

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 892 398**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2014** **E 14169984 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.06.2021** **EP 2808542**

54 Título: **Sistema y procedimiento para controlar un parque eólico**

30 Prioridad:

29.05.2013 US 201313904333

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
04.02.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

ZALAR, JONATHAN HENRY y
FRIC, THOMAS FRANK

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 892 398 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema y procedimiento para controlar un parque eólico

5 **[0001]** La presente materia objeto se refiere, en general, a turbinas eólicas y, más en particular, a un sistema y procedimiento para controlar un parque eólico de una manera que mejora sus capacidades de producción de energía.

10 **[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 incluye típicamente una torre, un generador, una multiplicadora, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas de rotor son los elementos primarios para convertir la energía eólica en energía eléctrica. Las palas tienen típicamente el perfil de sección transversal de un perfil aerodinámico de manera que, durante la operación, el aire fluye sobre la pala produciendo una diferencia de presión entre sus lados. En consecuencia, una fuerza de elevación, que se dirige desde el lado de presión hacia el lado de succión, actúa sobre la pala. La fuerza de elevación genera un par de torsión en el eje de rotor principal, que está acoplado a un generador para producir electricidad.

20 **[0003]** A velocidades del viento muy por debajo de la velocidad nominal del viento de una turbina eólica, el ángulo de *pitch* de las palas de rotor se mantiene típicamente en la posición de potencia para capturar la máxima cantidad de energía del viento. Sin embargo, a medida que las velocidades del viento alcanzan y superan la velocidad nominal del viento, el ángulo de *pitch* se ajusta hacia una posición de bandera para mantener la potencia de salida de la turbina eólica a su potencia nominal. Como resultado, la potencia de salida de la turbina eólica se restringe a velocidades del viento por encima de la velocidad nominal del viento. Además, las cargas aerodinámicas que actúan sobre las palas de rotor aumentan continuamente con el aumento de la velocidad del viento, mientras que el ángulo de *pitch* de las palas de rotor se mantiene en la posición de potencia y, a continuación, comienzan a disminuir a medida que el ángulo de *pitch* se ajusta hacia una posición de bandera con velocidades del viento por encima de la velocidad nominal del viento. Dicho control de la turbina eólica crea típicamente un pico en la carga aerodinámica en una turbina eólica a su velocidad nominal del viento. Por ejemplo, la figura 1 ilustra un gráfico de velocidad del viento (eje x) frente a cargas (eje y) para una turbina eólica típica. Como se muestra, las cargas aerodinámicas en la turbina eólica aumentan a lo largo de la línea de carga 10 hasta un pico 12 a la velocidad nominal del viento (indicada por la línea 14) y, a continuación, disminuyen a medida que las palas de rotor se *pitch*ean hacia una posición de bandera para mantener la turbina eólica en su potencia nominal.

35 **[0004]** Para evitar la formación de dicho pico 10, se conocen procedimientos de control de reducción de picos (*peak-shaving*) que se utilizan para reducir las cargas en una turbina eólica a la velocidad nominal del viento o cerca de la misma. En particular, estos procedimientos de control típicamente comienzan a ajustar el ángulo de *pitch* de las palas de rotor en algún punto antes de la velocidad nominal del viento. Por ejemplo, como se muestra en la figura 1, al ajustar el ángulo de *pitch* de las palas de rotor hacia la posición de bandera antes de alcanzar la velocidad nominal del viento (por ejemplo, a un umbral de velocidad del viento dado indicado por la línea 16), las cargas que actúan sobre la pala de rotor a la velocidad nominal del viento, o cerca de la misma, pueden reducirse a lo largo de la curva de carga 18. Específicamente, como se muestra en la figura 1, el uso de un procedimiento de control de reducción de picos puede crear un intervalo de reducción de picos 20 en el que las cargas se reducen a lo largo de un intervalo de valores de velocidad del viento.

45 **[0005]** Sin embargo, un procedimiento de control de este tipo también da como resultado una reducción en la eficacia global de la turbina eólica, ya que se sacrifica la potencia de salida a la velocidad nominal del viento o cerca de la misma (es decir, al *pitch*ear prematuramente las palas de rotor) para reducir la carga de las palas. Por ejemplo, la figura 2 ilustra un gráfico de la velocidad del viento (eje x) frente a la potencia (eje y) para turbinas eólicas que implementan las metodologías de control descritas anteriormente con referencia a la figura 1. Específicamente, la curva de potencia 110 define la potencia de salida de referencia para una turbina eólica que usa una metodología de control en la que las palas de rotor se *pitch*ean hacia la posición de bandera a la velocidad nominal del viento o cerca de la misma (es decir, la potencia de salida correspondiente a la curva de carga 10 de la figura 1) y la curva de potencia 120 define la potencia de salida de referencia para una turbina eólica que usa un procedimiento de control de reducción de picos (es decir, la potencia de salida correspondiente a la curva de carga 20 de la figura 1). Como se muestra, debido a la metodología de control de reducción de picos, la curva de potencia 120 pasa de una curvatura positiva a una curvatura negativa en un punto de inflexión 122 definido en el umbral de velocidad del viento 16 (es decir, el punto en el que se inicia el ajuste del ángulo de *pitch*), lo que indica que la potencia de salida se ha reducido a velocidades del viento por encima de este umbral 16.

60 **[0006]** Por lo general, el emplazamiento promedio de turbinas eólicas experimenta velocidades del viento por debajo de la velocidad nominal del viento durante la mayor parte de la vida útil de la(s) turbina(s) eólica(s) ubicada(s) en dicho emplazamiento. Por ejemplo, en algunos casos, un emplazamiento de turbina eólica puede experimentar velocidades del viento iguales o superiores a la velocidad nominal del viento solo el 6 % de las veces. De este modo, la reducción en la potencia de salida resultante del uso de procedimientos de control de reducción de picos a velocidades del viento iguales o inferiores a la velocidad nominal del viento puede ser bastante significativa, en particular para un emplazamiento de turbinas eólicas que incluye una gran cantidad de turbinas eólicas. Además, las metodologías de

control convencionales que mantienen la potencia de salida de una turbina eólica como su potencia nominal a velocidades de viento incrementadas pueden limitar significativamente las opciones de control para controlar un parque eólico de potencia limitada.

5 **[0007]** Se conocen ejemplos de estrategias de control de la técnica anterior por los documentos WO2012/041326A2 y US 2011/211951A1.

10 **[0008]** Por consiguiente, un sistema y un procedimiento para controlar las turbinas eólicas de un parque eólico que permitan incrementar la producción total de energía del parque en una amplia gama de velocidades del viento serían bien recibidos en la tecnología.

[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.

15 **[0010]** La presente invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

[0011] 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 forman parte de, esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

La figura 1 ilustra un gráfico de ejemplo de velocidad del viento (eje x) frente a cargas (eje y) para una turbina eólica típica;

25 la figura 2 ilustra un gráfico de ejemplo de velocidad del viento (eje x) frente a potencia (eje y) para la turbina eólica asociada a la figura 1, que ilustra, en particular, la potencia de salida reducida de la turbina eólica resultante del uso de metodologías de control convencionales;

30 la figura 3 ilustra una vista esquemática simplificada de un modo de realización de un parque eólico de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto;

la figura 4 ilustra una vista esquemática de un modo de realización de componentes adecuados que pueden incluirse dentro de un controlador de turbina de cada turbina eólica y/o un controlador de parque del parque eólico de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto;

35 la figura 5 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para controlar un parque eólico de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto;

40 la figura 6 ilustra un gráfico que muestra resultados de ejemplo de diversos análisis de carga (por ejemplo, LA#1-#5) realizados en una turbina eólica para determinar su potencia de salida máxima basada en carga de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto;

45 la figura 7 ilustra un gráfico de ejemplo de velocidad del viento (eje x) frente a potencia (eje y) para una turbina eólica que implementa el procedimiento analizado en el presente documento, que ilustra, en particular, el intervalo de potencia de salida a lo largo del cual la potencia de salida de la turbina eólica puede variar entre sus potencias de salida de referencia y máxima; y

50 la figura 8 ilustra una tabla de datos de ejemplo para un parque de turbinas eólicas, que ilustra, en particular, la diferencia entre las potencias de salida reales y las potencias de salida máximas para las turbinas eólicas de dicho parque.

[0012] A continuación se hace referencia en detalle a 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. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden hacer diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance de la invención.

