

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 664 823**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

H02J 3/32 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2015** E 15156121 (4)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.01.2018** EP 2921698

54 Título: **Sistema y procedimiento para control automático de generación en parques eólicos**

30 Prioridad:

24.02.2014 IN CH00091914

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

23.04.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SAGI, DEEPAK RAJ;
CARDINAL, MARK EDWARD;
SAHA, AVIJIT;
BURRA, RAJNI KANT y
GANIREDDY, GOVARDHAN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 664 823 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 control automático de generación en parques eólicos

Diversas realizaciones de la presente invención se refieren generalmente a parques eólicos y más en particular se refieren a un sistema y procedimiento para control de generación automática en parques eólicos.

5 Las turbinas eólicas se usan para generar potencia eléctrica desde energía eólica. Múltiples turbinas eólicas pueden acoplarse juntas para formar un parque eólico, y múltiples parques eólicos pueden acoplarse a una red eléctrica. Los parques eólicos son necesarios para proporcionar una energía de salida entregada a la red eléctrica para programar la generación y mantenimiento de equilibrio de generación de carga. Sin embargo, debido a fluctuaciones constantes en la velocidad del viento y en una carga acoplada a la red eléctrica, una diferencia puede ocurrir entre una potencia inyectada en la red eléctrica y la energía de salida entregada. La diferencia conduce a variaciones en una frecuencia del sistema, lo que necesita un uso de recursos de reserva para superar tales variaciones. Para superar la variación, los parques eólicos proporcionan una capacidad de control de potencia adicional a la red eléctrica para mantener la frecuencia.

10 En un tipo de metodología de control, la red eléctrica se gestiona mediante un operario de sistema independiente que dirige a los propietarios de los parques eólicos acoplados a la red eléctrica a proporcionar la capacidad de control de potencia adicional y mantener la frecuencia en la red eléctrica. Los propietarios del parque eólico mantienen la frecuencia empleando una respuesta de frecuencia primaria, también denominada caída de frecuencia, y una respuesta de frecuencia secundaria. Los propietarios del parque eólico reciben pagos adicionales desde el operario del sistema independiente para la respuesta de frecuencia secundaria basándose en una banda de control y la precisión al proporcionar una potencia entregada para la segunda respuesta de frecuencia.

15 Un tipo de técnica de respuesta de frecuencia secundaria incluye control de generación automática. El control de generación automática (AGC) es un sistema para ajustar la salida de potencia de múltiples generadores ubicados en diversas ubicaciones en el sistema, en respuesta a cambios en la frecuencia del sistema y múltiples potencias de línea privada del sistema de potencia interconectado. El control de generación automática emplea diversos enfoques para proporcionar potencia adicional para ajustar la salida de potencia. Un enfoque incluye usar una batería de parque eólico centralizado para proporcionar la potencia adicional a la red eléctrica. Sin embargo, tal enfoque conduce a costes adicionales y riesgos asociados tal como un único punto de fallo al proporcionar potencia adicional.

20 En otro enfoque, un parque eólico de almacenamiento distribuido puede desplegarse para proporcionar automáticamente control de potencia adicional. En tales enfoques, algunas de las turbinas eólicas en el parque eólico incluyen un elemento de almacenamiento de energía integrado que puede usarse para complementar la potencia generada de forma eólica y proporcionar potencia adicional. En el enfoque descrito, los controladores de turbina eólica de cada turbina eólica controlan independientemente los elementos de almacenamiento de energía integrados respectivos.

25 Sería aconsejable que los parques eólicos tuvieran opciones adicionales para abordar variaciones de frecuencia y controlar elementos de almacenamiento de energía integrados.

30 El documento EP 2 573 896 se refiere a procedimientos de control de una planta combinada que incluye al menos un generador y un almacén de energía. El documento EP 2 110 549 se refiere a un parque eólico con almacenamiento de energía. El documento WO 2012/171532 se refiere a un control de respuesta de caída selectiva para una planta de potencia de turbina eólica. El documento US 2013/0184884 se refiere a una instalación de almacenamiento, control y generación de energía renovable despachable. El documento US 2011/0175565 se refiere a un sistema de almacenamiento de energía y un procedimiento de control del mismo.

35 En una realización, un procedimiento para control de generación de potencia automática en un parque eólico de acuerdo con la reivindicación 1 se proporciona. En otra realización, un sistema para control de generación de potencia automática en un parque eólico se proporciona. El sistema incluye una pluralidad de turbinas eólicas, una pluralidad de elementos de almacenamiento de energía integrados dentro o acoplados con unas respectivas de la pluralidad de turbinas eólicas y un controlador de parque eólico para controlar la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía. El controlador de parque eólico se configura para ejecutar las etapas de acuerdo con la reivindicación 1. Diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor cuando la siguiente descripción se lea con referencia a los dibujos adjuntos en los que los caracteres similares representan partes similares a través de los dibujos, en los que:

40 la FIGURA 1 es una representación de diagrama de bloques de un parque eólico que incluye un sistema para controlar el parque eólico de acuerdo con una realización de la invención.

45 La FIGURA 2 es una representación gráfica de una curva característica de caída de un estado de carga de un elemento de almacenamiento de energía de acuerdo con una realización de la invención.

50 La FIGURA 3 es una representación gráfica ejemplar de la previsión de potencia de punto de base de nivel de

parque en la posición del estado de carga en la pendiente de potencia positiva (FIGURA 2) durante los intervalos de tiempo T1 y T2 de acuerdo con una realización de la invención.

5 La FIGURA 4 es una representación gráfica ejemplar de un ejemplo de estados de carga de dos elementos de almacenamiento de energía en un parque eólico que representa descarga de potencia desde una pluralidad de elementos de almacenamiento de energía de acuerdo con una realización de la invención.

La FIGURA 5 es una representación gráfica ejemplar de estados de carga de una pluralidad de elementos de almacenamiento de energía sobre un período de tiempo mientras se emplea un procedimiento de envío óptimo agresivo de acuerdo con una realización de la invención.

10 La FIGURA 6 es una representación gráfica ejemplar de estados de carga de una pluralidad de elementos de almacenamiento de energía sobre un período de tiempo empleando un procedimiento de envío óptimo no agresivo de acuerdo con una realización de la invención.

La FIGURA 7 es un diagrama de flujo que representa etapas realizadas mediante el controlador de parque eólico para controlar los elementos de almacenamiento de energía usando un procedimiento de envío iterativo de acuerdo con una realización de la invención.

15 La FIGURA 8 es una continuación del diagrama de flujo que representa etapas realizadas por el controlador de parque eólico para controlar los elementos de almacenamiento de energía usando un procedimiento de envío iterativo de acuerdo con una realización de la invención.

20 La FIGURA 9 es un diagrama de flujo que representa etapas implicadas en un procedimiento para controlar la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía en un parque eólico de acuerdo con una realización de la invención.

A menos que se defina lo contrario, los términos técnicos y científicos usados en este documento tienen el mismo significado que se entiende comúnmente por un experto en la materia al que pertenece esta divulgación. Los términos “primero”, “segundo” y similares, como se usan en este documento no indican ningún orden, cantidad o importancia, sino que se usan para distinguir un elemento de otro. Además, los términos “un” y “una” no indican una limitación de cantidad, sino que indican la presencia de al menos uno de los artículos mencionados. El término “o” pretende ser inclusivo y significa uno, algunos o todos los artículos mencionados. El uso de “incluyendo”, “que comprende” o “que tiene” y las variaciones de los mismos en este documento pretenden abarcar los artículos mencionados posteriormente y los equivalentes de los mismos así como artículos adicionales. Los términos “conectado” y “acoplado” no se limitan a conexiones o acoplamientos físicos o mecánicos, y pueden incluir conexiones o acoplamientos eléctricos, ya sean directos o indirectos. Además, los términos “circuito”, “circuitería”, “controlador” y “procesador” pueden incluir bien un único componente o una pluralidad de componentes, que son activos y/o pasivos y se conectan o de otra manera se acoplan entre sí para proporcionar la función descrita.

25 Las realizaciones de la presente invención incluyen un sistema y un procedimiento para control de generación automática en un parque eólico. El sistema incluye una pluralidad de turbinas eólicas, una pluralidad de elementos de almacenamiento de energía y un controlador de parque eólico para controlar centralmente la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía. En una realización específica, el controlador de parque eólico recibe un punto de referencia de control de generación automática desde un operario de sistema independiente, genera un punto de referencia de potencia de almacenamiento de nivel de parque para el parte eólico basándose en el punto de referencia de control de generación automática, y genera puntos de referencia de potencia de almacenamiento individuales para la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía basándose en estados de carga de los elementos de almacenamiento de energía respectivos. El controlador de parque eólico controla entonces la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía basándose en los puntos de referencia de potencia de almacenamiento individuales y de esta manera realiza el control de generación automática.

35 La FIGURA 1 es una representación de diagrama de bloques de un parque 100 eólico que incluye un sistema 110 para control de generación automática en el parque 100 eólico de acuerdo con una realización de la invención. El parque 100 eólico incluye una pluralidad de turbinas 120 eólicas para generar potencia en el parque 100 eólico. El parque 100 eólico incluye además una pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía integrados dentro o acoplados con la pluralidad de turbina 120 eólicas. En una realización, el parque 100 eólico comprende un parque eólico de tipo de almacenamiento distribuido, y al menos algunas de las turbinas 120 eólicas incluyen un elemento 130 de almacenamiento de energía integrado acoplado allí. El parque 100 eólico incluye un controlador 140 de parque eólico que controla una generación de potencia del parque 100 eólico. El controlador 140 de parque eólico incluye un procesador 142 de previsión que genera una previsión 144 de potencia de punto de base de nivel de parque (FLBPPF) para el parque 100 eólico. En una realización, la previsión 144 de potencia de punto de base de nivel de parque incluye una previsión 146 de potencia aérea de nivel de parque (FLAPF) y un ajuste 148 de previsión de nivel de parque (FLFA). En una realización específica, el parque 100 eólico incluye controladores 160 de turbina eólica para generar una pluralidad de previsiones 162 de potencia aérea de nivel de turbina para la pluralidad de turbinas 120 eólicas. La previsión 162 de potencia aérea de nivel de turbina para una turbina 120 eólica incluye una previsión de la potencia eólica que puede generarse por la turbina 120 eólica usando potencia eólica. En

una realización específica, la previsión 162 de potencia aérea de nivel de turbina se basa en los datos de potencia aérea histórica. En una realización más específica, el controlador 160 de turbina eólica genera la previsión 162 de potencia aérea de nivel de turbina usando un procedimiento de persistencia. El procesador 142 de previsión puede recibir la pluralidad de previsiones 162 de potencia aérea de nivel de turbina desde los controladores 160 de turbina eólica y genera la previsión 146 de potencia aérea de nivel de parque añadiendo las previsiones 162 de potencia aérea de nivel de turbina.

