eólica 10, en la góndola 16, en un mástil meteorológico de la turbina eólica 10 o en cualquier otra ubicación del parque eólico.

[0031] También se debe entender que se puede emplear cualquier otro número o tipo de sensores y en cualquier ubicación. Por ejemplo, los sensores pueden ser acelerómetros, sensores de presión, galgas extensiométricas, sensores de ángulo de ataque, sensores de vibración, sensores de MIMU, sistemas de cámaras, sistemas de fibra óptica, anemómetros, veletas, sensores de detección y alcance sónicos (SODAR), láseres de infrarrojos, sensores de detección y alcance de luz (LIDAR), radiómetros, tubos de Pitot, radiosondas, otros sensores ópticos y/u otros sensores cualesquiera adecuados. Se debe apreciar que, como se usa en el presente documento, el término "monitorizar" y variantes del mismo indican que los diversos sensores de la turbina eólica 10 pueden estar configurados para proporcionar una medición directa de los parámetros que se están monitorizando o una medición indirecta de dichos parámetros. Por tanto, los sensores 30, 65, 66, 68 se pueden usar, por ejemplo, para generar señales relacionadas con el parámetro que se está monitorizando, que a continuación el controlador 26 puede utilizar para determinar la condición real.

[0032] En referencia ahora a las FIGS. 3-6, se proporcionan diversas ilustraciones para explicar los sistemas y procedimientos de la presente divulgación. Más específicamente, como se muestra en particular en la FIG. 3, se

ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 100 para evaluar el rendimiento de la turbina eólica en diferentes modos de funcionamiento. Más específicamente, como se muestra en 102, el procedimiento 100 incluye hacer funcionar la turbina eólica 10 en un primer modo de funcionamiento 70. Por ejemplo, en un modo de realización, el primer modo de funcionamiento 70 puede corresponder a un modo de funcionamiento de referencia. Como se muestra en 104, el procedimiento 100 puede incluir generar un primer conjunto 76 de datos de funcionamiento relacionados con el primer modo de funcionamiento 70. En un modo de realización, el primer conjunto 76 de datos de funcionamiento se puede generar por medio de uno o más de los sensores (por ejemplo, por medio de los sensores 30, 65, 66, 68 o cualquier otro sensor adecuado). De forma alternativa, el primer conjunto 76 de datos de funcionamiento se puede estimar por medio de un modelo informático dentro del procesador 58. Más específicamente, en determinados modos de realización, el primer conjunto 76 de datos de funcionamiento puede incluir, al menos, un primer parámetro 80 y un segundo parámetro 82. Por ejemplo, en modos de realización particulares, el primer y el segundo parámetros 80, 82 pueden incluir información con respecto a energía de salida, velocidad del generador, salida de par de torsión, condiciones de red, ángulo de pitch, relación de velocidad específica, ángulo de orientación, consignas de control interno, condiciones de carga, información geográfica, temperatura, presión, condiciones climáticas, deformación, ruido ambiental, ráfagas de viento, velocidad de viento, dirección de viento, aceleración de viento, turbulencia de viento, cizalladura de viento, viraje de viento, estela y/o similares o combinaciones de los mismos. Más específicamente, en un modo de realización, el primer parámetro 80 puede incluir una velocidad de viento y el segundo parámetro 82 puede incluir una salida de energía.

[0033] Además, el primer y el segundo parámetros 80, 82 del primer conjunto 76 de datos de funcionamiento se miden durante diferentes períodos de tiempo del primer modo de funcionamiento 70, es decir, el grupo de datos relacionados con el primer y el segundo parámetros 80, 82 está desplazada. En general, el primer parámetro está representado por la primera fila de datos 73 y el segundo parámetro está representado por la segunda fila 74 de intervalos de datos. Así pues, el primer y el segundo parámetros 80, 82 se pueden recopilar en un único instante de tiempo o se pueden recopilar durante un determinado período de tiempo (como se muestra). Más específicamente, como se muestra, el primer parámetro 80 del primer conjunto 76 se puede medir durante una primera ventana de funcionamiento 90 del primer modo de funcionamiento 70, mientras que el segundo parámetro 82 del primer conjunto 76 se puede medir durante una segunda ventana de funcionamiento 92 del primer modo de funcionamiento 70. Por tanto, como se muestra en la FIG. 4, el primer conjunto 76 de datos de funcionamiento incluye el primer parámetro 80 y el segundo parámetro 82, recopilándose el segundo parámetro 82 en un período de tiempo diferente o desplazado del período de tiempo en el que se monitoriza el primer parámetro 80.

[0034] En referencia de nuevo a la FIG. 3, como se muestra en 106, el procedimiento 100 incluye además cambiar el primer modo de funcionamiento 70 a un segundo modo de funcionamiento 72. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 4, el primer modo de funcionamiento está representado por el carácter de referencia 70 y el segundo modo de funcionamiento está representado por el carácter de referencia 72, mientras que el cambio del primer modo de funcionamiento 70 al segundo modo de funcionamiento 72 está representado por la línea 88.

[0035] En determinados modos de realización, se puede proporcionar un cambio a la turbina eólica 10 antes de hacer funcionar la turbina eólica 10 en el segundo modo de funcionamiento. Por ejemplo, dichos cambios pueden incluir cambiar uno o más parámetros de control de la turbina eólica 10 y/o proporcionar al menos una actualización a la turbina eólica 10. Por ejemplo, en un modo de realización, el (los) parámetro(s) de control puede(n) incluir una velocidad de generador, una consigna de par de torsión, un ángulo de pitch, una relación de velocidad específica, un ángulo de orientación o un otro parámetro adecuado o combinaciones de los mismos. Además, la(s) actualización(es) puede(n) incluir uno cualquiera de o una combinación de los siguientes: un ángulo de pitch o de orientación revisado, una relación de velocidad específica, unas actualizaciones de software, unas actualizaciones de controles, unas actualizaciones de hardware o unos controles de estela, o cualquier otra actualización similar que se puede poner en, o retirar de, su lugar rápida y automáticamente.

[0036] Por tanto, como se muestra en 108 de la FIG. 3, el procedimiento 100 incluye generar un segundo conjunto 78 de datos de funcionamiento relacionados con el segundo modo de funcionamiento 72. Más específicamente, como se muestra en la FIG. 4, el segundo conjunto 78 de datos de funcionamiento también incluye, al menos, un primer parámetro 84 y un segundo parámetro 86. De manera similar al primer conjunto 76 de datos de funcionamiento, el primer y el segundo parámetros 84, 86 del segundo conjunto 78 de datos de funcionamiento también pueden estar desplazados (es decir, recopilados en diferentes instantes de tiempo). En otros modos de realización, como se muestra en la FIG. 5, el controlador 26 también puede estar configurado para alternar entre el primer y el segundo modos de funcionamiento 70, 72. En dichos modos de realización, el controlador 26 también puede generar una pluralidad de primeros y segundos conjuntos de datos 76, 78 durante cada uno de los modos 70, 72 para comparación. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 5, se generan y se pueden comparar dos primeros conjuntos de datos 76, 176 y dos segundos conjuntos de datos 78, 178.