[0013] En general, la presente materia objeto está dirigida a un sistema y procedimiento para controlar un parque eólico. Específicamente, el sistema y procedimiento divulgados proporcionan un medio para aumentar la potencia de salida total de un parque eólico cuando una o más de las turbinas eólicas dentro de dicho parque están operando a su potencia nominal. Por ejemplo, en varios modos de realización, se puede realizar un análisis de carga en cada turbina eólica para determinar la potencia de salida máxima que puede alcanzar cada turbina eólica sin dañar los componentes de la turbina. Como se describirá a continuación, la mayoría de turbinas eólicas tienen un margen de carga significativo a su potencia de salida nominal y, por tanto, la potencia de salida máxima de una turbina eólica puede ser sustancialmente mayor que su potencia de salida nominal. Por consiguiente, controlando la operación de las turbinas eólicas dentro de un parque eólico de manera que la potencia de salida de cada turbina eólica no exceda su potencia de salida máxima, la potencia de salida total del parque eólico puede incrementarse significativamente.

[0014] En varios modos de realización, la presente materia objeto se describirá con referencia a parques eólicos que tienen restricciones de potencia de salida. Como se entiende en general, un parque eólico puede estar sujeto a una restricción de potencia de salida correspondiente a la potencia de salida máxima que puede transmitirse desde el parque a la red. Por lo tanto, la suma de la potencia generada por cada turbina eólica dentro del parque eólico debe ser igual o menor que la restricción de potencia de salida. Para garantizar que no se exceda esta restricción de potencia de salida, la cantidad de turbinas eólicas instaladas en un parque con restricción de salida se selecciona típicamente de manera que la potencia de salida total del parque eólico sea igual a la restricción de potencia de salida cuando todas las turbinas eólicas estén operando a su potencia nominal. Por ejemplo, para un parque eólico que tiene una restricción de potencia de salida de 150 megavatios (MW), normalmente se instalarían en el parque 100 turbinas eólicas con una potencia nominal de 1,5 MW. Sin embargo, como se indicó anteriormente, las turbinas eólicas típicamente operan a velocidades del viento por debajo de su velocidad nominal del viento. Como resultado, debido al uso de metodologías de control convencionales (por ejemplo, metodologías de control de reducción de picos), la potencia de salida resultante del parque eólico es a menudo significativamente menor que la restricción de potencia de salida. Como se describirá a continuación, al reducir y/o eliminar las limitaciones operativas proporcionadas por dichas metodologías de control convencionales y al controlar cada turbina eólica en base a su potencia de salida máxima, las turbinas eólicas dentro de un parque eólico se pueden operar de una manera que permita que la potencia de salida total del parque sea igual o sustancialmente igual a la restricción de potencia de salida, lo que mejora la eficacia del parque.

[0015] Sin embargo, debe apreciarse que la presente materia objeto no necesita limitarse a parques eólicos que tengan una restricción de potencia de salida. Por ejemplo, el sistema y procedimiento divulgados se pueden utilizar para controlar individualmente cada turbina eólica dentro de un parque eólico sin referencia a la potencia de salida total del parque. Específicamente, al determinar la potencia de salida máxima para una turbina eólica dada, la turbina eólica se puede controlar de una manera que permita maximizar su potencia de salida. Por ejemplo, en lugar de reducir la potencia de salida de una turbina eólica cuando la turbina se acerca a su velocidad nominal del viento y, a continuación, mantener la potencia de salida a su potencia nominal para velocidades superiores a la velocidad nominal del viento (por ejemplo, como se muestra en la figura 2), se puede permitir que la turbina eólica logre potencias de salida más altas a velocidades del viento más bajas (incluidas potencias de salida que exceden la velocidad nominal del viento), siendo la única restricción limitante la potencia de salida máxima determinada para la turbina eólica.

[0016] También debe apreciarse que, con el fin de describir la presente materia objeto, se puede suponer que cada turbina eólica tiene una potencia de salida de referencia definida por una curva de potencia limitada por control. Como se usa en el presente documento, el término "curva de potencia limitada por control" se refiere, en general, a una curva de potencia a lo largo de la cual la potencia de salida de una turbina eólica está restringida o limitada en uno o más intervalos de velocidad del viento. Por tanto, una curva de potencia limitada por control puede ser, por ejemplo, las curvas de potencia mostradas en la figura 1. Por ejemplo, al *pitch*ear las palas de rotor a velocidades del viento iguales o superiores a la velocidad nominal del viento para mantener una potencia de salida constante, la potencia de salida de referencia definida por la curva de potencia 110 se limita significativamente a velocidades del viento iguales o superiores a la velocidad nominal del viento. De manera similar, al *pitch*ear las palas de rotor a velocidades del viento por debajo de la velocidad nominal del viento para reducir la carga de las palas y al *pitch*ear aún más las palas de rotor a velocidades del viento por encima de la velocidad nominal del viento para mantener una potencia de salida constante, la potencia de salida de referencia definida por la curva de potencia 116 está significativamente limitada en una amplia gama de velocidades del viento, tanto por debajo como por encima de la velocidad nominal del viento. En otros modos de realización, las curvas de potencia limitadas por control pueden corresponder a las curvas de potencia resultantes de cualquier otra metodología de control adecuada que limite la potencia de salida de una turbina eólica a velocidades del viento por debajo y/o por encima de su velocidad nominal del viento.

[0017] En referencia ahora a la figura 3, se ilustra una vista esquemática de un modo de realización de un parque eólico 200 de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. En general, el parque eólico 200 puede incluir una pluralidad de turbinas eólicas 202. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el parque eólico 200 incluye doce turbinas eólicas 202. Sin embargo, en otros modos de realización, el parque eólico 200 puede incluir cualquier otro número de turbinas eólicas 202, tal como menos de doce turbinas eólicas 202 o más de doce turbinas eólicas 202.

[0018] Como se muestra en la figura 3, cada turbina eólica 202 incluye una torre 204 que se extiende desde una superficie de apoyo 206, una góndola 208 montada sobre la torre 204 y un rotor 210 acoplado a la góndola 208. El rotor 210 incluye un buje rotatorio 212 y al menos una pala de rotor 214 acoplada a, y que se extiende hacia el exterior desde, el buje 212. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el rotor 210 incluye tres palas de rotor 214. Sin embargo, en modos de realización alternativos, el rotor 210 puede incluir un número mayor o menor de tres palas de rotor 214. Cada pala de rotor 214 puede estar separada alrededor del buje 212 para facilitar la rotación del rotor 210 y permitir que se transfiera energía cinética del viento como energía mecánica utilizable y, posteriormente, energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 212 de cada turbina eléctrica 202 puede estar acoplado de forma giratoria a un generador eléctrico (no mostrado) situado dentro de la góndola 208 para permitir que se produzca energía eléctrica.

[0019] Además, en varios modos de realización, cada turbina eólica 202 puede incluir uno o más sensores para monitorizar diversos parámetros/condiciones de operación de las turbinas eólicas 202. Por ejemplo, en un modo de realización, cada turbina eólica puede incluir un sensor de viento 216, tal como un anemómetro o cualquier otro dispositivo adecuado, configurado para medir velocidades de viento. Como se entiende en general, las velocidades del viento pueden variar significativamente en un parque eólico 200. Por tanto, los sensores de viento 202 pueden permitir que se monitorice la velocidad local del viento en cada turbina eólica 202. Además, cada turbina eólica 202 también puede incluir un sensor de potencia de salida 218. Por ejemplo, los sensores de potencia de salida 218 pueden comprender sensores configurados para monitorizar las propiedades eléctricas de la salida del generador de cada turbina eólica 202, tales como sensores de corriente, sensores de voltaje o unidades de monitorización de potencia que supervisan la potencia de salida directamente basándose en mediciones de corriente y voltaje. De forma alternativa, los sensores de potencia de salida 218 pueden comprender cualquier otro sensor que pueda utilizarse para monitorizar la potencia de salida de una turbina eólica 202.

[0020] Además, cada turbina eólica 202 puede incluir un sistema de control de turbina o controlador de turbina 220 centralizado dentro de la góndola 208. En general, el controlador de turbina 220 puede comprender un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por tanto, en varios modos de realización, el controlador de turbina 220 puede incluir instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan, configuran el controlador 220 para realizar diversas funciones diferentes, tales como recibir, transmitir y/o ejecutar señales de control de turbina eólica. De este modo, el controlador de turbina 220 se puede configurar, en general, para controlar los diversos modos de operación (por ejemplo, secuencias de arranque o parada) y/o los componentes de la turbina eólica 202. Por ejemplo, el controlador 220 puede estar configurado para controlar el *pitch* de pala o ángulo de *pitch* de cada una de las palas de rotor 214 (es decir, un ángulo que determina una perspectiva de las palas de rotor 214 con respecto a la dirección del viento) para controlar la potencia de salida generada por la turbina eólica 202 ajustando una posición angular de al menos una pala de rotor 241 con respecto al viento. Por ejemplo, el controlador de turbina 220 puede controlar el ángulo de *pitch* de las palas de rotor 214, ya sea individual o simultáneamente, transmitiendo señales de control adecuadas a un accionamiento de *pitch* o mecanismo de ajuste de *pitch* (no mostrado) de la turbina eólica 202.