El controlador 160 de parque eólico también genera el ajuste 148 de previsión de nivel de parque para el parque 100 eólico. El controlador 140 de parque eólico recibe estados de carga 132 de la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía desde los controladores 160 de turbina eólica que a su vez reciben los estados de carga 132 desde una pluralidad de sistemas 170 de gestión de almacenamiento acoplados comunicativamente a los controladores 160 de turbina eólica. La pluralidad de sistemas 170 de gestión de almacenamiento puede rastrear los estados de carga 132 de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía. El controlador 140 de parque eólico recibe los estados de carga de la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía desde los sistemas 170 de gestión de almacenamiento y calcula un estado de carga promedio de la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía representados en una curva característica de caída del nivel de parque de la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía. En una realización, las curvas características de caída de los elementos 130 de almacenamiento de energía pueden determinarse basándose en un tipo del elemento 130 de almacenamiento de energía, un tamaño del parque 100 eólico, una clasificación del elemento 130 de almacenamiento de energía, una variabilidad del viento o combinaciones de los mismos. El controlador 140 de parque eólico genera además el ajuste 148 de previsión de nivel de parque basándose en el estado de carga promedio de la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía de manera que se llevan los estados de carga de la pluralidad de los elementos 130 de almacenamiento dentro de un límite de banda muerta de un estado de carga deseado.

En otra realización, los controladores 160 de turbina eólica pueden generar previsiones de potencia de punto de base de nivel de turbina (no se muestran) de las turbinas 120 eólicas respectivas. Las previsiones de potencia de punto de base de nivel de turbina pueden transmitirse al procesador 142 de previsión para generar la previsión 144 de potencia de punto de base de nivel de parque. El procesador 142 de previsión añade las previsiones de potencia de punto de base de nivel de turbina recibidas desde la pluralidad de turbinas 120 eólicas para generar la previsión 144 de potencia del punto de base de nivel de parque. Cada una de las previsiones de potencia de punto de base de nivel de turbina puede incluir la previsión 162 de potencia aérea de nivel de turbina de las respectivas turbinas 120 eólicas y un ajuste de previsión de nivel de turbina (no se muestra) calculado por el controlador 160 de turbina eólica. El controlador 160 de turbina eólica puede calcular el ajuste de previsión de nivel de turbina basándose en la curva de características de caída de nivel de turbina y ajusta la previsión 162 de potencia aérea de nivel de turbina usando el ajuste de previsión del nivel de turbina para generar la previsión de potencia de punto de base de nivel de turbina. Las previsiones de potencia de punto de base de nivel de turbina se transmiten desde cada una de las turbinas 120 eólicas al procesador 142 de previsión donde el procesador 142 de previsión añade las previsiones de potencia de punto de base de nivel de turbina para generar la previsión 144 de potencia de punto de base de nivel de parque.

En referencia a la FIGURA 2, una representación gráfica ejemplar de una curva 200 característica de caída ejemplar que representa el estado de carga promedio de los elementos 130 de almacenamiento de energía en el parque eólico (FIGURA 1) se muestra de acuerdo con una realización de la invención. El eje X 210 representa el estado de carga promedio de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía. El eje Y 220 representa una potencia de almacenamiento de nivel de parque de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía. La curva 230 representa un límite de banda muerta del estado de carga promedio. El límite de banda muerta puede definir un intervalo de umbral del estado de carga promedio de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía. La pendiente 240 representa una pendiente de potencia positiva, y la pendiente 250 representa una pendiente de potencia negativa. La pendiente de potencia positiva representa una condición donde la previsión de potencia de punto base de nivel de parque se ajusta de manera que la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía puede descargarse para proporcionar potencia de almacenamiento de nivel de parque a una red eléctrica (no se muestra). En comparación, la pendiente de potencia negativa representa una condición donde la previsión de potencia de punto base de nivel de parque se ajusta de manera que la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía son capaces de cargarse recibiendo la potencia de nivel de parque desde la red eléctrica o la turbina eólica (FIGURA 1). La pluralidad de elementos de almacenamiento de energía puede cargarse o descargarse para alcanzar un estado de carga objetivo representado por la flecha 260. El estado de carga objetivo puede definirse como una posición predefinida en el límite de banda muerta en el que el estado de carga promedio de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía se desea mantener. En una realización, el estado de carga promedio puede predeterminarse por un operario del parque eólico, y la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía puede configurarse por consiguiente para operarse basándose en el estado de carga objetivo. El estado de carga promedio puede representar una potencia 270 de almacenamiento de nivel de parque o una potencia 280 de almacenamiento de nivel de parque basándose en la posición del estado de carga promedio en la pendiente de potencia de nivel de parque positiva o la pendiente de potencia de nivel de parque negativa respectivamente. El controlador de parque eólico recibe los estados de carga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía y genera el ajuste de previsión de nivel de parque. El ajuste de previsión de nivel de parque se añade a la

previsión de potencia aérea de nivel de parque para generar la previsión de potencia de punto de base de nivel de parque. La previsión de potencia de punto de base de nivel de parque puede incrementar o disminuir basándose en la previsión de potencia positiva o la previsión de potencia negativa respectivamente.

Por ejemplo, la FIGURA 3 ilustra una representación 300 gráfica ejemplar de la previsión de potencia de punto de base de nivel de parque basándose en la posición del estado de carga promedio en la pendiente de potencia de nivel de parque positiva (FIGURA 2) durante los intervalos de tiempo T1 y T2. Para el fin de este ejemplo, el parque eólico puede incluir una turbina eólica y un elemento de almacenamiento de energía para generar la previsión de potencia de punto de base de nivel de parque. La representación gráfica 300 incluye un gráfico 330 que representa el estado de carga promedio de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía (FIGURA 1) durante el intervalo de tiempo T1 y T2. La representación gráfica 300 también incluye un gráfico 340 que corresponde al gráfico 330 que representa la previsión de potencia de punto de base de nivel de parque (FIGURA 1) durante los intervalos de tiempo T1 y T2. Los gráficos 330, 340 incluyen un eje X 332, 342 que representa el tiempo. El eje Y 334 en el gráfico 330 representa el estado de carga promedio, y el eje Y 344 en el gráfico 340 representa la previsión de potencia de punto de base de nivel de parque respectivamente. La sección 370 representa el límite de banda muerta del estado de carga promedio. La curva 380 representa el estado de carga promedio en relación con el tiempo.

El controlador 160 de parque eólico (FIGURA 1) determina un primer valor 390 representativo de aproximadamente cero coma cinco (0,5) como el estado de carga promedio de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía en el comienzo del intervalo de tiempo T1. Durante el intervalo de tiempo T1, si una potencia aérea de parque medida del parque eólico (FIGURA 1) es más de una primera potencia 400 de punto de base del nivel de parque prevista, el controlador de parque eólico (FIGURA 1) calcula una diferencia entre la potencia aérea de parque medida y la primera potencia 400 de punto de base de nivel de parque prevista. La primera potencia 400 de punto de base de nivel de parque prevista puede definirse como una potencia de punto de base de nivel de parque prevista para el intervalo de tiempo T1. El controlador de parque eólico controla la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía (FIGURA 1) para recibir una potencia diferencial entre la potencia aérea de parque medida y la primera potencia 400 de punto de base de nivel de parque prevista. La pluralidad de elementos de almacenamiento de energía absorbe la potencia diferencial debido a lo que el estado de carga promedio de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía se incrementa desde aproximadamente cero coma cinco (0,5) a un segundo valor de aproximadamente uno (1) representado por el número de referencia 410 al final del intervalo de tiempo T1.

Simultáneamente, el controlador de parque eólico genera una previsión de potencia aérea representada por el número de referencia 420 para el intervalo de tiempo T2 en el correspondiente gráfico 340. El controlador de parque eólico también obtiene los estados de carga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía en el final del intervalo de tiempo T1 y determina el estado de carga promedio en el final del intervalo de tiempo T1. Ya que el valor 410 que representa el estado de carga promedio es aproximadamente uno (1), el controlador de parque eólico identifica que la posición del estado de carga promedio está en la pendiente de potencia de nivel de parque positiva, y la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía puede descargarse para proporcionar potencia de almacenamiento de nivel de parque. A continuación, los términos "valor que representa el estado de carga promedio" y "la posición del estado de carga promedio" se usan de manera intercambiable ya que la posición del estado de carga promedio se representa por el valor que representa el estado de carga promedio. La cantidad de potencia de almacenamiento de nivel de parque que puede proporcionarse por la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía se calcula basándose en una diferencia entre un estado de carga 430 objetivo y un estado de carga promedio actual representado por la posición del estado de carga promedio. Adicionalmente, ya que el estado de carga promedio de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía es uno (1), la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía ha alcanzado una condición de saturación representada por la curva 440. La condición de saturación puede definirse como una condición en la que la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía en el parque eólico han alcanzado un límite de saturación de potencia de almacenamiento y por tanto ya no podrán almacenar la potencia diferencial que puede recibirse por la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía durante el intervalo de tiempo T2. Por tanto, el controlador de parque eólico (FIGURA 1) genera un ajuste 450 de previsión de nivel de parque para el intervalo de tiempo T2 que representa una condición para proporcionar potencia de almacenamiento de nivel de parque a la red eléctrica.