[0037] Además, el segundo conjunto 78 de datos de funcionamiento se puede generar por medio de uno o más de los sensores (por ejemplo, por medio de los sensores 30, 65, 66, 68 o cualquier otro sensor adecuado). De forma alternativa, el segundo conjunto 78 de datos de funcionamiento se puede estimar por medio de un modelo informático dentro del procesador 58. Más específicamente, en determinados modos de realización, el segundo

conjunto 78 de datos de funcionamiento puede corresponder a los mismos parámetros que el primer conjunto 76 de datos de funcionamiento. Así pues, el primer y el segundo parámetros 84, 86 del segundo conjunto 78 pueden incluir información con respecto a la salida de energía, la velocidad del generador, la salida de par de torsión, las condiciones de la red, el ángulo de pitch, la relación de velocidad específica, el ángulo de orientación, las consignas de control interno, las condiciones de carga, la información geográfica, la temperatura, la presión, las condiciones climáticas, la deformación, el ruido ambiental, las ráfagas de viento, la velocidad de viento, la dirección de viento, la aceleración de viento, la turbulencia de viento, la cizalladura de viento, el viraje de viento, la estela y/o similares o combinaciones de los mismos. Más específicamente, en un modo de realización, el primer parámetro 84 puede incluir una velocidad de viento y el segundo parámetro 86 puede incluir una salida de energía. Por tanto, en varios modos de realización, el procedimiento 100 puede incluir además medir la velocidad de viento por medio de un anemómetro 30 montado en la góndola durante el primer y segundo modos de funcionamiento 70, 72. Aún en unos modos de realización alternativos, los primeros parámetros 80, 84 pueden incluir la turbulencia o la cizalladura de viento, mientras que los segundos parámetros 82, 86 pueden incluir la deformación o el ruido ambiental.

[0038] Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 4, el primer parámetro 84 del segundo conjunto 78 se puede medir durante el primer modo de funcionamiento 70, mientras que el segundo parámetro 86 del segundo conjunto 78 se puede medir durante el segundo modo de funcionamiento 72. Más específicamente, como se muestra, el primer parámetro 84 del segundo conjunto 78 se puede medir durante la segunda ventana de funcionamiento 92 del primer modo de funcionamiento 70, mientras que el segundo parámetro 86 del segundo conjunto 78 se puede medir durante una primera ventana de funcionamiento 96 del segundo modo de funcionamiento 72.

[0039] En modos de realización adicionales, el controlador 26 también puede estar configurado para filtrar el primer y el segundo conjuntos 76, 78 de datos de funcionamiento. Más específicamente, en determinados modos de realización, después de que se recopilen los datos, estos se pueden filtrar para eliminar puntos de datos donde la turbina eólica 10 no estaba funcionando con normalidad, tal como sucede cuando se ha restringido ("curtailed") deliberadamente. Además, se pueden eliminar o descartar determinados puntos de datos. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 4, los puntos de datos justo después de una transición de modo, es decir, entre cada ventana de funcionamiento 90, 92 y 96, se pueden descartar. Aún en otros modos de realización, se pueden pasar por alto o saltar muestras de datos. En este caso, cuando se crea un conjunto de datos del primer y segundo parámetros, se pueden omitir pares de muestras cuando se pasa por alto o se salta cualquiera de las muestras.

[0040] En otro modo de realización, un retraso de tiempo entre el primer parámetro 80, 84 y el segundo parámetro 82, 86 para cada uno del primer y el segundo modos de funcionamiento 70, 72 puede ser fijo y/o constante. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 4, se ilustran diversos retrasos de tiempo 94 entre los diferentes períodos de recopilación de datos. Más específicamente, como se muestra, cada uno de los retrasos de tiempo 94 puede tener la misma duración. Así pues, el retraso de tiempo entre el primer y el segundo parámetros 82, 86 (por ejemplo, la medición de la velocidad de viento y la medición de la energía) introduce cambios sutiles en los conjuntos de datos que se pueden caracterizar como una función de transferencia de velocidad de viento adicional o un ruido de medición incrementado. En modos de realización particulares, el retraso de tiempo es suficientemente pequeño como para que la velocidad de viento de cada par de medición sea suficientemente predictiva de la velocidad de viento al mismo tiempo que la medición de la energía. Además, al ser fijo y constante, los efectos del retraso de tiempo son idénticos para todos los conjuntos de datos para todos los modos y no tienen un impacto negativo en el proceso de evaluación del rendimiento.

[0041] En el ejemplo de dos modos, como se muestra en la FIG. 4, se sitúan ventanas de datos en relación con la transición del primer modo de funcionamiento 170 al segundo modo de funcionamiento 172. Sin embargo, en modos de realización alternativos, el controlador 26 también puede hacer una transición desde el segundo modo de funcionamiento 172 al primer modo de funcionamiento 170. Además, el análisis de rendimiento para dichos casos se puede hacer por separado y de forma combinada. De forma alternativa, se pueden combinar datos de estos dos casos y se puede realizar un análisis de rendimiento con el conjunto de datos combinados más grande.

[0042] En determinados modos de realización, cada uno del primer y segundo parámetros se puede usar como máximo una vez en un conjunto de datos. Además, dichos parámetros se pueden emparejar de modo que cada par tenga el mismo retraso de tiempo, es decir, el desplazamiento de tiempo del primer parámetro al segundo parámetro es el mismo. En otros modos de realización, sin embargo, es posible usar parámetros múltiples veces y usar pares con múltiples retrasos de tiempo en el mismo conjunto de datos. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 6, cada punto de datos 95 de la ventana de funcionamiento 90 se puede emparejar con un punto de datos 97 de la ventana de funcionamiento 92 que tiene el mismo desfase de tiempo. En modos de realización alternativos, como se muestra en la FIG. 7, cada punto de datos 95 de la ventana de funcionamiento 90 se puede emparejar con uno o más puntos de datos 97 de la ventana de funcionamiento 92 y viceversa, independientemente del retraso de tiempo. Aún en otro modo de realización, cada punto de datos 95 de la ventana de funcionamiento 90 se puede emparejar con cada punto de datos 97 de la ventana de funcionamiento 92, dado que el retraso de tiempo está dentro de algún intervalo.

[0043] Además, como se muestra en la FIG. 5, el controlador 26 puede alternar entre el primer y el segundo modos de funcionamiento 70, 72. El proceso de alternancia se puede repetir un número de veces para asegurar

que las diferencias observadas entre el primer y el segundo modos de funcionamiento 70, 72 se deben a los cambios en los ajustes de control y/o actualizaciones y no a cambios en las condiciones ambientales, por ejemplo, velocidad de viento, dirección de viento, etc. Por ejemplo, como se muestra, el controlador 26 alterna entre el primer y segundo modos de funcionamiento 70, 72 dos veces. En otros modos de realización, el controlador 26 puede alternar entre el primer y el segundo modos de funcionamiento 70, 72 una pluralidad de veces, por ejemplo, cientos o miles de veces. Alternando un número de veces, se puede deducir un rendimiento medio de los modos de funcionamiento 70, 72 (por ejemplo, la energía generada es mayor o menor). Por ejemplo, como se muestra, el primer y el segundo conjuntos 76, 78 de datos de funcionamiento se pueden combinar con un primer y un segundo conjuntos adicionales 176, 178 de datos de funcionamiento para el primer y segundo modos de funcionamiento 70, 72 recopilados en un período de tiempo posterior. Más específicamente, como se muestra, el primer y el segundo conjuntos adicionales 176, 178 de datos de funcionamiento también incluyen el primer 180, 184 y el segundo 182, 186 parámetros, respectivamente. Así pues, se puede elegir un modo de funcionamiento óptimo y se puede repetir el proceso de alternancia hasta que se pueda sacar una conclusión.