[0021] Además, como se muestra en la figura 3, el controlador de turbina 220 de cada turbina eólica 202 puede estar acoplado comunicativamente a un controlador de parque 222. Por ejemplo, en un modo de realización, cada controlador de turbina 220 puede estar acoplado comunicativamente al controlador de parque 222 a través de una conexión alámbrica, por ejemplo, que conecta los controladores 220, 222 a través de enlaces de comunicación 226 adecuados (por ejemplo, un cable adecuado). De forma alternativa, cada controlador de turbina 220 puede estar acoplado comunicativamente al controlador de parque 222 a través de una conexión inalámbrica, por ejemplo, que usa cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica.

[0022] De manera similar a cada controlador de turbina 220, el controlador de parque 222 puede comprender, en general, un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por tanto, en varios modos de realización, el controlador de parque 222 puede incluir instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan, configuran el controlador 22 para realizar diversas funciones diferentes, tales como emitir y/o transmitir señales de control de turbina eólica a cada controlador de turbina 220. De este modo, el controlador de parque 222 puede configurarse, en general, para controlar cualquiera o todos los controladores de turbina 220 en el parque eólico 200 con el fin de cambiar o alterar el modo de operación de cualquier cantidad de turbinas eólicas 202. Específicamente, el controlador de parque 222 puede configurarse para ordenar a una sola turbina eólica 202, a grupos particulares de turbinas eólicas 202 o todas las turbinas eólicas 202 del parque eólico 200 que entren en un modo de operación particular y/o realicen una acción particular para adaptar la(s) turbina(s) eólica(s) 202 a condiciones de operación cambiantes. Por ejemplo, como se describirá a continuación, el controlador de parque 222 se puede configurar para regular las consignas operativas (por ejemplo, consignas de velocidad y/o de par de torsión) de una o más de las turbinas eólicas 202 dentro del parque eólico 200 de manera que aumente la potencia de salida total del parque.

[0023] En referencia ahora a la figura 4, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de componentes adecuados que pueden estar incluidos dentro de cada controlador de turbina 220 y/o del controlador de parque 222 de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. Como se muestra, cada controlador de turbina 220 y/o el controlador de parque 222 pueden incluir uno o más procesadores 230 y dispositivos de memoria asociados 232 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 aparecen 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 y otros circuitos programables. Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 232 puede(n) comprender, en general, elementos de memoria que incluyen, pero sin limitarse a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM)), un medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disquete, una memoria de solo lectura de disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 232 puede(n) configurarse, en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando son implementadas por el/los procesador(es) 230, configuran cada controlador de turbina 220 y/o el controlador de parque 222 para realizar diversas funciones que incluyen, pero sin limitarse a, determinar la potencia de salida de cada turbina eólica 202, comparar la potencia de

salida total del parque eólico 200 con su correspondiente restricción de potencia de salida, ajustar la operación de una o más de las turbinas eólicas 202 para ajustar la potencia de salida total del parque eólico y/o similares.

[0024] Además, cada controlador de turbina 220 y/o controlador de parque 222 también puede incluir un módulo de comunicaciones 234 para facilitar las comunicaciones entre el/los controlador(es) 220, 222 y los diversos componentes de cada turbina eólica 202 y/o para facilitar las comunicaciones entre cada controlador 220, 222. Por ejemplo, el módulo de comunicaciones 234 puede incluir una interfaz de sensor (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas por el/los sensor(es) 216, 218 se conviertan en señales que los procesadores 230 puedan entender y procesar.

[0025] En referencia ahora a la figura 5, se ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 200 para controlar una turbina eólica de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. En general, el procedimiento 300 se describirá en el presente documento con referencia a un parque eólico 200 de potencia de salida restringida. Sin embargo, como se describirá a continuación, los aspectos de la presente materia objeto también pueden utilizarse para operar un parque eólico no restringido 200 y/o para operar turbinas eólicas individuales 202 con el fin de maximizar la potencia de salida de dicho parque y/o dicha(s) turbina(s).

[0026] Como se muestra en la figura 5, en 302, se puede determinar una potencia de salida máxima para cada turbina eólica 202. Específicamente, en varios modos de realización, se puede realizar un análisis de carga en cada turbina eólica 202 para determinar su potencia de salida máxima en base a los márgenes de carga para los componentes de la turbina. Por ejemplo, cuando opera a su potencia nominal, puede existir un margen de carga sustancial entre la carga real en los componentes de la turbina eólica y la envolvente de diseño o el umbral de carga para cada componente (es decir, el punto en el que un componente dado fallará realmente debido a una carga excesiva). Por tanto, analizando los márgenes de carga para una turbina eólica 202 dada, se puede determinar la potencia de salida máxima basada en carga para la turbina eólica 202. Esta potencia de salida máxima puede almacenarse a continuación dentro del controlador 220 de la turbina y/o el controlador de parque 222 y, posteriormente, utilizarse para controlar la operación de la turbina eólica 202.

[0027] En varios modos de realización, el análisis de carga se puede realizar usando un modelo generado por ordenador. Por ejemplo, puede crearse un modelo tridimensional (por ejemplo, un modelo de elementos finitos) de cada turbina eólica 202 usando un software de modelado adecuado. Para ello, diversos parámetros de diseño y/o mecánicos para cada componente de turbina eólica (por ejemplo, geometría/conformación, dimensiones y propiedades de material, tales como la proporción de Poisson, el módulo y la densidad de Young, etc.) pueden introducirse en el modelo. Posteriormente, usando un software de análisis de carga adecuado (por ejemplo, cualquier software adecuado de análisis de elementos finitos disponible comercialmente), la operación de la turbina eólica 202 puede modelarse en base a las condiciones de operación conocidas y/o esperadas de la turbina.

[0028] Por ejemplo, en varios modos de realización, las condiciones del viento específicas del emplazamiento, tales como una velocidad promedio del viento en el emplazamiento (por ejemplo, una velocidad promedio anual del viento o una velocidad del viento en un promedio de veinte años), una distribución promedia de la velocidad del viento en el emplazamiento (es decir, la distribución o el perfil de la velocidad del viento durante un período prolongado de tiempo) y/o cualquier otra condición operativa adecuada específica del emplazamiento (por ejemplo, ráfagas de viento y/o intensidad de turbulencia en el emplazamiento), se pueden utilizar como entradas de carga para modelar con precisión la operación de cada turbina eólica 202 en base a sus condiciones de operación conocidas y/o esperadas. Las cargas de componente resultantes pueden analizarse entonces en base al umbral de carga para cada componente de turbina eólica para identificar la velocidad máxima del rotor y el ajuste de par de torsión a los que la turbina eólica 202 puede operar sin un fallo en los componentes, que, posteriormente, pueden usarse para determinar la potencia de salida máxima de la turbina eólica 202.

[0029] Por ejemplo, la figura 6 ilustra un gráfico de datos de ejemplo que muestra los resultados de varios análisis de carga (por ejemplo, AC n.º 1 - n.º 5) realizados en una turbina eólica de 1,5 MW, donde varios de los componentes de turbina eólica están representados a lo largo del eje x, y el porcentaje entre el margen y el umbral de carga está representado a lo largo del eje y. Como se muestra, a la potencia nominal de 1,5 MW, el análisis de carga indicó que existía un margen de carga sustancial para cada uno de los componentes de turbina eólica. Sin embargo, a medida que la velocidad del rotor y/o los ajustes de par de torsión de la turbina eólica 202 se incrementaron para permitir potencias de salida incrementadas, las cargas en los componentes también se incrementaron, reduciendo así los márgenes de carga para cada componente. Por ejemplo, como se muestra en la figura 6, durante la operación a una potencia de salida de 1,8 MW, el margen de carga para el rodamiento de *pitch* cambia de positivo a negativo, lo que indica una alta probabilidad de que el rodamiento de *pitch* falle debido a una carga excesiva. Por lo tanto, se determinó que, en base a la condición de operación conocida y/o esperada de la turbina eólica particular que se analiza, la potencia de salida máxima para dicha turbina eólica debe establecerse por debajo de 1,8 MW, tal como en 1,7 MW o 1,75 MW.