El controlador de parque eólico añade la previsión 420 de potencia aérea de nivel de parque y el ajuste 450 de previsión de nivel de parque para generar la previsión de potencia de punto de base de nivel de parque para el intervalo de tiempo T2 representado por 460 en el gráfico 340 correspondiente. La pluralidad de elementos de almacenamiento de energía proporciona la potencia de almacenamiento de nivel de parque descargando la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía y reduce el estado de carga promedio desde el valor 410 hacia la sección 370 del límite de banda muerta representado por la curva 470. El proceso antes mencionado puede repetirse continuamente para mantener el estado de carga dentro del límite de banda muerta y más particularmente en el estado de carga objetivo.

En referencia continuada a la FIGURA 1, el controlador 140 de parque eólico transmite además la previsión 144 de potencia de punto de base de nivel de parque a un operario 180 de sistema independiente (ISO). El operario de sistema independiente (ISO) puede definirse como una parte neutral responsable de la gestión y control de una red de transmisión eléctrica en un estado o región. El operario de sistema independiente opera un sistema de

transmisión eléctrica del que no es propietario y asegura la seguridad y fiabilidad del sistema de transmisión eléctrica con el fin de proporcionar acceso abierto a mercados minoristas y mayoristas para el suministro de potencia. El controlador 140 de parque eólico mide una potencia de punto de base de nivel de parque en un punto de interconexión a una red eléctrica (no se muestra) y calcula un error de parque eólico determinando una diferencia entre la previsión 144 de potencia de punto base de nivel de parque y la potencia de punto de base medida.

Durante la operación normal del parque 100 eólico, el controlador 140 de parque eólico puede determinar una potencia adicional que puede proporcionarse por el parque 100 eólico a la red eléctrica. La potencia adicional puede usarse para regular una frecuencia en la red eléctrica. El propietario del parque eólico puede enviar una oferta al operario 180 del sistema independiente especificando una cantidad de potencia adicional que el parque eólico puede proporcionar para regular la frecuencia de la red eléctrica. El operario 180 del sistema independiente puede generar el punto 182 de referencia de control de generación automática para el parque 100 eólico basándose en la oferta y transmite el punto 182 de referencia de control de generación automática al parque 100 eólico después de variaciones en la frecuencia. En una realización, el punto 182 de referencia de control de generación automática puede generarse basándose en un punto de referencia de control de frecuencia de red y un punto de referencia de potencia de conmutador privado. En una realización más específica, el punto de referencia de control de frecuencia de red puede incluir un punto de referencia para proporcionar la potencia de almacenamiento para un error de frecuencia de nivel de red que puede generarse debido a otros generadores, incluyendo parques eólicos que se gestionan por el operario 180 del sistema independiente.

Además, el punto 182 de referencia de control de generación automática se basa en el punto de referencia de potencia de línea privada. En situaciones donde se acopla una red eléctrica a áreas de control de potencia adyacentes, la red eléctrica debe realizar un intercambio de potencia con las otras áreas de control en intervalos de tiempo preprogramados para una cantidad programada de exportación/importación de potencia específica. El operario 180 del sistema independiente puede generar el punto 182 de referencia de control de generación automática basándose en un error de frecuencia de nivel de red y un error de potencia de línea privada. El operario 180 del sistema independiente transmite el punto 182 de referencia de control de generación automática al controlador 140 de parque eólico, y el controlador 140 de parque eólico controla la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía para proporcionar la potencia de almacenamiento basándose en el punto de referencia de control de generación automática.

En algunas realizaciones, la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía pueden usarse para proporcionar potencia de almacenamiento para cumplir exclusivamente el punto 182 de referencia de control de generación automática sin participar en el ajuste 148 de previsión para generar la previsión 144 de potencia de punto de base de nivel de parque. En tal realización, el controlador 140 de parque eólico comunica el punto 182 de referencia de control de generación automática a la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía para cumplir el punto 182 de referencia de control de generación automática.

El controlador 140 de parque eólico recibe el punto 182 de referencia de control de generación automática y genera un punto de referencia de potencia de almacenamiento de nivel de parque para la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía. El punto 182 de referencia de control de generación automática incluye un valor de una potencia demandada desde el parque 100 eólico. El controlador 140 de parque eólico obtiene el valor de la potencia demandada y genera el punto de referencia de potencia de almacenamiento de nivel de parque basándose en el valor de la potencia demandada. El controlador 140 de parque eólico genera además puntos 134 de referencia de potencia de almacenamiento individuales para cada uno de los elementos 130 de almacenamiento de energía basándose en los estados de carga de la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía y transmite los puntos 134 de referencia de potencia de almacenamiento individuales a los controladores 160 de turbina eólica. Los puntos 134 de referencia de potencia de almacenamiento pueden generarse para equilibrar los estados de carga de los elementos 130 de almacenamiento de energía. En una realización, el equilibrio de los estados de carga puede incluir igualar los estados de carga de los elementos 130 de almacenamiento de energía.

La FIGURA 4 es una representación 500 gráfica ejemplar de un ejemplo de estados de carga de dos elementos de almacenamiento de energía en el parque 100 eólico que representa descarga de potencia desde los elementos de almacenamiento de energía de acuerdo con una realización de la invención. El eje X 510 representa los elementos de almacenamiento de energía. El eje Y 520 representa estados de carga de un primer elemento de almacenamiento de energía (ESE_1) y un segundo elemento de almacenamiento de energía (ESE 2). En este ejemplo, el primer elemento de almacenamiento de energía y el segundo elemento de almacenamiento de energía tienen una energía nominal de cien kilovatios hora cada uno. Se asume que un primer estado de carga 530 del primer elemento de almacenamiento de energía es cero coma siete (0,7) y un primer estado de carga 540 del segundo elemento de almacenamiento de energía es cero coma cinco (0,5). Por tanto, la energía de almacenamiento disponible en el primer elemento de almacenamiento de energía y el segundo elemento de almacenamiento de energía puede incluir setenta kilovatios hora y cincuenta kilovatios hora respectivamente. Un controlador de parque eólico recibe un punto de referencia de control de generación automática que incluye una potencia de almacenamiento de nivel de parque de treinta kilovatios. El controlador de parque eólico puede generar un primer punto de referencia de potencia de almacenamiento individual para el primer elemento de almacenamiento de energía para proporcionar veinticinco (25) kilovatios de potencia y un segundo punto de referencia de potencia de almacenamiento individual para el segundo elemento de almacenamiento de energía para proporcionar cinco (5)

kilovatios de potencia de almacenamiento. Por tanto, el primer y segundo elemento de almacenamiento de energía pueden proporcionar colectivamente treinta kilovatios de potencia de almacenamiento para cumplir el punto de referencia de control de generación automática. Basándose en los puntos de referencia de potencia de almacenamiento individuales, un segundo estado de carga 550 del primer elemento de almacenamiento de energía y el segundo estado de carga 560 del segundo elemento de almacenamiento de energía pueden alcanzar un estado de carga igual representando cero coma cuatro cinco (0,45). De manera similar, el controlador de parque eólico puede generar los puntos de referencia de potencia de almacenamiento individuales para un número "n" de elementos de almacenamiento de energía en el parque eólico basándose en las relaciones de los estados de carga de los elementos de almacenamiento de energía.

Diversos procedimientos pueden aplicarse por el controlador 140 de parque eólico para generar los puntos 134 de referencia de potencia de almacenamiento individuales. Tales procedimientos pueden depender de diferentes mecanismos de control que pueden usarse para controlar la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía para enviar la potencia de almacenamiento para cumplir con la potencia demandada. En una realización, por ejemplo, el controlador 140 de parque eólico puede emplear un procedimiento de envío óptimo agresivo para determinar los puntos 134 de referencia de potencia de almacenamiento individuales.

El procedimiento de envío óptimo agresivo incluye un programa cuadrático que se usa para enviar potencia de almacenamiento para cumplir una demanda de potencia de nivel de parque identificada basándose en los puntos 182 de referencia de control de generación automática. El procedimiento de envío óptimo agresivo también iguala los estados de carga de la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía. Una función de objeción del programa cuadrático puede establecerse como:

$$K_1[PD_MW(t) - \sum_{i=1}^N ESE_P_i(t)]^2 - K_2[-\sum_{i=1}^N \alpha_i ESE_P_i(t) + \sum_{i=1}^N \beta_i ESE_P_i(t)]$$

donde $PD_MW(t)$ es la demanda de potencia de nivel de parque, $ESE_P_i(t)$ es la respuesta de potencia de almacenamiento para un elemento de almacenamiento de energía "i" en el momento "t", K_1 , K_2 son factores de ponderación para costes de objetivo individuales, N es un número de elementos de almacenamiento de energía en el parque eólico y α_i , β_i son factores de ponderación para carga y descarga de los elementos de almacenamiento de energía "i" respectivamente. En una realización, las funciones objetivas para K_1 , K_2 pueden incluir el punto de referencia de demanda de potencia de nivel de parque y la igualación de estados de carga respectivamente. Una solución de envío óptima para los procedimientos de envío puede obtenerse minimizando las funciones objetivas. Además, el factor de ponderación K_1 puede asignarse a un valor superior con respecto a K_2 para asegurar que el punto de referencia de demanda de potencia de nivel de parque recibe prioridad sobre la igualación de estados de carga. Adicionalmente, un signo negativo puede representar una potencia de carga y un signo positivo puede representar una potencia de descarga en el programa cuadrático. Además, el factor de ponderación α_i representa un coeficiente de carga, y el factor de ponderación β_i representa un coeficiente de descarga, donde α_i , β_i pueden representarse como:

$$\alpha_i = \frac{1 - SOC_i(t - 1)}{\sum_{i=1}^N 1 - SOC_i(t - 1)}$$

$$\beta_i = \frac{SOC_i(t - 1)}{\sum_{i=1}^N SOC_i(t - 1)}$$

donde SOC_i representa un estado de carga del elemento de almacenamiento de energía "i" y (t - 1) representa un intervalo de tiempo previo con respecto al intervalo de tiempo "t".