[0044] El controlador 26 se configura a continuación para determinar si el primer modo de funcionamiento 70 es mejor que el segundo modo de funcionamiento 72. Más específicamente, en un modo de realización, el parámetro de respuesta del primer modo de funcionamiento 70 se compara con el parámetro de respuesta del segundo modo de funcionamiento 70. Por ejemplo, en referencia de nuevo a la FIG. 3, como se muestra en 110, el procedimiento 100 incluye determinar una característica de rendimiento, por ejemplo, tal como la energía, del primer y segundo modos de funcionamiento 70, 72 en base al primer y al segundo conjuntos 76, 78 de datos de funcionamiento. Además, el controlador 26 puede determinar un porcentaje de incremento de energía esperado a partir del cambio en los ajustes de control o la(s) actualización(es) del primer modo de funcionamiento 70 al segundo modo de funcionamiento 72. Más específicamente, en determinados modos de realización, el controlador 26 puede estar configurado para generar una primera y una segunda curvas de energía para el primer y segundo modos de funcionamiento 70, 72 en base a la velocidad de viento y la salida de energía de los respectivos primer y segundo conjuntos 76, 78 de datos de funcionamiento. y comparar la primera y la segunda curvas de energía para el primer y el segundo modos de funcionamiento para determinar el modo de funcionamiento óptimo. Una vez que se determinan las consignas óptimas para los diversos parámetros de funcionamiento, el controlador 26 está configurado para hacer funcionar la turbina eólica 100 en base a las nuevas consignas óptimas.

[0045] En referencia ahora a la FIG. 8, se ilustra un diagrama esquemático de otro modo de realización para evaluar el rendimiento de una turbina eólica en diferentes modos de funcionamiento. Como se muestra, el procedimiento de alternancia de desplazamiento del modo de realización de la FIG. 8 incluye más de dos modos de funcionamiento, en concreto, siete modos de funcionamiento diferentes (denotados como modos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7). Se debe entender que aunque se ilustran siete modos de funcionamiento en la FIG. 8, se puede utilizar cualquier número de modos que incluyan más de siete o menos de siete modos de funcionamiento.

[0046] Además, como se muestra, se selecciona un modo de funcionamiento de referencia 150, denotado como modo 0. En determinados modos de realización, los parámetros de control para el modo de funcionamiento de referencia 150 se pueden seleccionar para proporcionar mediciones fiables de velocidad de viento en el anemómetro 30, o pueden ser los parámetros de referencia o estándar para la turbina eólica 10. Como se muestra en 156, el controlador 26 está configurado para hacer una transición desde el modo de funcionamiento de referencia 150 a un primer modo de funcionamiento (denotado como modo 1). Además, el controlador 26 está configurado para generar un primer conjunto 152 de datos de funcionamiento que incluye, al menos, un primer parámetro 158 y un segundo parámetro 160. Más específicamente, como se muestra, el primer parámetro 158 del primer conjunto 152 se mide durante el modo de funcionamiento de referencia 150, mientras que el segundo parámetro 160 del primer conjunto 152 se mide durante el primer modo de funcionamiento.

[0047] Como se muestra en 162, a continuación el controlador 26 hace una transición desde el primer modo de funcionamiento de nuevo al modo de funcionamiento de referencia 150. Además, como se muestra en 164, a continuación el controlador 26 hace una transición desde el modo de funcionamiento de referencia a un segundo modo de funcionamiento (denotado como modo 2). Así pues, el controlador 26 está configurado para generar un segundo conjunto 154 de datos de funcionamiento que también contiene, al menos, un primer parámetro 166 y un segundo parámetro 168. Más específicamente, como se muestra, el primer parámetro 166 del segundo conjunto 154 se mide durante el modo de funcionamiento de referencia 150, mientras que el segundo parámetro 168 del segundo conjunto 154 se mide durante el segundo modo de funcionamiento. Por tanto, a continuación el controlador 26 puede comparar el primer y el segundo conjuntos 152, 154 de datos de funcionamiento para determinar un modo de funcionamiento óptimo.

[0048] Además, el controlador 26 puede alternar entre el modo de funcionamiento de referencia 150 y una pluralidad de modos de funcionamiento posteriores después del segundo modo de funcionamiento. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 8, el controlador 26 puede proceder a hacer funcionar la turbina eólica 10 a través de unos modos adicionales después del segundo modo de funcionamiento (es decir, los modos 3, 4, 5, 6 y 7). Sin embargo, como se muestra, entre cada uno de los modos, el controlador 26 vuelve al modo de funcionamiento de referencia 150. La progresión a través de los modos se puede aleatorizar, aunque el modo de funcionamiento de referencia 150 se sigue insertando entre todos los modos.

[0049] Así pues, el controlador 26 también puede generar conjuntos adicionales de datos 170 de funcionamiento para cada uno de los modos de funcionamiento posteriores. Dichos conjuntos de datos también pueden incluir un primer parámetro 172 y un segundo parámetro 174. Más específicamente, como se ha mencionado, los primeros parámetros 172 de cada conjunto de datos 170 se pueden medir durante el modo de funcionamiento de referencia 150, mientras que los segundos parámetros 174 de cada conjunto de datos 170 se pueden medir durante el respectivo modo de funcionamiento. Además, como se muestra, el conjunto de datos 170 para cada uno de los modos se puede recopilar usando ventanas de funcionamiento en relación con la transición desde el modo de funcionamiento de referencia 150 a cada uno de los modos respectivos. En dichos modos de realización, a continuación el controlador 26 puede comparar la pluralidad de conjuntos de datos 152, 154, 170 de datos de funcionamiento para determinar un modo de funcionamiento óptimo. En otras palabras, el rendimiento de la turbina se calcula para todos los conjuntos de datos comparando el rendimiento entre los modos.

[0050] Se debe entender que aunque la FIG. 8 se refiere a los conjuntos adicionales 170 de datos de funcionamiento (con el primer y el segundo parámetros 172 y 174) que tienen los mismos números de referencia, dichas notaciones se proporcionan solo con propósitos de simplificación. En otras palabras, se debe entender que el primer y el segundo parámetros 172, 174 de cada uno de los conjuntos de funcionamiento adicionales 170 pueden ser valores iguales o diferentes.

[0051] Se debe entender que aunque el procedimiento de alternancia de desplazamiento se ha descrito con el retraso de tiempo de modo que la velocidad de viento se mide antes que la energía, la presente divulgación también cubre el proceso inverso (es decir, la energía se mide antes que la velocidad de viento o cualquier otra combinación de parámetros). Además, aunque la presente divulgación se ha descrito en términos de modos de funcionamiento fijos (es decir, los valores de parámetros de control para un modo no cambian), la presente divulgación también puede incluir cambiar los parámetros de control para un modo a lo largo del tiempo o durante una prueba.

[0052] Se puede utilizar cualquier período de alternancia adecuado para alternar entre los diferentes modos. Como se usa en el presente documento, el período de alternancia en general se refiere al tiempo empleado en cada modo antes de hacer una transición a un modo diferente. Por tanto, el período de alternancia puede ser constante o diferente. El período de alternancia también se puede aleatorizar. Por ejemplo, en un modo de realización de un período de alternancia aleatorizado, el período de alternancia puede ser de 14 o 15 muestras, seleccionadas de forma aleatoria cada vez que hay una transición de modo. Además, el período de alternancia se debe seleccionar de modo que el ciclo de secuencia de modos global no se alinee con otro ciclo de turbina, ciclo de condiciones climáticas o ciclo diario que pueda afectar el rendimiento en un modo.