[0030] Debe apreciarse que, aunque cada turbina eólica 202 instalada dentro de un parque eólico 202 puede tener exactamente las mismas especificaciones de diseño, la potencia de salida máxima para cada turbina eólica 202 puede variar debido a las condiciones de operación variables. Por ejemplo, las turbinas eólicas 202 ubicadas en el lado

izquierdo de un terreno pueden estar sujetas a velocidades de viento promedio más bajas y/o distribuciones de viento más bajas que las turbinas eólicas 202 ubicadas en el lado derecho del terreno (por ejemplo, debido a diferencias del terreno, tales como colinas, etc.). Como resultado, el análisis de carga puede indicar que las turbinas eólicas 202 en el lado izquierdo del terreno tienen una potencia de salida máxima más alta que las turbinas eólicas 202 en el lado derecho del terreno debido a las menores cargas que actúan sobre dichas turbinas eólicas 202. De manera similar, las turbinas eólicas 202 ubicadas a sotavento (“downstream”) de otras turbinas eólicas 202 pueden estar sujetas a condiciones de operación muy diferentes a las de las turbinas eólicas 202 a barlovento (“upstream”) y, por lo tanto, las potencias de salida máximas pueden diferir entre las turbinas eólicas 202 a barlovento y a sotavento.

[0031] En referencia de nuevo a la figura 5, durante la operación del parque eólico 202, en 304, la potencia de salida total del parque eólico 202 puede monitorizarse continuamente y compararse con la restricción de potencia de salida para el parque 202. Por ejemplo, como se indicó anteriormente, cada turbina eólica 202 puede incluir un sensor de potencia de salida 218 configurado para monitorizar su potencia de salida. En un modo de realización de este tipo, las mediciones de potencia de salida proporcionadas por los sensores 218 pueden sumarse para determinar la potencia de salida total del parque eólico 202. De forma alternativa, la potencia de salida total puede determinarse midiendo la potencia de salida en un punto de acoplamiento común para el parque eólico 202 (por ejemplo, en o a sotavento del transformador de potencia principal (ahora mostrado) para el parque eólico 200).

[0032] Si la potencia de salida total es igual a la restricción de potencia de salida, la operación de las turbinas eólicas 202 puede continuar sin modificaciones. Sin embargo, en 306, si la potencia de salida total es menor que la restricción de potencia de salida, la operación de una o más de las turbinas eólicas 202 puede modificarse para aumentar la potencia de salida de dicha(s) turbina(s) eólica(s) 202 y, por tanto, reducir la insuficiencia entre la potencia de salida total y la restricción de potencia de salida. Por ejemplo, en varios modos de realización, la velocidad del rotor y/o las consignas de par de torsión de la(s) turbina(s) eólica(s) 202 pueden ajustarse para aumentar la(s) potencia(s) de salida de modo que la potencia de salida total del parque eólico 200 sea igual o sustancialmente igual a la restricción de potencia de salida, mejorando así la eficacia del parque. Debe apreciarse que, como se usa en el presente documento, la potencia de salida total del parque eólico 200 es sustancialmente igual a la restricción de potencia de salida cuando la potencia de salida total está dentro del 10 % de la restricción de potencia de salida, por ejemplo, dentro del 5 % de la restricción de potencia de salida o dentro del 2,5 % de la restricción de potencia de salida.

[0033] Como se indicó anteriormente, debido a la existencia de márgenes de carga para la(s) turbina(s) eólica(s) 202, la(s) potencia(s) de salida de la(s) turbina(s) eólica(s) 202 puede(n) ajustarse significativamente para maximizar la potencia de salida total del parque eólico 200. Por ejemplo, la figura 7 ilustra un gráfico de velocidad del viento (eje x) frente a la potencia (eje y) para turbinas eólicas 202 que implementan diversas metodologías de control. Específicamente, las curvas de potencia 110, 120 corresponden al uso de las metodologías de control descritas anteriormente con referencia a la figura 2. En la figura 7 también se muestra una curva de potencia restringida por el viento 402 que corresponde a la potencia de salida máxima que puede alcanzar una turbina eólica 202 a una velocidad dada suponiendo que la turbina eólica no tiene restricciones operativas. En otras palabras, la curva de potencia restringida por el viento 402 indica la potencia de salida que se puede lograr si las palas de rotor 214 de la turbina eólica 202 se mantienen en la posición de potencia en todas las velocidades del viento y no se aplican límites de velocidad o de par de torsión a la operación de la turbina eólica. Además, la figura 7 también ilustra la potencia de salida máxima basada en carga (indicada por la línea 404) para la turbina eólica 202 determinada por el análisis de carga realizado en 302.

[0034] Como se muestra, puede definirse un intervalo de potencia de salida significativo 406 (indicado por el sombreado) entre la potencia de salida máxima 404 y las potencias de salida de referencia definidas por las curvas de potencia limitadas por control 110, 120. Este intervalo de potencia de salida 406 puede representar, en general, las diversas potencias de salida a las que la turbina eólica 202 puede operar sin dañar sus componentes. Por tanto, ajustando sus consignas operativas, la potencia de salida de la turbina eólica 202 se puede variar entre sus potencias de salida de referencia y máxima. Por ejemplo, suponiendo que la turbina eólica 202 está operando a una velocidad actual del viento (indicada por la línea 408) y está siendo controlada inicialmente de acuerdo con una metodología de control de reducción de picos (es decir, en el punto 410 a lo largo de la curva de potencia 120), las consignas operativas de la turbina eólica 202 pueden ajustarse (por ejemplo, *pitcheando* sus palas de rotor 214 hacia la posición de potencia) de modo que la potencia de salida de la turbina eólica 202 pueda incrementarse a una potencia de salida entre sus potencias de salida de referencia y máxima (es decir, entre los puntos 410 y 412).

[0035] Como se indicó anteriormente, tal capacidad para variar la(s) potencia(s) de salida de una o más de las turbinas eólicas 202 dentro de un parque eólico 202 puede permitir, en general, que la potencia de salida total del parque se maximice (es decir, que sea igual a la restricción de potencia de salida aplicada al parque eólico 202). Por ejemplo, la figura 8 ilustra una tabla de datos de ejemplo para un parque eólico 200 que tiene diez turbinas eólicas 202 (teniendo cada turbina eólica 202 una potencia nominal de 1,5 MW a una velocidad nominal del viento de 13 m/s) y una restricción de potencia de salida de 15 MW. Como se muestra, muchas de las turbinas eólicas 202 están experimentando velocidades del viento por debajo de su velocidad nominal del viento. Por lo tanto, con el uso de metodologías de control convencionales (por ejemplo, procedimientos de control de reducción de picos), la potencia de salida total del parque eólico 200 está muy por debajo de la restricción de potencia de salida (por ejemplo, 13,15 MW en comparación con 15 MW). Sin embargo, usando el procedimiento 300 descrito en el presente documento, la

operación de una o más de las turbinas eólicas 202 puede ajustarse de una manera que aumente su potencia de salida, reduciendo así la insuficiencia entre la potencia de salida total y la restricción de potencia de salida. Por ejemplo, como se muestra en la figura 8, al realizar un análisis de carga en las turbinas eólicas 202, se pueden determinar las potencias de salida máximas basadas en carga para cada turbina eólica 202. A partir de entonces, la operación de una, algunas o todas las turbinas eólicas 202 se puede ajustar para aumentar la(s) potencia(s) de salidas de dicha(s) turbina(s) eólica(s) 202 hasta un punto entre su(s) potencia(s) de salida de referencia y máxima. Por ejemplo, en el ejemplo mostrado en la figura 8, existe un diferencial de 1,85 MW entre la potencia de salida total y la restricción de potencia de salida. En tal caso, las consignas operativas de muchas o todas las turbinas eólicas 202 pueden ajustarse de manera que se logre un aumento de 1,85 MW en la potencia de salida total, maximizando así la eficacia del parque eólico.