El controlador 140 de parque eólico también puede usar una o más restricciones además de los diversos procedimientos de cálculo de envío. En una realización, la pluralidad de restricciones pueden incluir límites de potencia del elemento de almacenamiento de energía, límites de estado de carga del elemento de almacenamiento de energía, restricciones de turbina eólica, una restricción de enlace de estado de carga, o combinaciones de los mismos. Además, el controlador 140 de parque eólico también puede elegir operar todos los elementos de almacenamiento de energía en un estado de utilización particular. Por ejemplo, si se requiere potencia desde la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía, el controlador 140 de parque eólico puede asegurar solo la operación de descarga desde todos los elementos de almacenamiento de energía ajustando los coeficientes de carga α_i para todos los elementos de almacenamiento de energía a 0.

Los límites de potencia del elemento de almacenamiento de energía pueden representarse como

$$ESE_{P_{carga}} \leq ESE_{P_i}(t) \leq ESE_{P_{descarga}}$$

La restricción de límite de potencia representa que una potencia de almacenamiento enviable en cualquier elemento de almacenamiento de energía en cualquier intervalo de tiempo ($ESE_{P_i}(t)$) puede ser igual o mayor a una potencia disponible para cargar el elemento de almacenamiento de energía ($ESE_{P_{carga}}$) y puede ser menor o igual a una potencia disponible para descarga en el elemento de almacenamiento de energía ($ESE_{P_{descarga}}$).

La restricción de estado de carga puede representarse como:

$$SOC_{bajo} \leq SOC_i(t) \leq SOC_{alto}$$

donde $SOC_i(t)$ representa un estado de carga del elemento de almacenamiento de energía 'i' en el intervalo de tiempo 't', SOC_{bajo} representa un estado de carga más bajo predefinido del elemento de almacenamiento de energía, SOC_{alto} representa un estado de carga más alto predefinido del elemento de almacenamiento de energía. El estado de carga del elemento de almacenamiento de energía 'i' en el tiempo 't' será siempre igual o mayor a un estado de carga más bajo predefinido del elemento de almacenamiento de energía y será menor o igual a un estado de carga más alto predefinido del elemento de almacenamiento de energía.

En una realización, las restricciones de turbina eólica pueden incluir una restricción relacionada con una potencia nominal de una turbina eólica. Un convertidor de lado de línea de la turbina eólica es nominal para una potencia particular y una potencia total que puede generarse por la turbina eólica en un intervalo de tiempo no puede ser mayor que una clasificación de potencia del convertidor de lado de línea y a su vez la potencia nominal de la turbina eólica. Las restricciones de turbina eólica pueden representarse como:

$$PTurb_i(t - 1) + ESE_{P_i}(t) \leq PTurb_{Clasificación_i}$$

donde $PTurb_i(t - 1)$ representa una potencia aérea generada por la turbina eólica, $ESE_{P_i}(t)$ representa una potencia de almacenamiento del elemento de almacenamiento de energía en la turbina eólica, y $PTurb_{Clasificación_i}$ es la clasificación de potencia de la turbina eólica.

La restricción de enlace de estado de carga representa una variación de potencia de almacenamiento entre dos intervalos de tiempo que incluyen dos estados de carga diferentes. La restricción de enlace de estado de carga puede representarse como:

$$ESE_{P_i}(t) = [SOC_i(t - 1) - SOC_i(t)] \frac{ESE_{E_{Clasificación_i}} * 3600}{\Delta t}$$

donde $ESE_{P_i}(t)$ representa una potencia de almacenamiento del elemento de almacenamiento de energía 'i', $SOC_i(t)$ representa un estado de carga en el intervalo de tiempo 't', $SOC_i(t - 1)$ representa un estado de carga en un intervalo de tiempo previo, $ESE_{E_{Clasificación_i}}$ representa una clasificación del elemento de almacenamiento de energía y Δt es una diferencia de tiempo entre el intervalo de tiempo (t) y el intervalo de tiempo previo (t - 1).

El procedimiento de envío óptimo agresivo asegura que los elementos de almacenamiento de energía con coeficientes de carga o descarga mayores se carguen o descarguen respectivamente antes del control de un elemento de almacenamiento de energía con menores coeficientes de carga o descarga. Tal procedimiento iguala los estados de carga a un ritmo posible más rápido y conduce a una igualación temprana de estados de carga del elemento de almacenamiento de energía.

La FIGURA 5 es una representación gráfica simulada ejemplar de estados de carga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía sobre un período de tiempo empleando el procedimiento de envío óptimo agresivo de acuerdo con una realización de la invención. El eje X representa un tiempo en segundos. El eje Y representa un estado de carga. La curva 630 representa un estado de carga del primer elemento de almacenamiento de energía. La curva 640 representa un estado de carga de un segundo elemento de almacenamiento de energía. La curva 650 representa un estado de carga de un tercer elemento de almacenamiento de energía. La curva 660 representa un estado de carga de un cuarto elemento de almacenamiento de energía. La curva 670 representa un estado de carga igualado de los cuatro elementos de almacenamiento de energía. Los estados de carga de los cuatro elementos de almacenamiento de energía se igualan en el punto 680 representando un tiempo de igualación de alrededor de quinientos sesenta y dos segundos y permanecen igualados para el resto del período de tiempo.

En otra realización, el controlador 140 de parque eólico controla el envío de potencia de almacenamiento desde la

pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía generando los puntos de referencia de potencia de almacenamiento individuales basándose en un procedimiento de envío óptimo no agresivo. En esta realización, el estado de carga de los elementos 130 de almacenamiento de energía se iguala gradualmente sobre un período de tiempo cuando se comparan con el procedimiento de envío óptimo agresivo. En esta realización, la demanda de potencia de nivel de parque se obtiene proporcionalmente desde cada uno de la pluralidad de elementos 130 de elementos de energía basándose en los estados de carga de la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía. Tal realización proporciona una vida útil mejorada para la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía con respecto a un procedimiento de envío óptimo agresivo. El procedimiento de envío óptimo no agresivo también incluye un programa cuadrático y puede representarse como:

$$K_1 \left[PD_MW(t) - \sum_{i=1}^N ESE_P_i(t) \right]^2 - K_2 [Espaciado1_{pos(t)} + Espaciado1_{neg(t)} + Espaciado2_{pos(t)} + Espaciado2_{neg(t)}]$$

donde $PD_MW(t)$ es la demanda de potencia de nivel de parque, $ESE_P_i(t)$ es la respuesta de potencia de almacenamiento para un elemento de almacenamiento de energía 'i' en el momento 't', K_1 , K_2 son factores de ponderación para costes de objetivo individuales, N es un número de elementos de almacenamiento de energía en el parque eólico. Las variables $Espaciado1_{pos(t)}$ y $Espaciado1_{neg(t)}$ representan una variable de espaciado positiva y una variable de espaciado negativa respectivamente para cargar la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía basándose en los estados de carga. Además, las variables $Espaciado2_{pos(t)}$ y $Espaciado2_{neg(t)}$ representan la suma de variable de espaciado positiva y variable de espaciado negativa respectivamente para descargar la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía basándose en los estados de carga de la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía. En una realización, una variable de espaciado puede definirse como una variable que se añade a una restricción de desigualdad para transformarla en igualdad. La variable de espaciado se introduce para sustituir una restricción de desigualdad por una restricción de igualdad y una restricción de no negatividad.

En una realización, las restricciones de límite de potencia pueden modificarse para incluir la variable de espaciado para determinar la potencia de almacenamiento en la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía. Las restricciones modificadas aseguran la asignación proporcionada de la potencia de demanda de nivel de parque para la pluralidad de elementos 130 de almacenamiento de energía. La potencia de almacenamiento que puede proporcionarse mediante un elemento de almacenamiento de energía durante una descarga puede determinarse por:

$$ESE_P_i(t) = \beta_i * PD_MW(t) + Espaciado2_{pos(t)} - Espaciado2_{neg(t)}$$

donde β_i es el coeficiente de descarga para la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía, $PD_MW(t)$ es la demanda de potencia de nivel de parque, $ESE_P_i(t)$ es la respuesta de potencia de almacenamiento para un elemento de almacenamiento de energía 'i' en el momento 't'. Las variables $Espaciado2_{pos(t)}$ y $Espaciado2_{neg(t)}$ representan una variable de espaciado positiva y una variable de espaciado negativa respectivamente para descargar el elemento de almacenamiento 'i' basándose en los estados de carga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía.

La potencia de almacenamiento que puede recibirse mediante el elemento de almacenamiento de energía durante la carga puede determinarse por:

$$ESE_P_i(t) = \alpha_i * PD_MW(t) + Espaciado1_{pos(t)} - Espaciado1_{neg(t)}$$

donde α_i es un coeficiente de carga para el elemento de almacenamiento 'i', $PD_MW(t)$ es la demanda de potencia de nivel de parque, $ESE_P_i(t)$ es una respuesta de potencia de almacenamiento para un elemento de almacenamiento de energía 'i' en el momento 't'. Las variables $Espaciado1_{pos(t)}$ y $Espaciado1_{neg(t)}$ representan una variable de espaciado positiva y una variable de espaciado negativa respectivamente para cargar el elemento de almacenamiento 'i' basándose en los estados de carga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía.

La FIGURA 6 es una representación 700 ejemplar gráfica simulada de estados de carga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía sobre un período de tiempo empleando el procedimiento de envío óptimo no agresivo de acuerdo con una realización de la invención. El eje X 710 representa un tiempo en segundos. El eje Y 720 representa un estado de carga. La curva 730 representa un estado de carga de un primer elemento de

almacenamiento de energía. La curva 740 representa un estado de carga de un segundo elemento de almacenamiento de energía. La curva 750 representa un estado de carga de un tercer elemento de almacenamiento de energía. La curva 760 representa un estado de carga de un cuarto elemento de almacenamiento de energía. La curva 770 representa un estado de carga igualado de los cuatro elementos de almacenamiento de energía. Los estados de carga de los cuatro elementos de almacenamiento de energía se igualan en el punto 780 que representa un tiempo de igualación alrededor de seis mil doscientos setenta y nueve segundos y permanecen igualados para el resto del período de tiempo.