[0053] En determinados modos de realización, para evitar la alineación con un ciclo diario, se puede añadir un modo adicional a la secuencia de modos. Por ejemplo, para períodos de alternancia de 20 minutos y una secuencia de nueve modos (representada por 0, 1, 0, 2, 0, 3, 0, 4, 0, 5, 0, 6, 0, 7, 0, 8, 0, 9), la secuencia de modos tardaría seis horas en terminar (por ejemplo, 20 minutos multiplicado por 18). La repetición de esta secuencia de modos haría que los modos se alinearan con un ciclo diario. Por tanto, se puede añadir al menos un estado adicional para evitar dicha alineación. Por ejemplo, añadiendo un solo modo de referencia, la secuencia de modos da como resultado 0, 1, 0, 2, 0, 3, 0, 4, 0, 5, 0, 6, 0, 7, 0, 8, 0, 9, 0. Por lo tanto, la secuencia de 6 horas y 20 minutos no se alinea con el ciclo diario.

[0054] Además, hasta ahora, la presente divulgación se ha descrito en términos de intervalos de muestra fijos. Por ejemplo, el primer y el segundo parámetros se pueden recopilar cada 30 segundos. Se debe entender, sin embargo, que la presente divulgación también puede incluir intervalos de muestreo de datos irregulares. Con intervalos de muestreo de datos irregulares, se pueden crear conjuntos de datos de unos parámetros correspondientes en base a las diferencias de tiempo entre muestras que coinciden con un retraso de tiempo deseado, en lugar de un número fijo de intervalos de muestra. La interpolación de datos se puede usar para determinar valores de datos entre puntos de muestra.

[0055] Anteriormente se han descrito en detalle unos modos de realización ejemplares de una turbina eólica, un controlador para una turbina eólica y un procedimiento para optimizar el funcionamiento de una turbina eólica. El procedimiento, la turbina eólica y el controlador no están limitados a los modos de realización específicos descritos en el presente documento, sino que, en su lugar, los componentes de la turbina eólica y/o del controlador y/o las etapas del procedimiento se pueden utilizar independientemente y por separado de otros componentes y/o etapas descritos en el presente documento. Por ejemplo, el controlador y el procedimiento también se pueden usar en combinación con otros sistemas y procedimientos de energía, y no están limitados a la puesta en práctica solo con el sistema de turbina eólica descrito en el presente documento. En su lugar, el modo de realización ejemplar se puede implementar y utilizar en conexión con otras muchas aplicaciones de sistemas de turbinas eólicas o de energía.

[0056] En esta descripción escrita se usan ejemplos para divulgar la invención, que incluyen el modo preferente, y asimismo para permitir que cualquier experto en la técnica lleve a la práctica la invención, lo cual incluye fabricar

y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (100) para evaluar un rendimiento de una turbina eólica (10) en diferentes modos de funcionamiento, comprendiendo el procedimiento (100):

hacer funcionar (102) la turbina eólica (10) en un primer modo de funcionamiento (70);

generar (104) un primer conjunto de datos de funcionamiento (76) relacionado con el primer modo de funcionamiento (70), comprendiendo el primer conjunto de datos de funcionamiento (76), al menos, un primer parámetro (80) y un segundo parámetro (82);

cambiar (106) del primer modo de funcionamiento (70) a un segundo modo de funcionamiento (72);

generar (108) un segundo conjunto de datos de funcionamiento (78) relacionado con el segundo modo de funcionamiento (72), comprendiendo el segundo conjunto de datos de funcionamiento (78), al menos, un primer parámetro (84) y un segundo parámetro (86), midiéndose el primer parámetro (84) del segundo conjunto durante el primer modo de funcionamiento (70) y midiéndose el segundo parámetro (86) del segundo conjunto durante el segundo modo de funcionamiento (72); y

determinar (110) una característica de rendimiento del primer y segundo modos de funcionamiento (70, 72) en base al primer y segundo conjuntos (76, 78) de datos de funcionamiento.

2. El procedimiento (100) de la reivindicación 1, en el que el primer y segundo parámetros (80, 82) del primer conjunto se miden durante diferentes períodos de tiempo durante el primer modo de funcionamiento (70).

3. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación precedente, en el que el primer parámetro (80) del primer conjunto se mide durante una primera ventana de funcionamiento (90) del primer modo de funcionamiento (70), el segundo parámetro (82) del primer conjunto se mide durante una segunda ventana de funcionamiento (92) del primer modo de funcionamiento (70), el primer parámetro (84) del segundo conjunto se mide durante la segunda ventana de funcionamiento (92) del primer modo de funcionamiento (70), y el segundo parámetro (86) del segundo conjunto se mide durante una primera ventana de funcionamiento (96) del segundo modo de funcionamiento (72).

4. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación precedente, en el que un retraso de tiempo (94) entre el primer parámetro (80, 84) y el segundo parámetro (82, 86) para cada uno del primer y segundo modos de funcionamiento (70, 72) es fijo y constante.

5. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación precedente, en el que el primer y segundo parámetros (80, 82, 84, 86) comprenden información con respecto a al menos uno de o una combinación de los siguientes parámetros: salida de energía, velocidad de generador, salida de par de torsión, condiciones de red, ángulo de pitch, relación de velocidad específica, ángulo de orientación, consignas de control interno, condiciones de carga, información geográfica, temperatura, presión, condiciones climáticas, deformación, ruido ambiental, ráfagas de viento, velocidad de viento, dirección de viento, aceleración de viento, turbulencia de viento, cizalladura de viento, viraje de viento, o estela.

6. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación precedente, en el que el primer parámetro (80, 84) del primer y segundo conjuntos (76, 78) de datos de funcionamiento comprende una velocidad de viento y el segundo parámetro (82) del primer y segundo conjuntos (76, 78) de datos de funcionamiento comprende una salida de energía.

7. El procedimiento (100) de la reivindicación 6, en el que determinar la característica de rendimiento del primer y segundo modos de funcionamiento (70, 72) en base al primer y segundo conjuntos (76, 78) de datos de funcionamiento comprende además:

generar una primera y segunda curvas de energía para el primer y segundo modos de funcionamiento (70, 72) en base a la velocidad de viento y una salida de energía de unos respectivos primer y segundo conjuntos de datos de funcionamiento; y

comparar la primera y segunda curvas de energía para el primer y segundo modos de funcionamiento (70, 72) para determinar el modo de funcionamiento óptimo.

8. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación precedente, que comprende además medir la velocidad de viento por medio de un anemómetro montado en una góndola para el primer y segundo modos de funcionamiento (70, 72).

9. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación precedente, que comprende además filtrar el primer y segundo conjuntos (76, 78) de datos de funcionamiento.

10. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación precedente, que comprende además alternar entre el primer y segundo modos de funcionamiento (70, 72) y generar una pluralidad de primeros y segundos conjuntos de datos (76, 78) durante cada uno de los modos (70, 72).

11. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación precedente, que comprende además implementar un cambio en la turbina eólica (10) antes de hacer funcionar la turbina eólica (10) en el segundo modo de funcionamiento (72), en el que el cambio comprende al menos uno de cambiar uno o más parámetros de control de la turbina eólica (10) o proporcionar al menos una actualización a la turbina eólica (10).

12. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación precedente, en el que el uno o más parámetros de control comprenden al menos uno de una velocidad de generador, una consigna de par de torsión, un ángulo de pitch, una relación de velocidad específica o un ángulo de orientación.

13. El procedimiento (100) de cualquier reivindicación precedente, en el que la al menos una actualización comprende cualquiera de o una combinación de los siguientes: un ángulo de pitch o de orientación revisado, una relación de velocidad específica, unas actualizaciones de software, unas actualizaciones de controles, unas actualizaciones de hardware, o unos controles de estela.

14. Un sistema para evaluar un rendimiento de una turbina eólica (10) en diferentes modos de funcionamiento, comprendiendo el sistema:

un procesador (58) acoplado comunicativamente a uno o más sensores (65, 66, 68), estando configurado el procesador (58) para realizar una o más operaciones, comprendiendo la una o más operaciones:

hacer funcionar (102) la turbina eólica (10) en un modo de funcionamiento de referencia (150);

hacer una transición desde el modo de funcionamiento de referencia (150) a un primer modo de funcionamiento;

generar (104) un primer conjunto de datos de funcionamiento (152) que comprende, al menos, un primer parámetro (158) y un segundo parámetro (160), midiéndose el primer parámetro (158) del primer conjunto durante el modo de funcionamiento de referencia (150) y midiéndose el segundo parámetro (160) del primer conjunto durante el primer modo de funcionamiento;

hacer una transición desde el primer modo de funcionamiento de nuevo al modo de funcionamiento de referencia (150);

hacer una transición desde el modo de funcionamiento de referencia a un segundo modo de funcionamiento (72);

generar (108) un segundo conjunto de datos de funcionamiento (154) que comprende, al menos, un primer parámetro (166) y un segundo parámetro (168), midiéndose el primer parámetro (166) del segundo conjunto durante el modo de funcionamiento de referencia (150) y midiéndose el segundo parámetro (168) del segundo conjunto durante el segundo modo de funcionamiento; y,

determinar (110) una característica de rendimiento del primer y segundo modos de funcionamiento en base al primer y segundo conjuntos de datos de funcionamiento (152, 154).

15. El sistema de la reivindicación 14, que comprende además:

alternar entre el modo de funcionamiento de referencia (150) y una pluralidad de modos de funcionamiento posteriores después del segundo modo de funcionamiento;

generar un conjunto (170) de datos de funcionamiento para cada uno de los modos de funcionamiento posteriores que comprende, al menos, un primer parámetro (172) y un segundo parámetro (174), midiéndose los primeros parámetros (172) de cada conjunto de datos durante el modo de funcionamiento de referencia (150) y midiéndose los segundos parámetros (174) de cada conjunto de datos durante el modo de funcionamiento respectivo; y

comparar los conjuntos de datos de funcionamiento para determinar el modo de funcionamiento óptimo.