[0036] En referencia de nuevo a la figura 5, en 308 y 308 se puede monitorizar la velocidad local del viento en cada turbina eólica 202 (por ejemplo, usando los sensores de velocidad del viento 216) y, si es necesario, se puede ajustar la operación de la(s) turbina(s) eólica(s) 202 para permitir variaciones en la velocidad del viento. Específicamente, cuando se controla la operación de las turbinas eólicas 202, puede ser deseable asegurar tanto que la potencia de salida de cada turbina eólica 202 no exceda su potencia de salida máxima como que la potencia de salida total del parque eólico 202 no exceda la restricción de potencia de salida. Por tanto, la velocidad del viento en cada turbina eólica 202 se puede monitorizar continuamente para detectar variaciones en la velocidad local del viento. Las turbinas eólicas 202 pueden entonces controlarse para garantizar que no se superen las limitaciones del sistema. Por ejemplo, si la potencia de salida total actual del parque eólico 200 es igual a la restricción de potencia de salida, un aumento local en la velocidad del viento en una de las turbinas eólicas 202 puede hacer que la potencia de salida total supere la restricción de potencia de salida. En tal caso, la operación de la turbina eólica 202 que experimenta la variación local de la velocidad del viento puede ajustarse (por ejemplo, *pitcheando* sus palas de rotor 214 hacia la posición de bandera) para mantener la potencia de salida total en la restricción de potencia de salida. De manera similar, si una turbina eólica 202 está operando a su potencia de salida máxima, un aumento local de la velocidad del viento en dicha turbina eólica 202 puede hacer que supere su potencia de salida máxima. En tal caso, la operación de la turbina eólica 202 puede ajustarse para mantener su potencia de salida en o por debajo de la potencia de salida máxima.

[0037] Debe apreciarse que, aunque el procedimiento 300 mostrado en la figura 5 se describe anteriormente con referencia al control de un parque eólico de potencia restringida, los aspectos del procedimiento divulgado también se pueden utilizar para operar un parque eólico no restringido y/o para operar turbinas eólicas 202 individuales con el fin de maximizar la potencia de salida de dicho parque y/o dicha(s) turbina(s). En tales casos, en lugar de tener dos restricciones del sistema (es decir, la potencia de salida máxima y la restricción de potencia de salida), cada turbina eólica 202 puede controlarse en base a únicamente su potencia de salida máxima determinada por el análisis de carga. Por lo tanto, las consignas operativas de cada turbina eólica 202 pueden ajustarse continuamente de modo que la potencia de salida de dicha turbina eólica se mantenga por encima de su potencia de salida de referencia para la velocidad actual del viento sin exceder su potencia de salida máxima, lo que proporciona un aumento general en la producción de energía de la turbina con respecto a la que se lograría usando metodologías de control convencionales.

[0038] En esta descripción escrita se usan ejemplos para divulgar la invención, incluido 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 y puede incluir otros ejemplos concebidos por los expertos en la técnica.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (300) para controlar un parque eólico (200) que tiene una restricción de potencia de salida, comprendiendo el procedimiento:

operar una pluralidad de turbinas eólicas (202) dentro del parque eólico (200), incluyendo cada turbina eólica (202) una potencia de salida de referencia y una potencia de salida máxima (404), estando definida la potencia de salida de referencia por una curva de potencia limitada por control en función de la velocidad del viento, en el que la curva de potencia limitada por control corresponde a una curva de potencia lograda usando una metodología de control de reducción de picos;

comparar (304) una potencia de salida total para el parque eólico (200) con la restricción de potencia de salida del parque eólico (200); y;

controlar (306) la operación de al menos una turbina eólica (202) de la pluralidad de turbinas eólicas (202) para proporcionar una potencia de salida incrementada para la al menos una turbina eólica (202) cuando la potencia de salida total es menor que la restricción de potencia de salida, y cuando la velocidad actual del viento está por debajo de la velocidad nominal del viento (14) de la turbina eólica (202),

en el que la potencia de salida incrementada a la velocidad actual del viento de la al menos una turbina eólica (202) es menor que o igual a la potencia de salida máxima para la al menos una turbina eólica (202) y es mayor que la potencia de salida de referencia asociada a la al menos una turbina eólica (202) a la velocidad actual del viento.

2. El procedimiento (300) de la reivindicación 1, que comprende además realizar un análisis de carga en cada turbina eólica (202) para determinar su potencia de salida máxima (404).

3. El procedimiento (300) de la reivindicación 2, en el que realizar un análisis de carga en cada turbina eólica (202) comprende analizar las cargas de los componentes para cada turbina eólica (202) en base a, al menos, una condición de operación específica del emplazamiento.

4. El procedimiento (300) de cualquier reivindicación precedente, en el que ajustar la operación de al menos una turbina eólica (202) de la pluralidad de turbinas eólicas (202) para proporcionar una potencia de salida incrementada comprende ajustar la operación de la al menos una turbina eólica (202) de modo que la potencia de salida total sea igual o sustancialmente igual a la restricción de potencia de salida.

5. El procedimiento (300) de cualquier reivindicación precedente, que comprende además monitorizar la velocidad actual del viento (408) de la al menos una turbina eólica (202).

6. El procedimiento (300) de la reivindicación 5, que comprende además ajustar (310) la operación de la al menos una turbina eólica (202) con variaciones en la velocidad actual del viento de modo que la potencia de salida incrementada se mantenga en o por debajo de la potencia de salida máxima (404) para la al menos una turbina eólica (202) y la potencia de salida total se mantenga sustancialmente igual a la restricción de potencia de salida.

7. El procedimiento (300) de cualquier reivindicación precedente, en el que la potencia de salida máxima es mayor que la potencia nominal de salida de cada turbina eólica (202).

8. Un sistema para controlar un parque eólico (200) que tiene una restricción de potencia de salida, comprendiendo el sistema:

una pluralidad de turbinas eólicas (202), incluyendo cada turbina eólica una potencia de salida de referencia y una potencia de salida máxima (404), estando definida la potencia de salida de referencia por una curva de potencia limitada por control en función de la velocidad del viento, en el que la curva de potencia limitada por control corresponde a una curva de potencia lograda usando una metodología de control de reducción de picos; y

una pluralidad de sensores de viento (216), estando configurado cada sensor de viento (216) para monitorizar una velocidad actual del viento de una de la pluralidad de turbinas eólicas (202); y

un controlador (22) acoplado comunicativamente a la pluralidad de turbinas eólicas (202) y la pluralidad de sensores de viento (216), estando configurado el controlador (22) para comparar una potencia de salida total del parque eólico (200) con la restricción de potencia de salida para el parque eólico (200), estando configurado además el controlador (22) para controlar la operación de al menos una turbina eólica (202) de la pluralidad de turbinas eólicas (202) para proporcionar una potencia de salida incrementada para la al menos una turbina eólica (202) cuando la potencia de salida total es menor que la restricción de potencia

de salida, y cuando la velocidad actual del viento está por debajo de la velocidad nominal del viento (14) de la turbina eólica (202),

- 5 en el que la potencia de salida incrementada a la velocidad actual del viento de la al menos una turbina eólica (202) es menor que o igual a la potencia de salida máxima para la al menos una turbina eólica (202) y es mayor que la potencia de salida de referencia asociada a la al menos una turbina eólica (202) a la velocidad actual del viento.
- 10 9. El sistema de la reivindicación 8, en el que el controlador (22) está configurado para controlar la operación de la al menos una turbina eólica (202) de modo que la potencia de salida total es sustancialmente igual a la restricción de potencia de salida.
- 15 10. El sistema de la reivindicación 8 o la reivindicación 9, en el que el controlador (22) está configurado además para ajustar la operación de la al menos una turbina eólica (202) basándose en variaciones en la velocidad actual del viento (408) de modo que la potencia de salida modificada se mantenga en o por debajo de la potencia de salida máxima para la al menos una turbina eólica (202) y la potencia de salida total se mantenga sustancialmente igual a la restricción de potencia de salida.
- 20 11. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que la potencia de salida máxima es mayor que la potencia nominal de salida de cada turbina eólica (202).
- 25 12. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que la potencia de salida incrementada es mayor que la potencia de salida nominal para la al menos una turbina eólica (202) cuando la velocidad actual del viento (408) es igual a la velocidad nominal del viento para la al menos una turbina eólica (202).
13. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en el que la curva de potencia limitada por control corresponde a una curva de potencia lograda usando una metodología de control de reducción de picos.