En otra realización para obtener puntos 134 de referencia de potencia de almacenamiento individuales, el programa cuadrático puede simplificarse a una formulación lineal. La simplificación del programa cuadrático a un programa lineal puede lograrse convirtiendo la función de requisito de demanda en una restricción y definiendo las variables de espaciado no negativas como parte de la restricción y a su vez penalizando la función objetivo con las variables de espaciado. Por ejemplo, una formulación lineal del procedimiento de envío óptimo agresivo puede representarse como:

$$K_1 [PD_espaciado1(t) + PD_espaciado2(t)] - K_2 \left[\sum_{i=1}^N \alpha_i ESE_P_i(t) + \sum_{i=1}^N \beta_i ESE_P_i(t) \right]$$

donde $PD_espaciado1(t)$ es una variable de espaciado que modela un error positivo en la demanda de potencia de nivel de parque, $PD_espaciado2(t)$ es una variable de espaciado que modela un error negativo en la demanda de potencia de nivel de parque, $ESE_P_i(t)$ es una respuesta de potencia de almacenamiento para un elemento de almacenamiento de energía 'i' en el momento 't', K_1 , K_2 son factores de ponderación para costes objetivo individuales, N es un número de elementos de almacenamiento de energía en el parque eólico y α_i , β_i son factores de ponderación para cargar y descargar los elementos de almacenamiento de energía respectivamente. En una realización, las funciones objetivo para K_1 , K_2 pueden incluir el punto de referencia de demanda de potencia de nivel de parque e igualación de estados de carga respectivamente. Además, al factor de ponderación K_1 se asigna a un valor superior con respecto a K_2 para asegurar que el punto de referencia de demanda de potencia de nivel de parque recibe prioridad sobre la igualación de los estados de carga.

Todavía en otra realización para obtener puntos de referencia de potencia de almacenamiento individuales, una formulación lineal del procedimiento de envío óptimo no agresivo puede representarse como:

$$K_1 [PD_espaciado1(t) + PD_espaciado2(t)] - K_2 [Espaciado1_{pos(t)} + Espaciado1_{neg(t)} + Espaciado2_{pos(t)} + Espaciado2_{neg(t)}]$$

donde $PD_espaciado1(t)$ es una variable de espaciado que modela un error positivo en la demanda de potencia de nivel de parque, $PD_espaciado2(t)$ es una variable de espaciado que modela un error negativo en la demanda de potencia de nivel de parque, K_1 , K_2 son factores de ponderación para costes objetivo individuales. En una realización, las funciones objetivo para K_1 , K_2 pueden incluir el punto de referencia de demanda de potencia de nivel de parque e igualación de estados de carga respectivamente. Además, el factor de ponderación K_1 se asigna a un valor superior con respecto a K_2 para asegurar que el punto de referencia de demanda de potencia de nivel de parque recibe prioridad sobre la igualación de estados de carga. Las variables $Espaciado1_{pos(t)}$ y $Espaciado1_{neg(t)}$ representan una variable de espaciado positiva y una variable de espaciado negativa respectivamente para cargar la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía basándose en los estados de carga. Además, las variables $Espaciado2_{pos(t)}$ y $Espaciado2_{neg(t)}$ representan una variable de espaciado positiva y una variable de espaciado negativa respectivamente para descargar la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía basándose en los estados de carga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía.

La formulación lineal también puede emplear restricciones adicionales para enviar la potencia de almacenamiento. Las restricciones adicionales pueden incluir que la variable de espaciado para el error positivo en la demanda de potencia de nivel de parque ($PD_espaciado1(t)$) y la variable de espaciado para el error negativo en la demanda de potencia de nivel de parque ($PD_espaciado2(t)$) son mayores que o iguales a cero. La formulación lineal también incluye una restricción en la demanda de potencia de nivel de parque que puede representarse como:

$$PD_MW(t) = \sum_{i=1}^N ESE_P_i(t) + PD_espaciado1(t) - PD_espaciado2(t)$$

donde $PD_MW(t)$ representa una demanda de potencia de nivel de parque en el tiempo 't', $ESE_P_i(t)$ representa una

potencia de almacenamiento del elemento de almacenamiento de energía 'i', $PD_espaciado1(t)$ representa la variable de espaciado para el error positivo en la demanda de potencia de nivel de parque y $PD_espaciado2(t)$ representa la variable de espaciado para el error negativo en la demanda de potencia de nivel de parque.

La FIGURA 7 es un diagrama de flujo que representa etapas realizadas para controlar los elementos de almacenamiento de energía usando un procedimiento 800 de envío iterativo de acuerdo con una realización de la invención. En la etapa 810, se determina si una demanda de potencia de almacenamiento de nivel de parque es igual a cero. La demanda de potencia de almacenamiento de nivel de parque es cero si un error entre una demanda de potencia de nivel de parque y una potencia de punto de base medida del parque eólico es cero. En el caso de que la demanda de potencia de almacenamiento de nivel de parque sea cero, se identifica que la potencia de almacenamiento requerida desde el elemento de almacenamiento de energía es igual a cero en la etapa 820 y el procesamiento se detiene en la etapa 830.

Si la demanda de potencia de almacenamiento de nivel de parque no es igual a cero, se determina si la demanda de potencia de almacenamiento de nivel de parque es mayor que cero o menor que cero en la etapa 840. Si la demanda de potencia de almacenamiento de nivel de parque es menor que cero, el procedimiento 800 se mueve a la etapa 850 para cargar el elemento de almacenamiento de energía, y si la demanda de potencia de almacenamiento de nivel de parque es mayor que cero, el procedimiento 800 se mueve a la etapa 860 para descargar el elemento de almacenamiento de energía.

En la etapa 860, los límites de potencia de descarga de los elementos de almacenamiento de energía se calculan. Los límites de potencia de descarga se calculan basándose en estados de carga de los elementos de almacenamiento de energía. En la etapa 870, los factores de descarga para los elementos de almacenamiento de energía se calculan basándose en factores de ponderación. Los factores de ponderación se calculan usando los estados de carga de los elementos de almacenamiento de energía. Además, en la etapa 880, una primera potencia de descarga inicial que puede proporcionarse por los elementos de almacenamiento de energía se calcula usando los factores de descarga y los límites de potencia de descarga. En una realización, la primera potencia de descarga inicial puede generarse calculando un producto de los factores de descarga y los límites de potencia de descarga para cada uno de los elementos de almacenamiento de energía. En la siguiente etapa 890, una diferencia entre la primera potencia de descarga inicial y la demanda de potencia de almacenamiento de nivel de parque se calcula para proporcionar un déficit. Se determina si el déficit es mayor que cero en la etapa 900. Si el déficit es mayor que cero, el controlador de parque eólico actualiza las potencias de descarga inicial utilizando los factores de descarga, los límites de descarga y la demanda de potencia de nivel de parque en la etapa 910 y termina el proceso en la etapa 920. Sin embargo, si el déficit es menor que cero, el procedimiento asigna un factor de escala para la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía en la etapa 930.

La FIGURA 8 es una continuación del diagrama de flujo de la FIGURA 7 que representa etapas realizadas por el controlador de parque eólico para controlar los elementos de almacenamiento de energía usando un procedimiento 800 de envío iterativo de acuerdo con una realización de la invención. El procedimiento 800 incluye además la etapa 940 donde se determina si el déficit está dentro de un intervalo de umbral. Si el déficit está dentro del intervalo de umbral, el procesamiento se detiene en la etapa 950. Al contrario, si el déficit está fuera del intervalo de umbral, en la etapa 960 una demanda de potencia de descarga de déficit se distribuye proporcionalmente a la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía para compensar el déficit. En una realización, una segunda potencia de descarga inicial se determina desde una diferencia entre la primera potencia de descarga inicial de cada una de la pluralidad de turbinas eólicas y la demanda de potencia de descarga de déficit desde los elementos de almacenamiento de energía. La segunda potencia de descarga inicial se compara con los límites de descarga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía en la etapa 970. Si la segunda potencia de descarga inicial es menor que el límite de descarga de cada uno de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía, el controlador de parque eólico mantiene el factor de escala asignado en la etapa 980.

Sin embargo, si la segunda potencia de descarga inicial es mayor que el límite de descarga, el controlador del parque eólico ajusta la segunda potencia de descarga inicial igual al límite de descarga y ajusta el factor de escala de los elementos de almacenamiento de energía que han alcanzado sus límites de descarga a cero en la etapa 990. En una realización, el límite de descarga puede controlar los elementos de almacenamiento de energía para enviar potencia de almacenamiento igual a la potencia descargable. El procedimiento 800 se mueve además a una etapa común 1000 desde las etapas 980 y 990 en la que el controlador del parque eólico determina un déficit calculando una diferencia entre la segunda potencia de descarga inicial y la demanda de potencia de almacenamiento de nivel de parque. El procedimiento 800 se mueve además a la etapa 940 para determinar si el déficit está dentro del intervalo de umbral. El procedimiento 800 repite además las etapas 950-1000 basándose en el déficit hasta que el déficit está dentro del intervalo de umbral.

De manera similar, si la demanda de potencia de almacenamiento de nivel de parque es menor que cero en la etapa 840, en la etapa 850, las etapas 860-1000 pueden aplicarse para cargar la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía. Las etapas 860 a 1000 se ejecutan sustituyendo los coeficientes de descarga por coeficientes de carga en estas etapas.