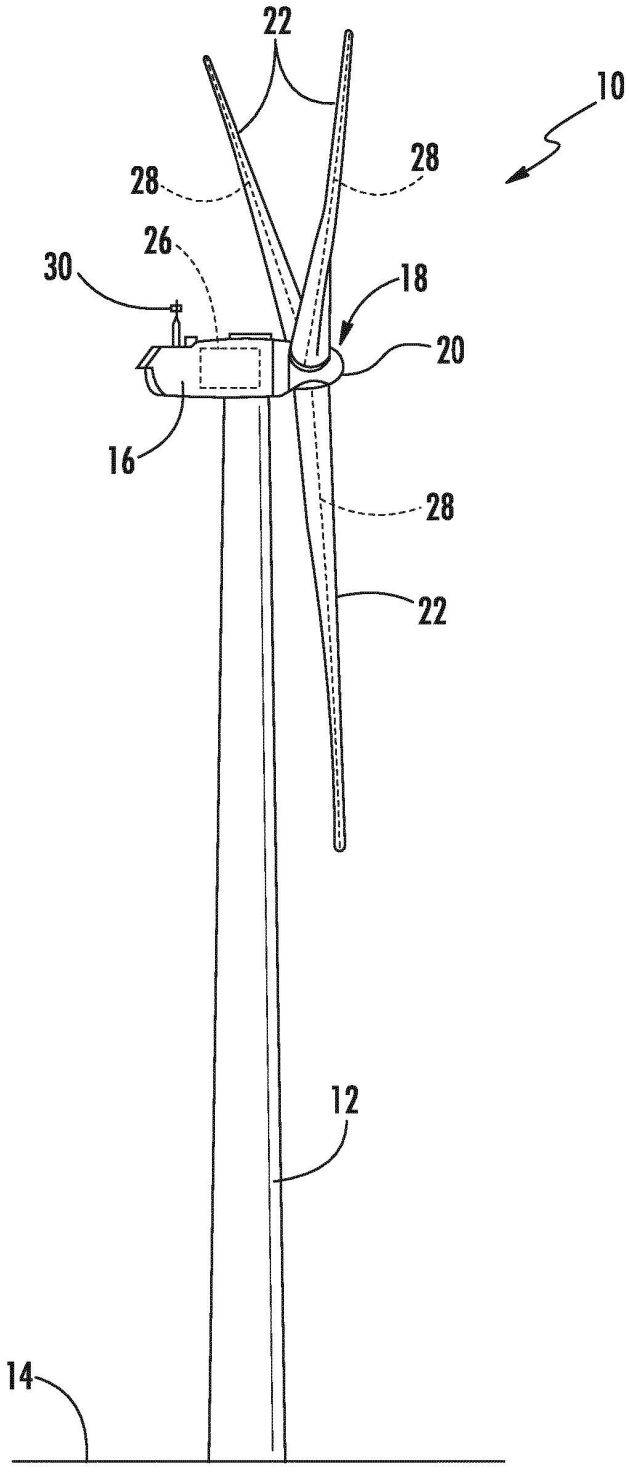


FIG. 1

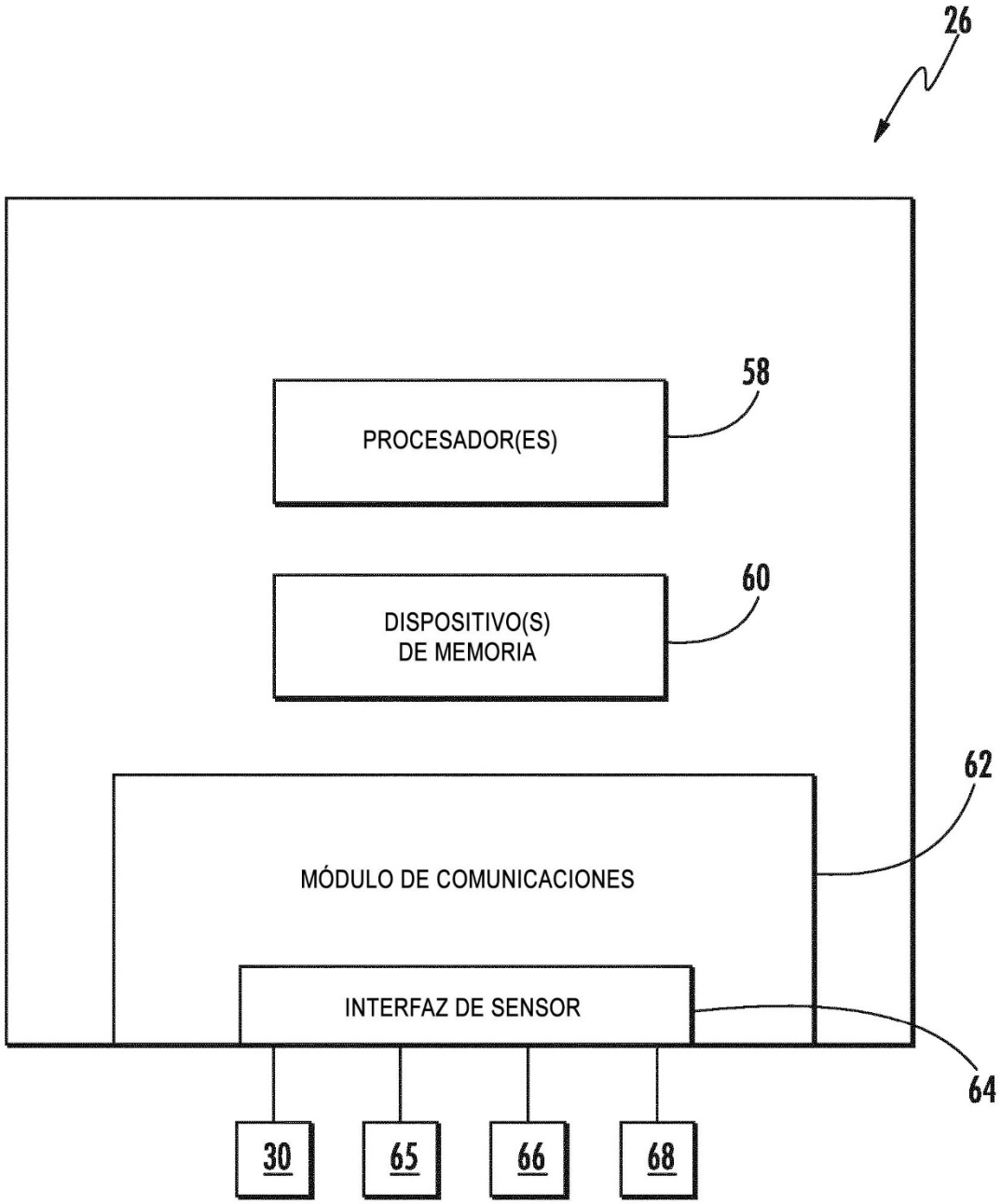

26
58
PROCESADOR(ES)
60
DISPOSITIVO(S)
DE MEMORIA
62
MÓDULO DE COMUNICACIONES
INTERFAZ DE SENSOR
64
30
65
66
68

FIG. 2

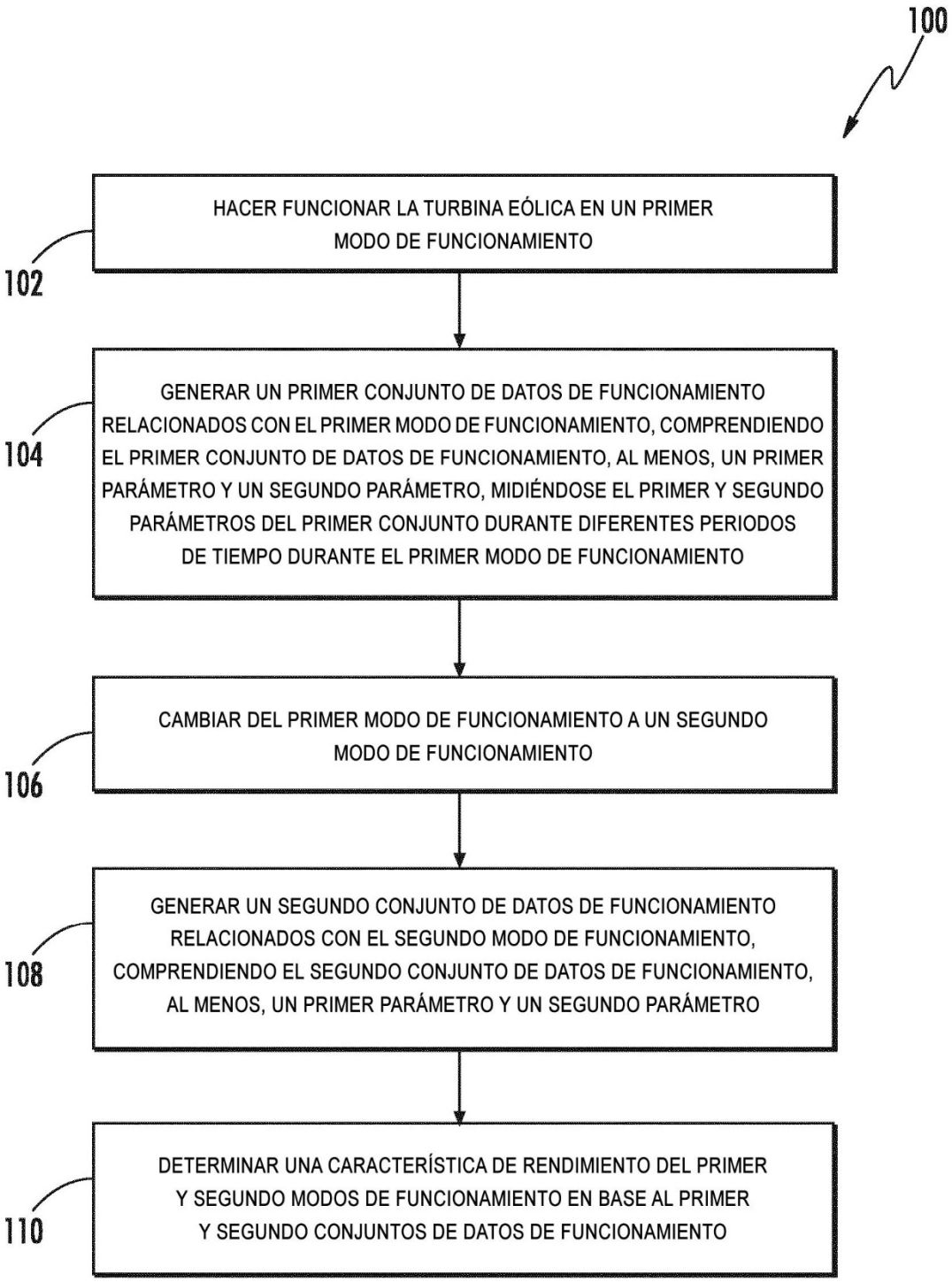

100
HACER FUNCIONAR LA TURBINA EÓLICA EN UN PRIMER MODO DE FUNCIONAMIENTO
102
GENERAR UN PRIMER CONJUNTO DE DATOS DE FUNCIONAMIENTO RELACIONADOS CON EL PRIMER MODO DE FUNCIONAMIENTO, COMPRENDIENDO EL PRIMER CONJUNTO DE DATOS DE FUNCIONAMIENTO, AL MENOS, UN PRIMER PARÁMETRO Y UN SEGUNDO PARÁMETRO, MIDIÉNDOSE EL PRIMER Y SEGUNDO PARÁMETROS DEL PRIMER CONJUNTO DURANTE DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO DURANTE EL PRIMER MODO DE FUNCIONAMIENTO
104
CAMBIAR DEL PRIMER MODO DE FUNCIONAMIENTO A UN SEGUNDO MODO DE FUNCIONAMIENTO
106
GENERAR UN SEGUNDO CONJUNTO DE DATOS DE FUNCIONAMIENTO RELACIONADOS CON EL SEGUNDO MODO DE FUNCIONAMIENTO, COMPRENDIENDO EL SEGUNDO CONJUNTO DE DATOS DE FUNCIONAMIENTO, AL MENOS, UN PRIMER PARÁMETRO Y UN SEGUNDO PARÁMETRO
108
DETERMINAR UNA CARACTERÍSTICA DE RENDIMIENTO DEL PRIMER Y SEGUNDO MODOS DE FUNCIONAMIENTO EN BASE AL PRIMER Y SEGUNDO CONJUNTOS DE DATOS DE FUNCIONAMIENTO
110