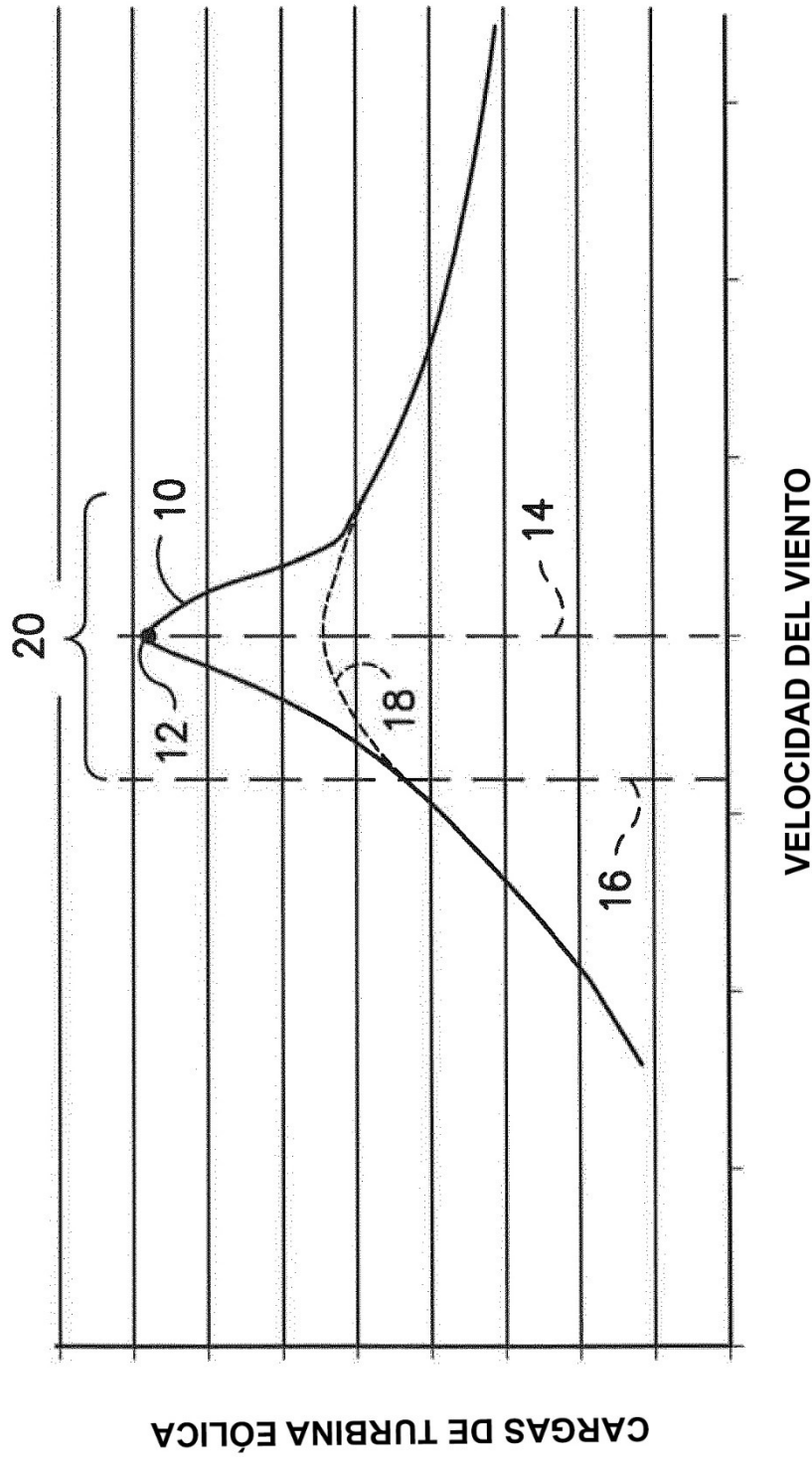


FIG. -1-
(TÉCNICA ANTERIOR)

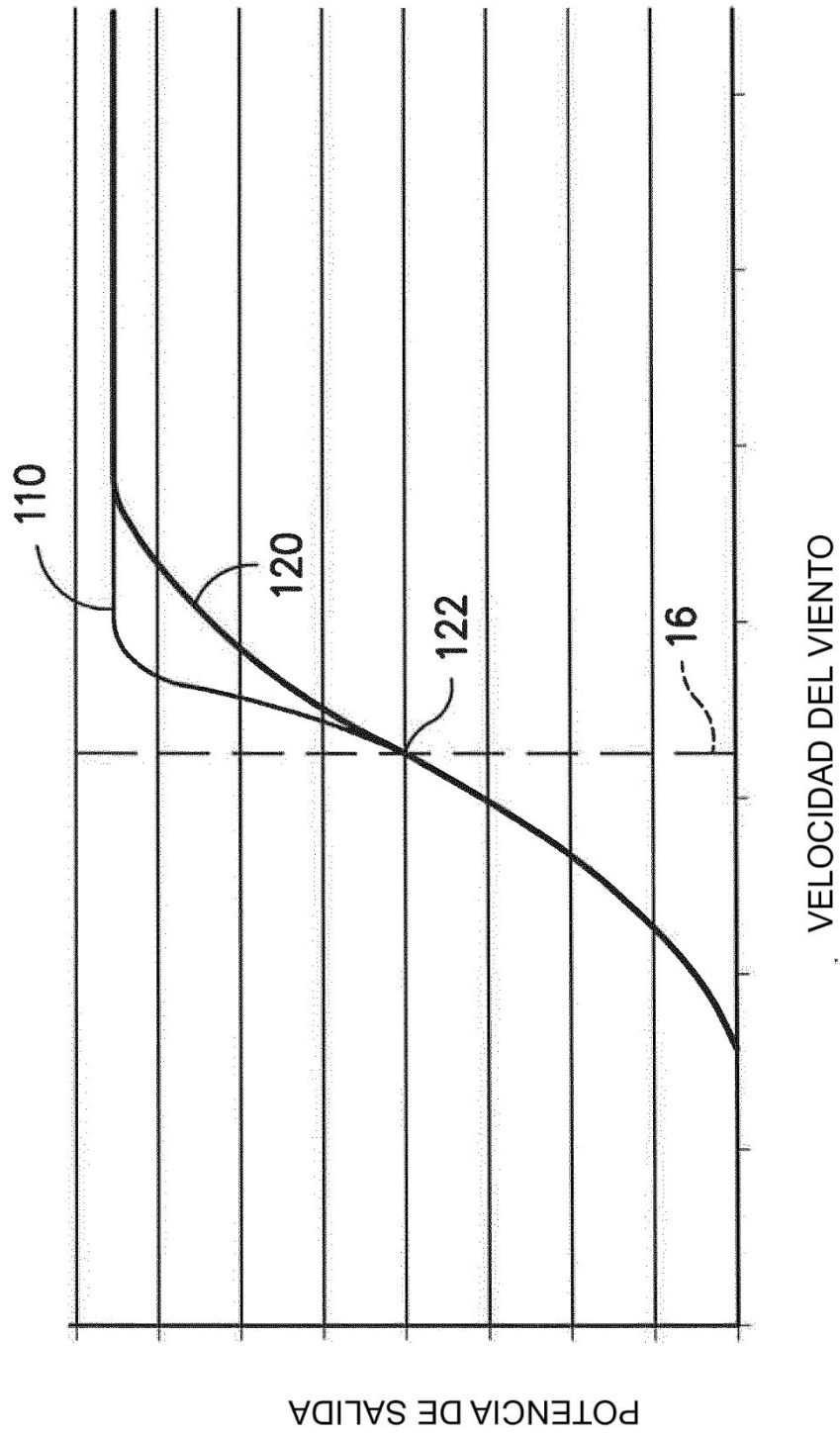
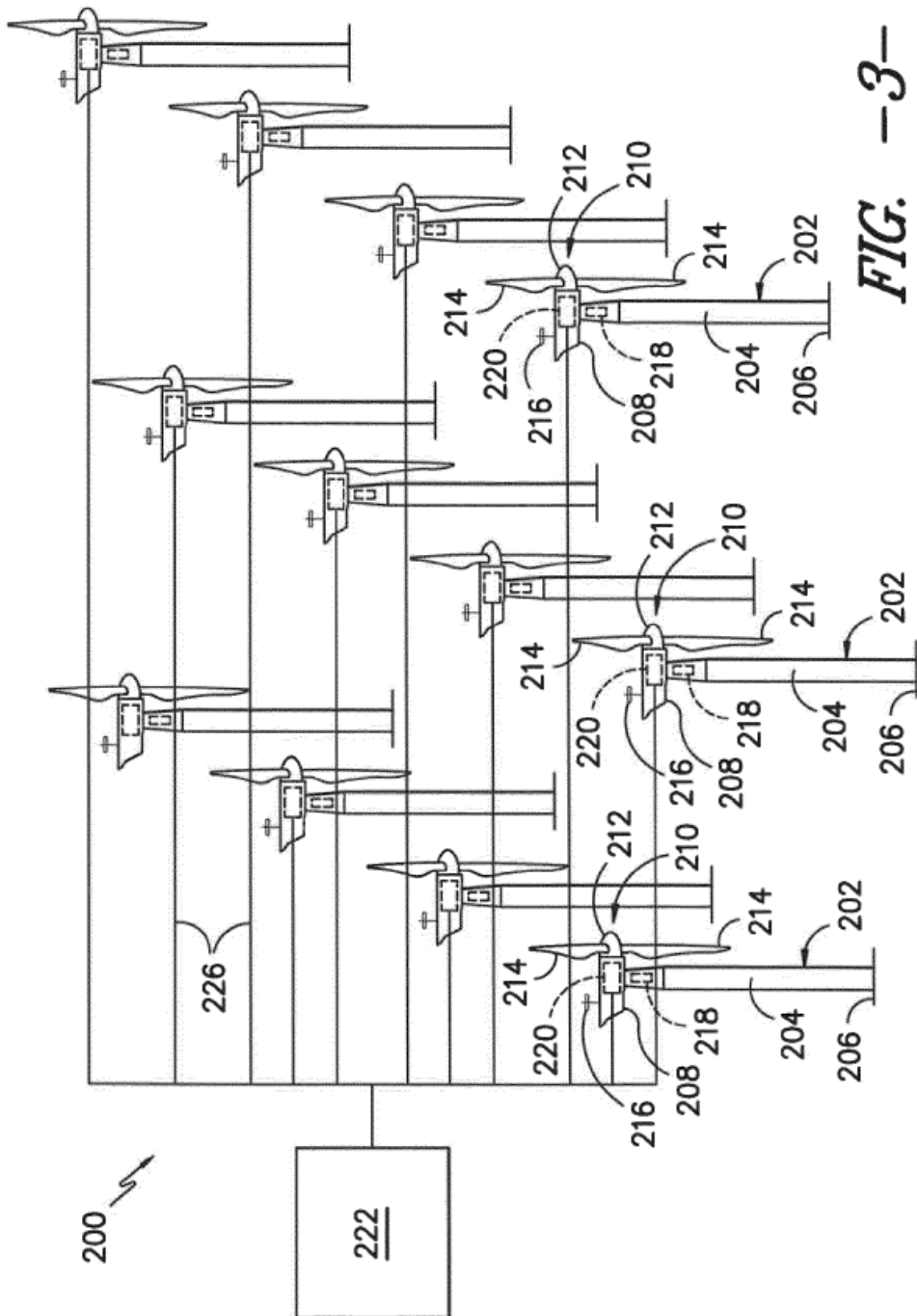