La FIGURA 9 es un diagrama de flujo que representa etapas implicadas en un procedimiento 1100 para controlar la

pluralidad de elementos de almacenamiento de energía en un parque eólico de acuerdo con una realización de la invención. El procedimiento 1100 implica recibir un punto de referencia de control de generación automática desde un operario de sistema independiente en la etapa 1110. En una realización, una previsión de potencia de punto de base de nivel de parque para el parque eólico se genera antes de recibir el punto de referencia de control de generación automática. En una realización específica, una previsión de potencia aérea de nivel de parque y un ajuste de previsión de nivel de parque se generan para el uso al determinar la previsión de potencia de punto de base de nivel de parque. En una realización más específica, la previsión de potencia aérea de nivel de parque se genera añadiendo una pluralidad de previsiones de potencia aérea recibidas desde una pluralidad de controladores de turbina eólica de las respectivas turbinas eólicas. En otra realización, un estado de carga promedio de una pluralidad de elementos de almacenamiento de energía se calcula para generar el ajuste de previsión de nivel de parque. En una realización específica, los estados de carga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía se obtienen para calcular el estado de carga promedio de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía. En otra realización, la previsión de potencia de punto de base de nivel de parque se genera añadiendo las previsiones de potencia de punto de base de nivel de turbina. En una realización específica, las previsiones de potencia de punto de base de nivel de turbina se generan basándose en la previsión de potencia aérea de nivel de turbina y el ajuste de previsión de nivel de turbina generado por el controlador de turbina eólica. En una realización más específica, la previsión de potencia aérea de nivel de turbina se ajusta usando el ajuste de previsión de nivel de turbina para generar la previsión de potencia de punto de base de nivel de turbina. En una realización, el ajuste de previsión de nivel de turbina se genera mediante el controlador de turbina eólica basándose en el estado de carga de los elementos de almacenamiento de energía de la respectiva turbina eólica. El procedimiento 1100 también incluye generar un punto de referencia de potencia de almacenamiento de nivel de parque para el parque eólico basándose en el punto de referencia de control de generación automática en la etapa 1120. En una realización, un error de parque eólico se calcula basándose en la previsión de potencia de punto de base de nivel de parque y una potencia aérea de nivel de parque medida, antes de generar el punto de referencia de potencia de almacenamiento de nivel de parque. El procedimiento 1100 incluye además generar unos puntos de referencia de potencia de almacenamiento individuales para la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía basándose en los estados de carga de los respectivos elementos de almacenamiento de energía en la etapa 1130. En una realización, los puntos de referencia de potencia de almacenamiento individuales se generan basándose en los estados de carga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía para equilibrar los estados de carga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía basándose en curvas características de caída de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía. En una realización específica, los estados de carga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía se igualan para equilibrar los estados de carga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía. El procedimiento 1100 también incluye controlar la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía basándose en los puntos de referencia de potencia de almacenamiento individuales para realizar un control de generación automática en la etapa 1140.

Debe entenderse que un experto en la materia reconocerá la intercambiabilidad de diversas características desde diferentes realizaciones y que las diversas características descritas, así como otros equivalentes conocidos para cada característica, pueden mezclarse y coincidir mediante un experto en la materia para construir sistemas y técnicas adicionales de acuerdo con los principios de la divulgación. Por tanto, debe entenderse que las reivindicaciones adjuntas pretenden cubrir todas esas modificaciones y cambios que entran dentro del espíritu auténtico de la invención.

Aunque solo algunas características de la invención se han ilustrado y descrito en este documento, muchas modificaciones y cambios se les ocurrirán a los expertos en la materia. Por tanto, debe entenderse que las reivindicaciones adjuntas pretenden cubrir todas esas modificaciones y cambios que entran dentro del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (1100) para control automático de generación de potencia en un parque eólico que comprende:

recibir (1110) un valor de consigna de control automático de generación de potencia desde un operario (180) de sistema independiente;

5 generar (1120) un valor de consigna de potencia de almacenamiento a nivel de parque para el parque eólico basándose en el valor de consigna de control automático de generación usando un controlador (140) de parque eólico;

10 generar (1130) valores de consigna de potencia de almacenamiento individuales para una pluralidad de elementos (130) de almacenamiento de energía acoplados a una pluralidad de turbinas eólicas usando el controlador de parque eólico, en el que los valores de consigna de potencia de almacenamiento individuales se generan basándose en estados de carga de los respectivos elementos (130) de almacenamiento de energía; y controlar (1140) la pluralidad de elementos (130) de almacenamiento de energía basándose en los valores de consigna de potencia de almacenamiento individuales para enviar potencia de almacenamiento para realizar el control automático de generación, **caracterizado porque:**

15 enviar potencia de almacenamiento para realizar el control automático de generación comprende enviar potencia de almacenamiento basándose en un procedimiento de envío óptimo agresivo o un procedimiento de envío óptimo no agresivo, en el que enviar potencia de almacenamiento basándose en el procedimiento de envío óptimo agresivo comprende cargar o descargar elementos (130) de almacenamiento de energía con coeficientes de carga o descarga mayores respectivamente antes de los elementos (130) de almacenamiento de energía con coeficientes de carga o descarga menores, y en el que enviar potencia de almacenamiento basándose en el procedimiento de envío óptimo no agresivo comprende enviar potencia de almacenamiento proporcionalmente desde la pluralidad de elementos (130) de almacenamiento de energía, basándose en sus respectivos estados de carga.

25 2. El procedimiento (1100) de la reivindicación 1, que comprende además antes de recibir el valor de consigna de control automático de generación, generar un pronóstico de potencia de punto de base a nivel de parque para el parque eólico.

30 3. El procedimiento (1100) de la reivindicación 2, en el que generar el pronóstico de potencia de punto de base a nivel de parque comprende generar un pronóstico de potencia de aire a nivel de parque y un ajuste de pronóstico a nivel de parque, y en el que generar el pronóstico de potencia de aire a nivel de parque comprende añadir una pluralidad de pronósticos de potencia de aire a nivel de turbina recibidos desde una pluralidad de controladores de turbina eólica de las respectivas turbinas eólicas, y generar el ajuste del pronóstico a nivel de parque comprende calcular un estado de carga promedio de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía.

35 4. El procedimiento (1100) de cualquier reivindicación anterior, en el que generar los valores de consigna de potencia de almacenamiento individuales basándose en los estados de carga de los respectivos elementos (130) de almacenamiento de energía comprende además igualar los estados de carga de la pluralidad de elementos de almacenamiento de energía.

5. Un sistema (100) para control automático de generación de potencia en un parque eólico que comprende:

una pluralidad de turbinas eólicas;

40 una pluralidad de elementos (130) de almacenamiento de energía integrados en o acoplados con unos respectivos de la pluralidad de turbinas eólicas;

un controlador (140) de parque eólico para controlar la pluralidad de elementos (130) de almacenamiento de energía, en el que el controlador de parque eólico está configurado para ejecutar las etapas de:

recibir un valor de consigna de control automático de generación de potencia desde un operario (180) de sistema independiente;

45 generar un valor de consigna de potencia de almacenamiento a nivel de parque para el parque eólico basándose en el valor de consigna de control automático de generación;

50 generar valores de consigna de potencia de almacenamiento individuales para la pluralidad de elementos (130) de almacenamiento de energía basándose en estados de carga de los respectivos elementos (130) de almacenamiento de energía; y controlar la pluralidad de elementos (130) de almacenamiento de energía basándose en los valores de consigna de potencia de almacenamiento individuales para enviar potencia de almacenamiento para realizar el control automático de generación, **caracterizado porque:**

55 enviar potencia de almacenamiento para realizar el control automático de generación comprende enviar potencia de almacenamiento basándose en un procedimiento de envío óptimo agresivo o un procedimiento de envío óptimo no agresivo, en el que enviar potencia de almacenamiento basándose en el procedimiento de envío óptimo agresivo comprende cargar o descargar elementos (130) de almacenamiento de energía con coeficientes de carga o descarga superiores respectivamente antes de elementos (130) de almacenamiento de energía con coeficientes de carga o descarga inferiores, y en el que enviar potencia de almacenamiento basándose en el procedimiento de envío óptimo no agresivo

comprende enviar potencia de almacenamiento proporcionalmente desde la pluralidad de elementos (130) de almacenamiento de energía, basándose en sus respectivos estados de carga.

- 5 6. El sistema (100) de la reivindicación 5, en el que el controlador (140) de parque eólico comprende un procesador de pronósticos para generar un pronóstico de potencia de punto de base a nivel de parque para el parque eólico, antes de recibir el valor de consigna de control automático de generación.
7. El sistema (100) de la reivindicación 5 o la reivindicación 6, que comprende además controladores de turbina eólica para generar una pluralidad de pronósticos de potencia de aire a nivel de turbina para la pluralidad de turbinas eólicas.
- 10 8. El sistema (100) de cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que el valor de consigna de potencia de almacenamiento a nivel de parque se genera además basándose en un error de parque eólico.
9. El sistema (100) de la reivindicación 6, en el que el controlador (140) de parque eólico calcula un error de parque eólico basándose en el pronóstico de potencia de punto de base a nivel de parque y una potencia de punto de base medida.