FIG. 3

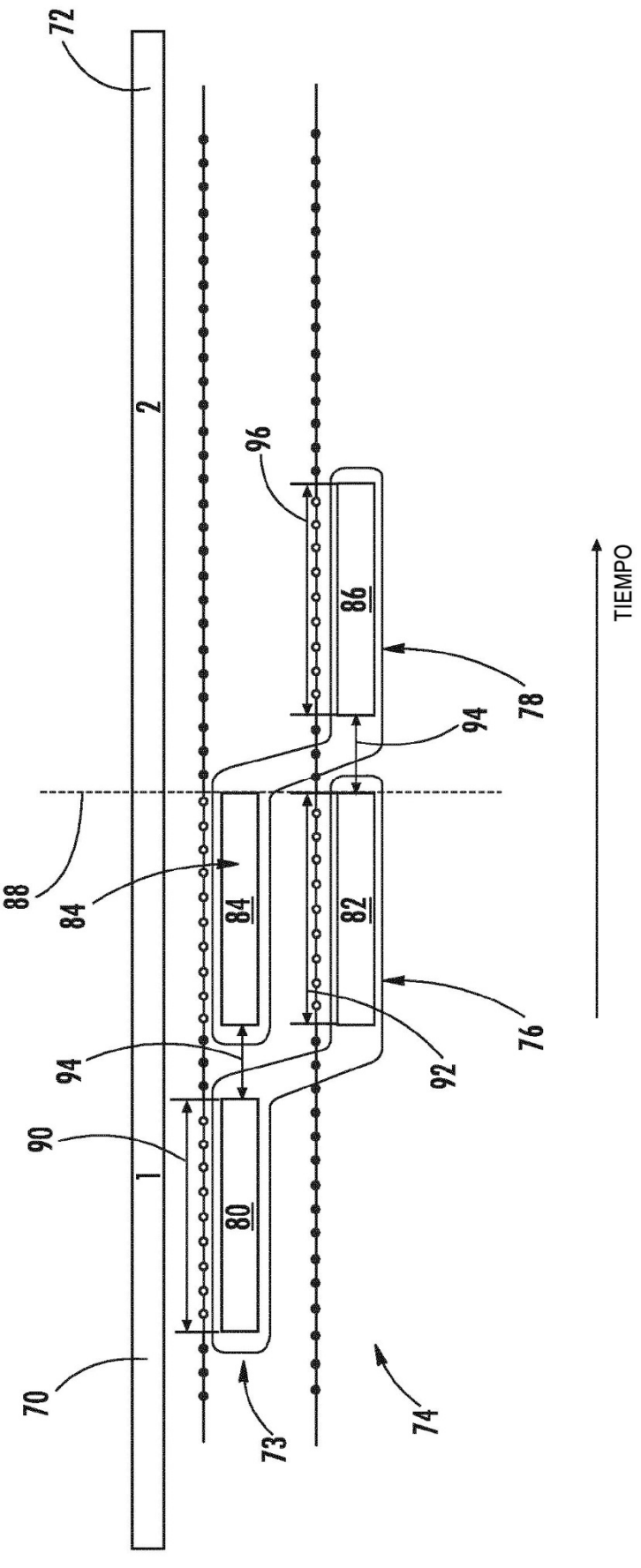


FIG. 4

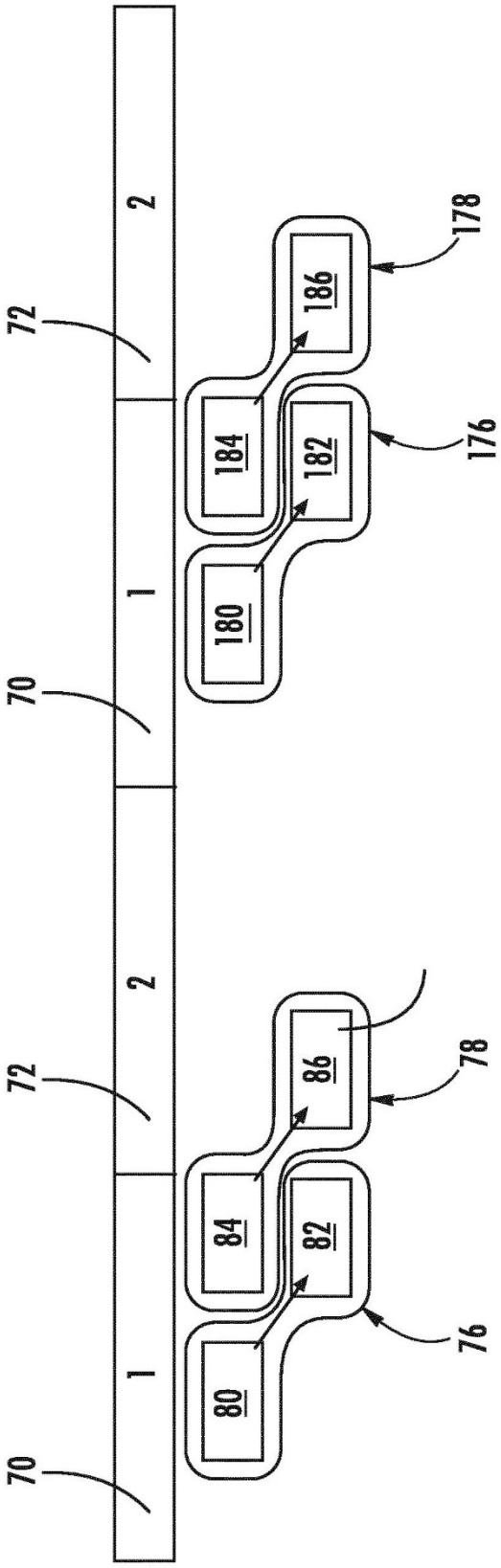


FIG. 5

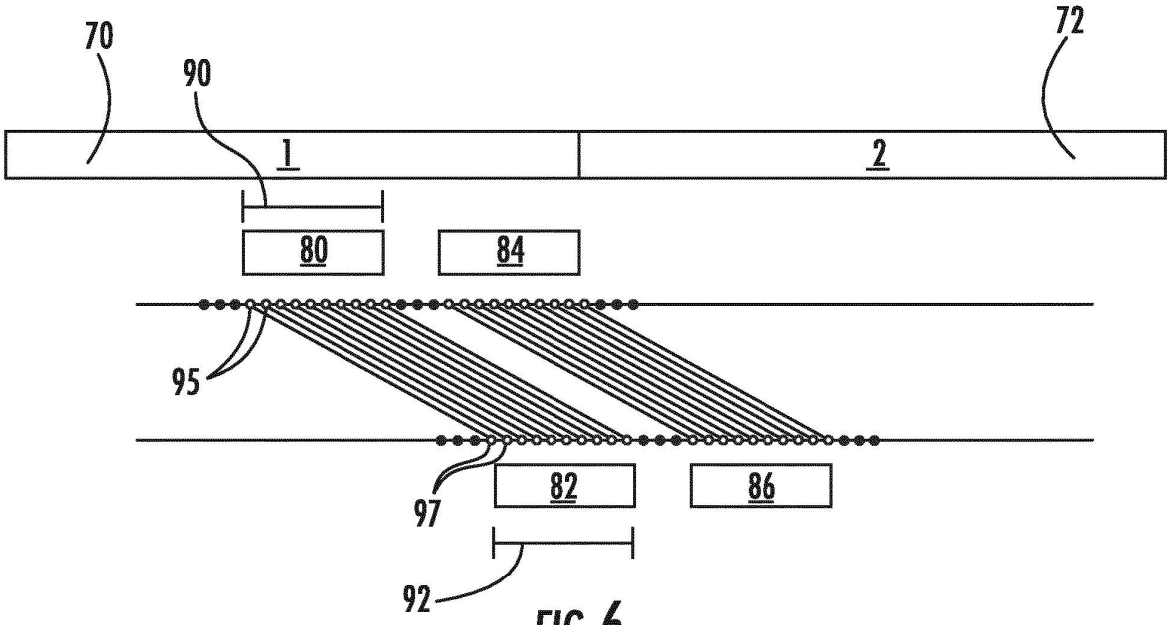


FIG. 6