FIG. -2-
(TÉCNICA ANTERIOR)



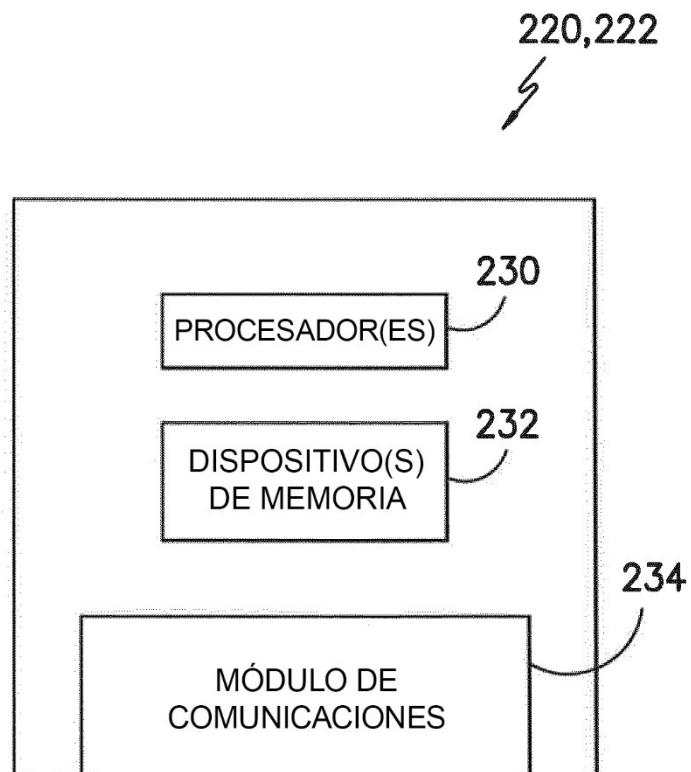


FIG. -4-

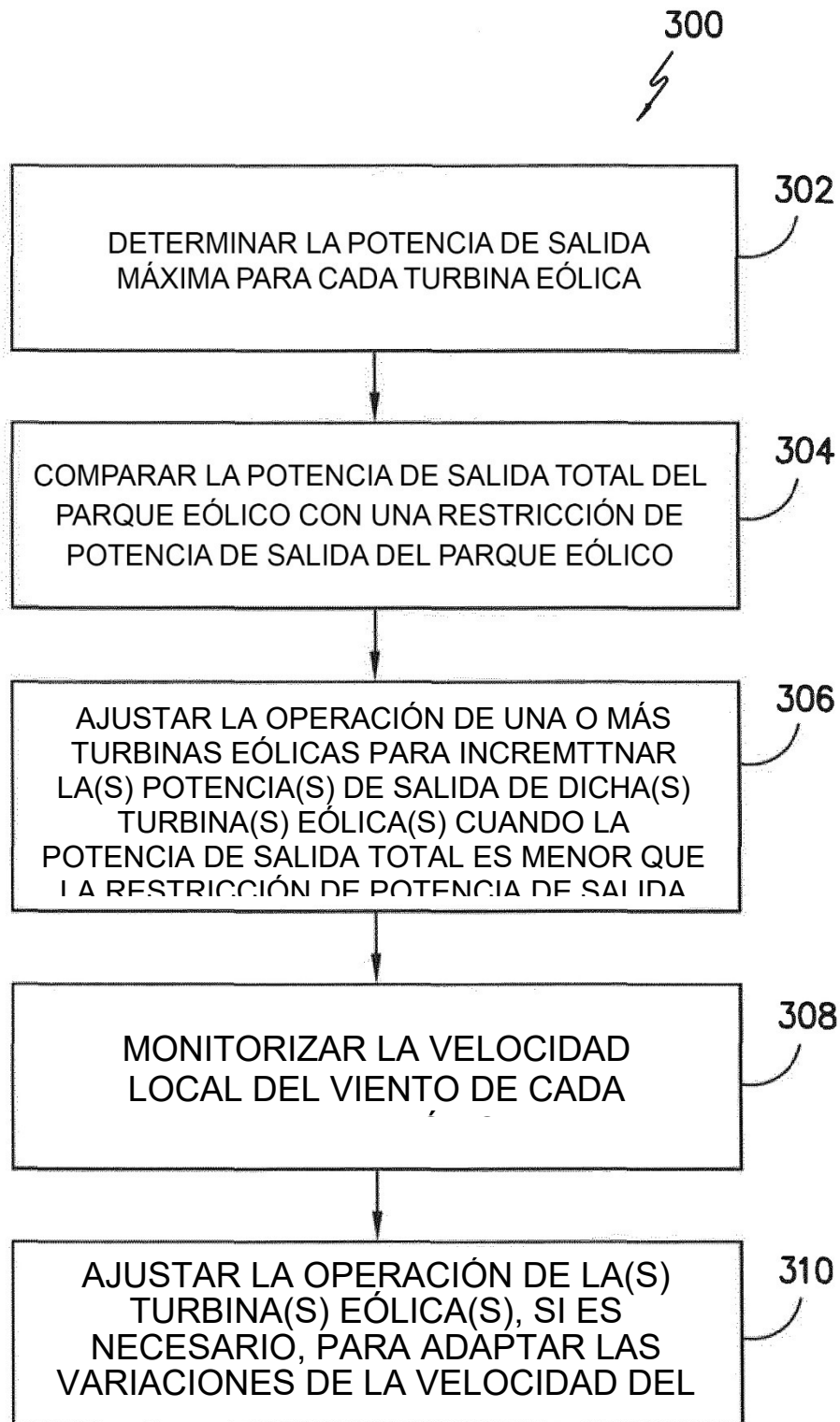
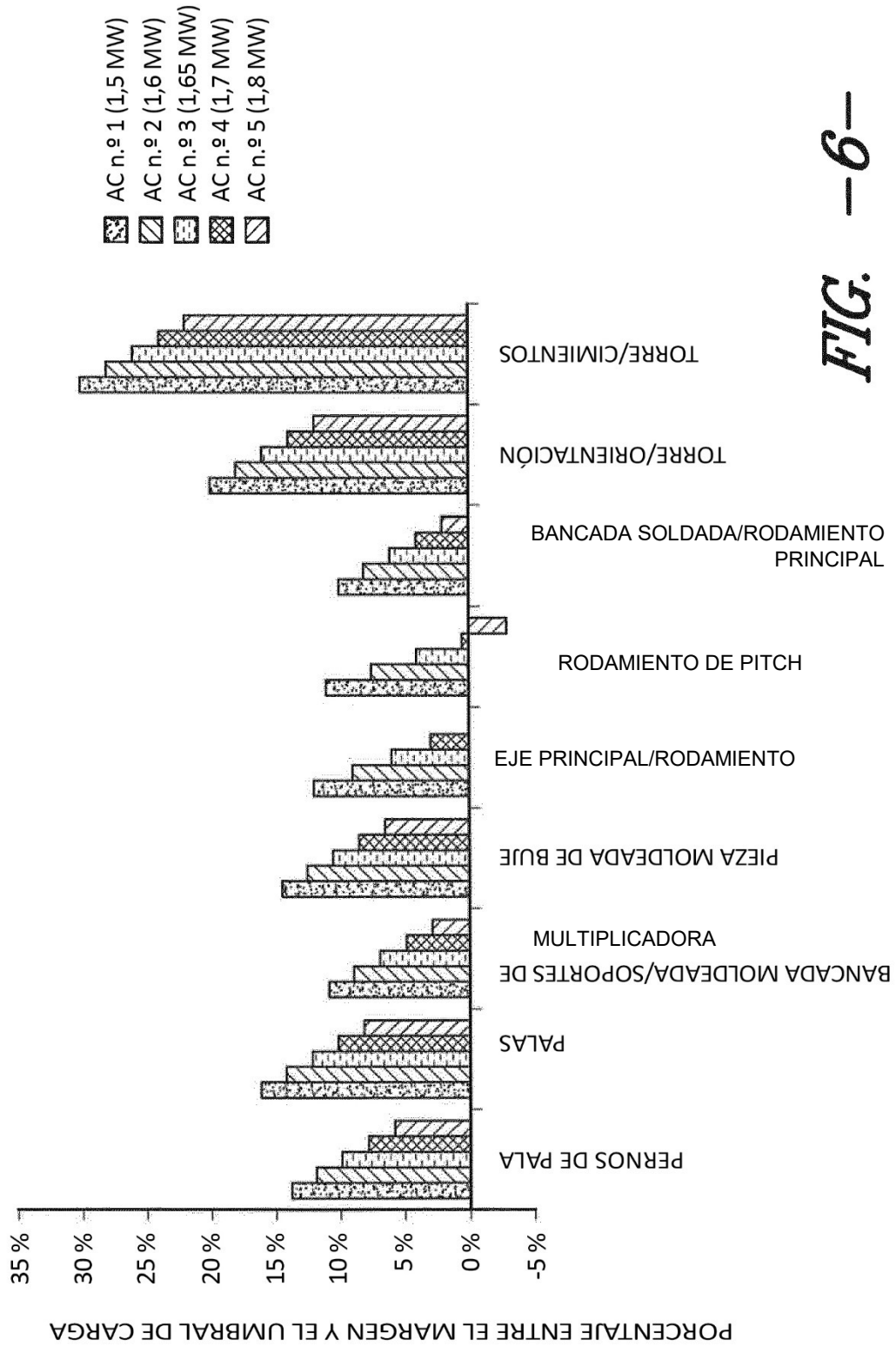
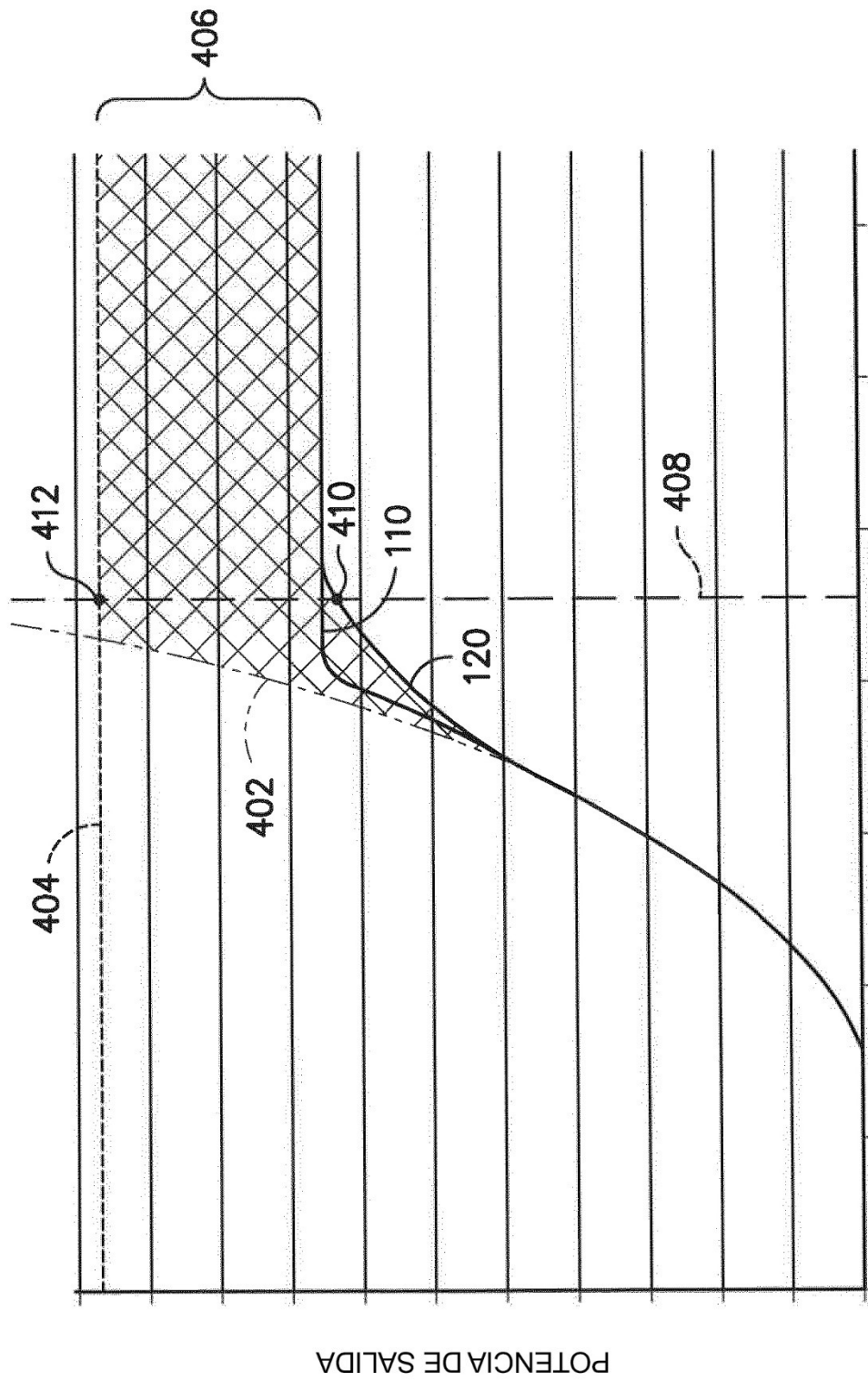


FIG. -5-





VELOCIDAD DEL VIENTO

FIG. -7-

RESTRICCIÓN DE POTENCIA DE SALIDA = 15 MW					
	POTENCIA NOMINAL	VELOCIDAD NOMINAL DEL VIENTO	VELOCIDAD REAL DEL VIENTO	POTENCIA DE SALIDA DE REFERENCIA	POTENCIA DE SALIDA MÁXIMA
TE n.º 1	1,5 MW	13 m/s	13 m/s	1,5 MW	1,7 MW
TE n.º 2	1,5 MW	13 m/s	13 m/s	1,5 MW	1,7 MW
TE n.º 3	1,5 MW	13 m/s	13 m/s	1,5 MW	1,8 MW
TE n.º 4	1,5 MW	13 m/s	12 m/s	1,35 MW	1,8 MW
TE n.º 5	1,5 MW	13 m/s	10 m/s	1,25 MW	1,8 MW
TE n.º 6	1,5 MW	13 m/s	12 m/s	1,35 MW	1,8 MW
TE n.º 7	1,5 MW	13 m/s	9 m/s	1,1 MW	1,85 MW
TE n.º 8	1,5 MW	13 m/s	9 m/s	1,1 MW	1,85 MW
TE n.º 9	1,5 MW	13 m/s	8 m/s	1,0 MW	1,9 MW
TE n.º 10	1,5 MW	13 m/s	13 m/s	1,5 MW	1,8 MW
POTENCIA DE SALIDA TOTAL				13,15 MW	

FIG. -8-