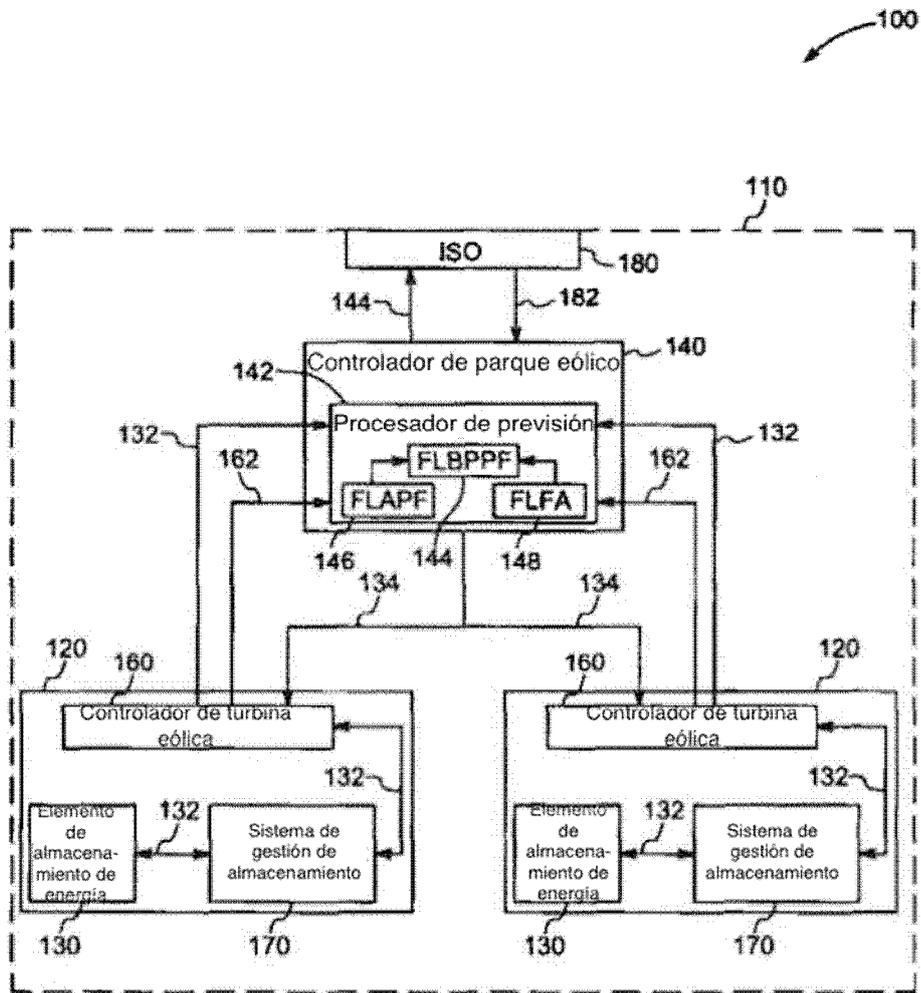


FIG. 1

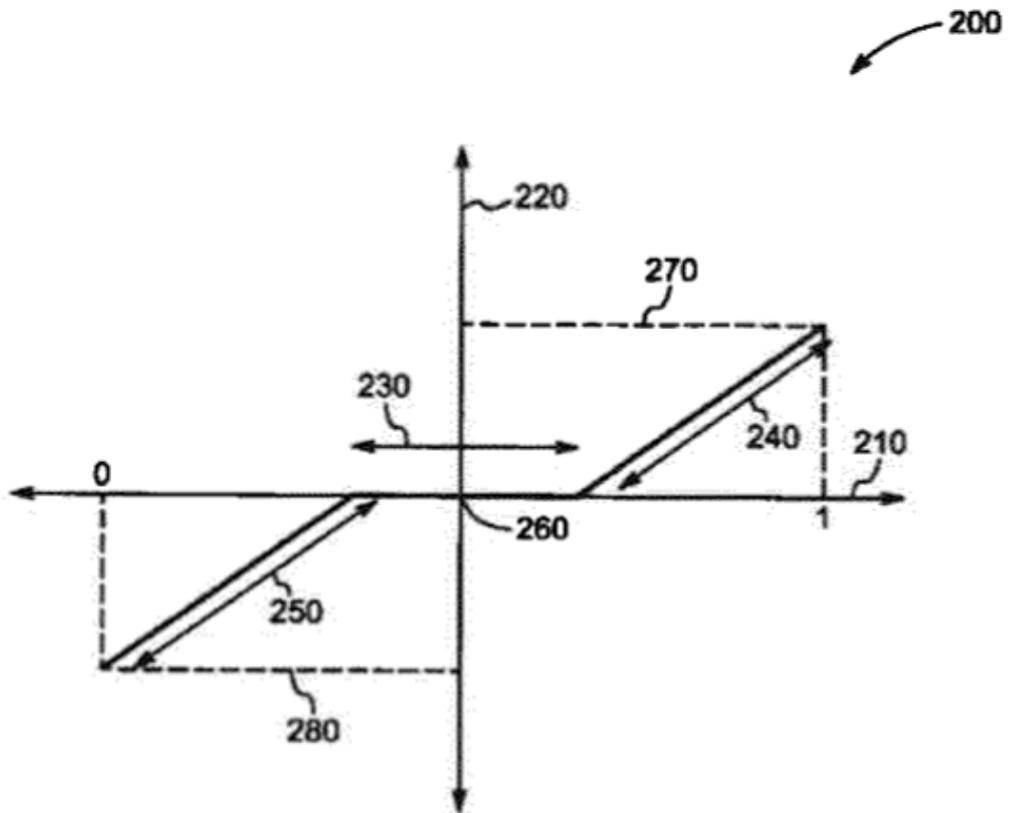


FIG. 2

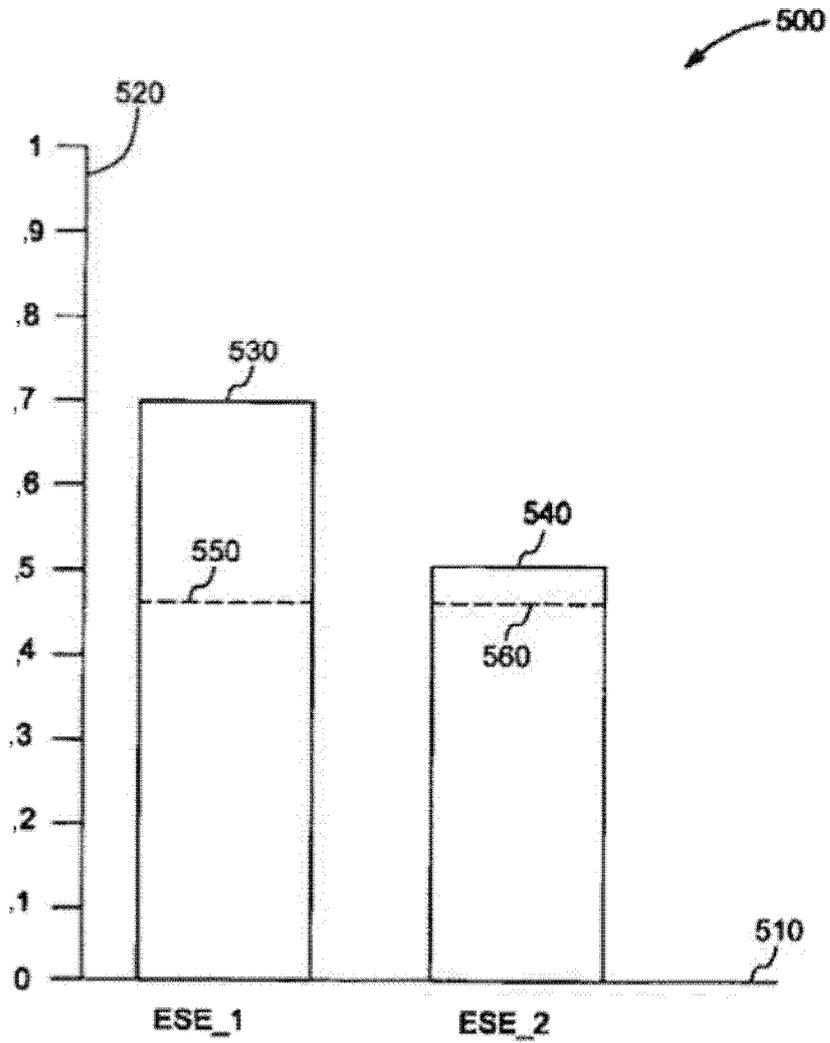


FIG. 4

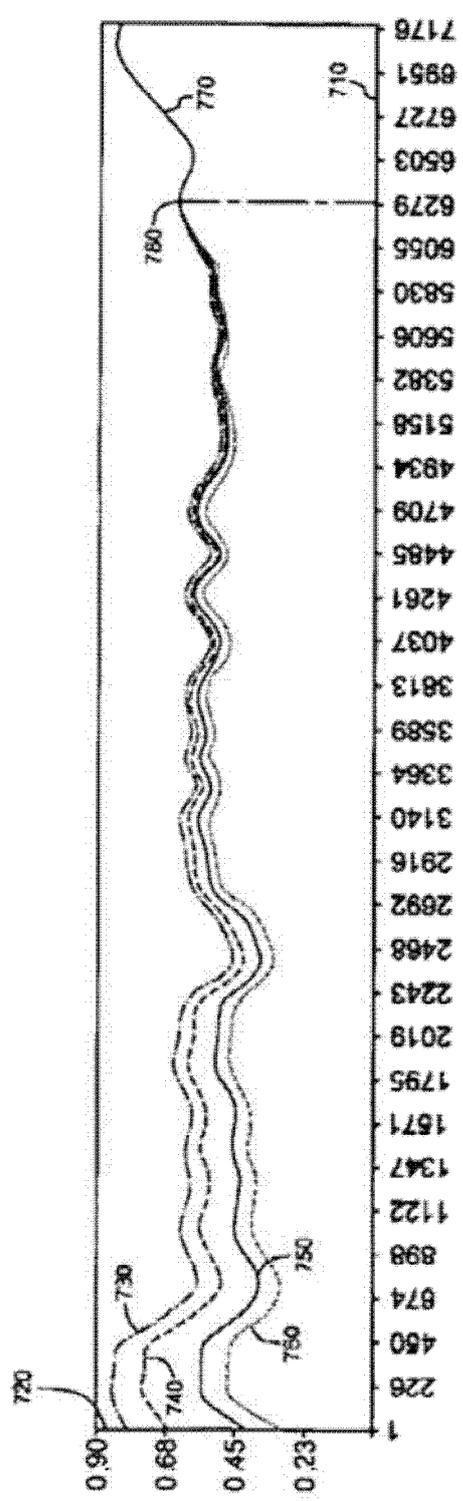