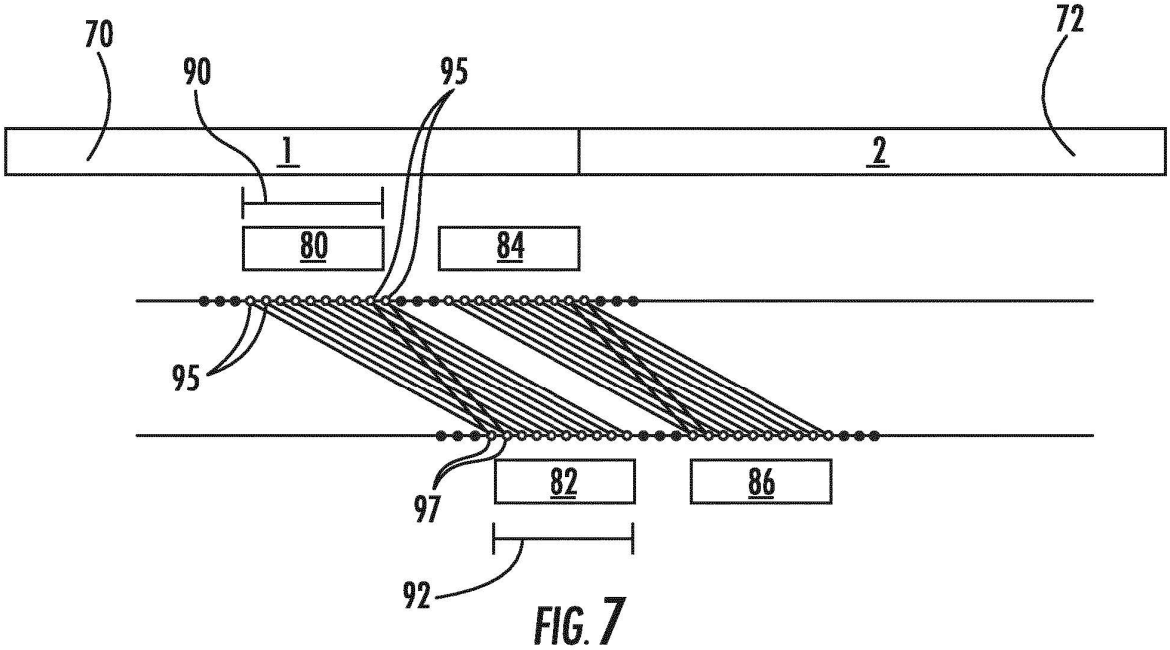


FIG. 7

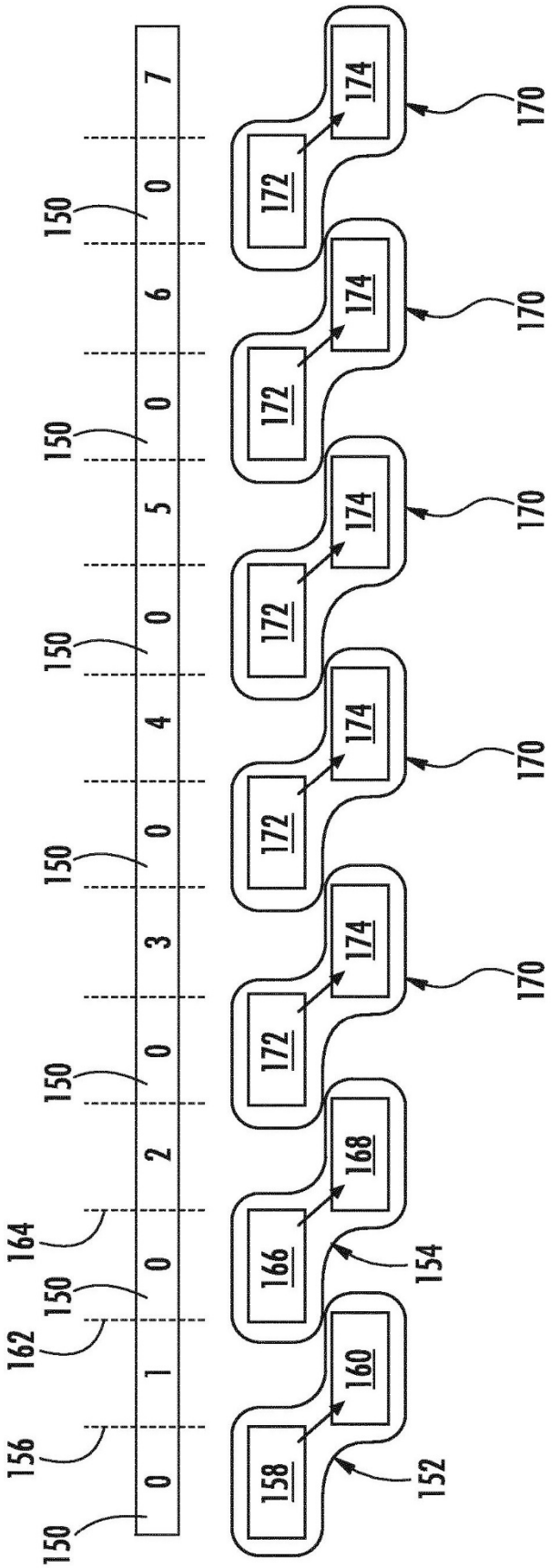

0
1
0
2
0
3
0
4
0
5
0
6
0
7
0
150
156
162
164
158
160
166
168
172
174
170
152
154
TIEMPO

FIG. 8