FIG. 6

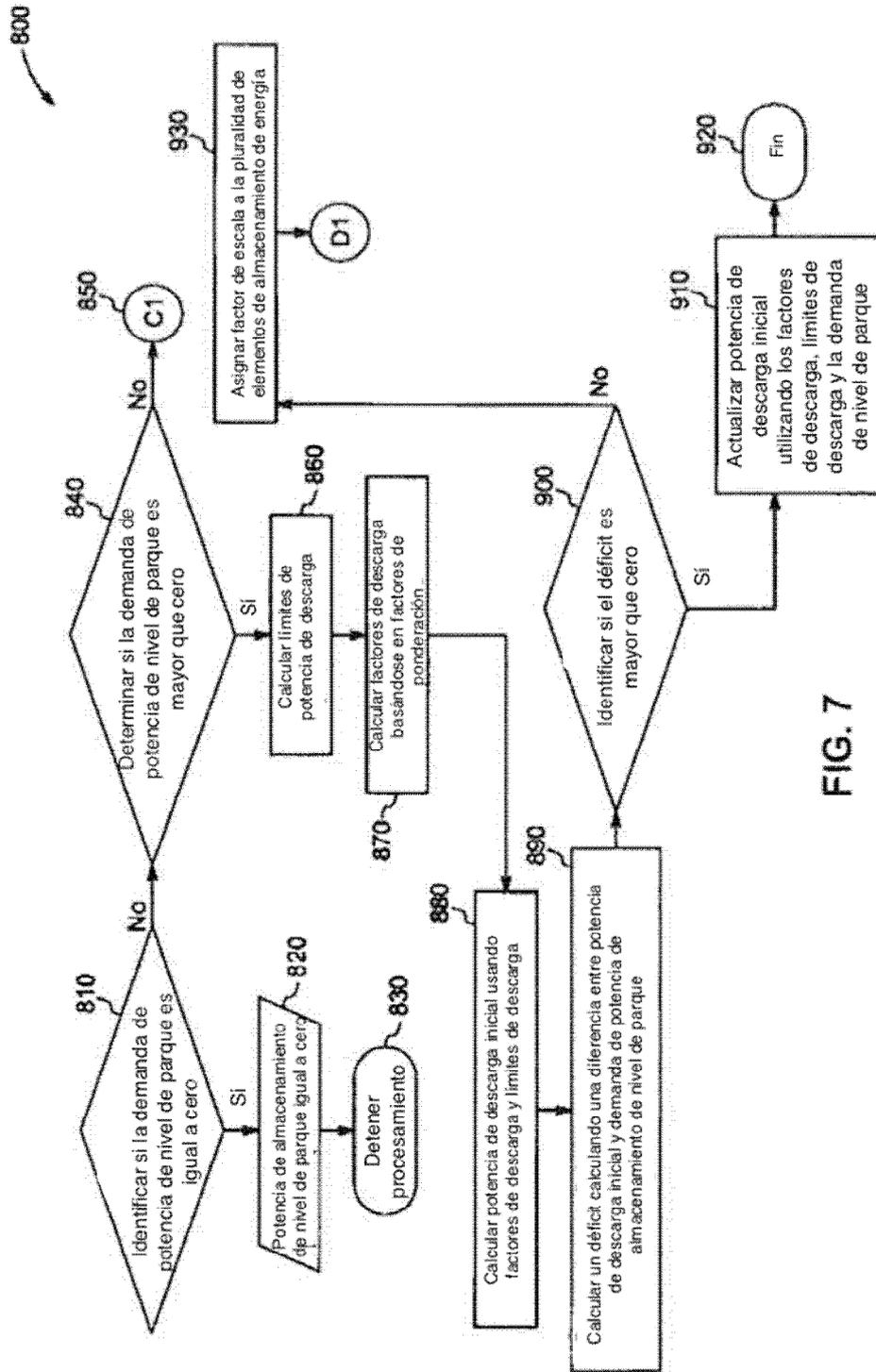


FIG. 7

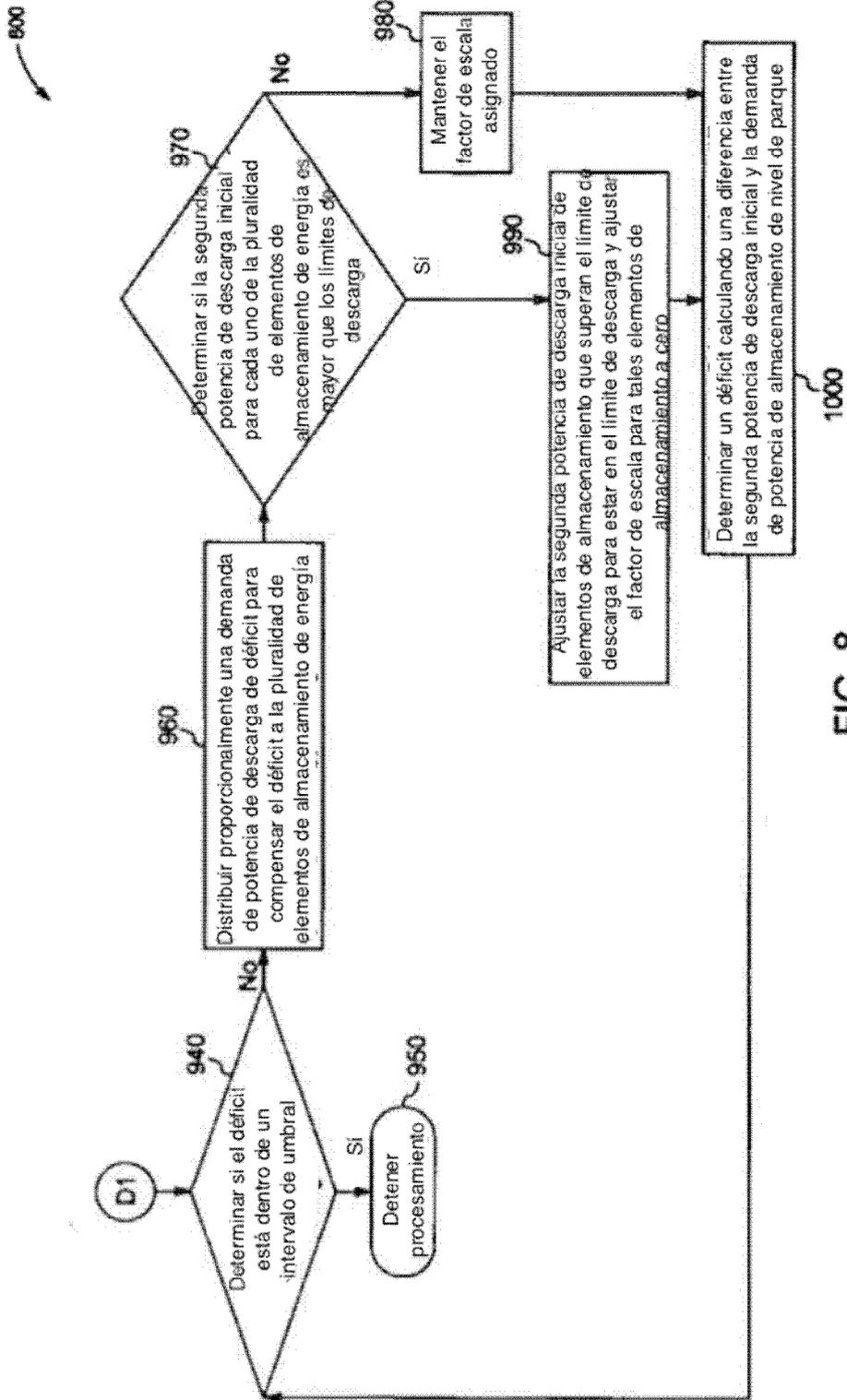


FIG. 8

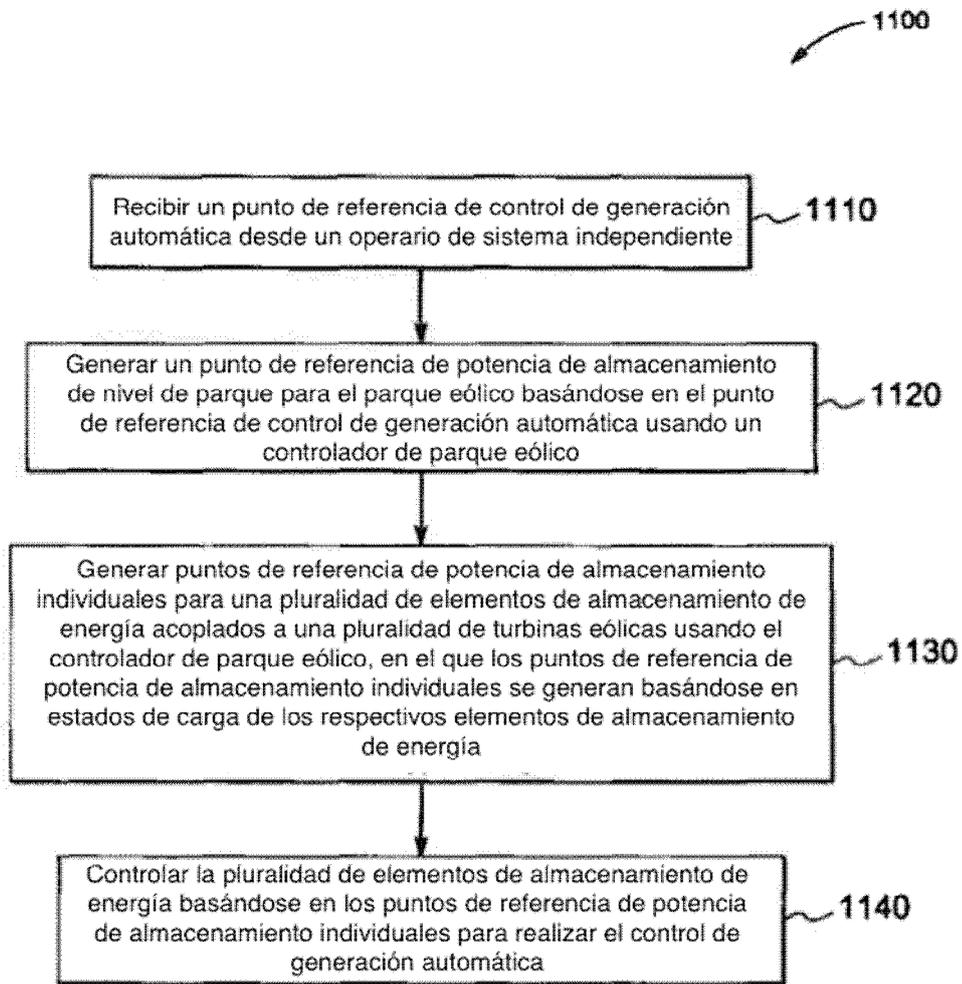


FIG. 9