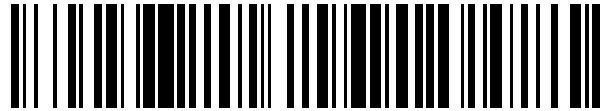


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 664 221**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.10.2012 PCT/DK2012/050369**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.04.2014 WO14053136**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.10.2012 E 12778225 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2018 EP 2904264**

54 Título: **Control de turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**18.04.2018**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)  
Hedeager 42  
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**PERICLEOUS, ALEX**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 664 221 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**

## Control de turbina eólica

La presente invención se refiere a un control de turbina eólica y, en particular, al control de una turbina eólica para una producción de energía eléctrica más eficaz y efectiva.

5 Se conoce un ejemplo de un sistema de control para una turbina eólica a partir del documento EP 1 132 614 A. Una turbina eólica es un dispositivo que genera energía eléctrica a partir de energía eólica. En efecto, la energía cinética procedente del viento se convierte en energía eléctrica mediante un generador en la turbina eólica. Normalmente, es preferible que una turbina eólica genere la salida de energía eléctrica máxima ya que este es el funcionamiento más eficaz y económico de una turbina eólica. Por tanto, existe una necesidad constante de controlar y hacer funcionar  
10 de manera eficaz la turbina eólica con el fin de ampliar la región en la que se genera la salida de energía eléctrica máxima. La presente invención pretende dirigirse, al menos en parte, a la necesidad de controlar de manera más eficaz una turbina eólica para ampliar la región en la que se genera la salida de energía eléctrica máxima. Según un primer aspecto de la presente invención se proporciona un método que comprende: recibir una o más mediciones de velocidad de viento aguas arriba de una turbina eólica; determinar una indicación de una velocidad de viento actual en la turbina eólica en el que la indicación incluye una velocidad de viento inferior a la nominal o una velocidad de viento superior a la nominal; determinar si la velocidad de viento está en una región de transición ascendente o una región de transición descendente basándose en la una o más mediciones de velocidad de viento recibidas y la indicación de la velocidad de viento actual; e iniciar una acción de sobrealimentación si se determina que la velocidad de viento está en la región de transición ascendente o la región de transición descendente. Por consiguiente, el método recibe una o más mediciones de velocidad de viento aguas arriba de la turbina eólica. Las mediciones de velocidad de viento pueden llevarse a cabo a cualquier distancia adecuada aguas arriba de la turbina eólica, por ejemplo, a 50 metros, 100 metros, 150 metros, 200 metros y así sucesivamente. Puede usarse cualquier dispositivo o sensor adecuado para obtener o tomar las mediciones de velocidad de viento, por ejemplo, un dispositivo de determinación y detección de luz (LiDAR). El dispositivo o sensor puede unirse a o ubicarse en la  
25 turbina eólica o puede ser independiente de la turbina eólica.

Una indicación de la velocidad de viento actual en la turbina eólica se determina cuando la indicación puede incluir una velocidad de viento superior a la nominal o una velocidad de viento inferior a la nominal. Se determina adicionalmente si la velocidad de viento está en una región de transición ascendente o una región de transición descendente basándose en la indicación de la velocidad de viento actual en la turbina eólica y la una o más mediciones de velocidad de viento recibidas tomadas aguas arriba de la turbina eólica. Si la velocidad de viento está en una región de transición entonces se inicia una acción de sobrealimentación. La acción de sobrealimentación puede iniciarse de manera que puede generarse energía eléctrica adicional en las regiones de transición.

Por tanto, la presente invención permite, ventajosamente, que se genere un nivel de energía eléctrica adicional o aumentado con respecto a las turbinas eólicas actuales en las regiones de transición.

35 El método puede implementarse mediante un controlador.

La determinación de la indicación de la velocidad de viento actual puede comprender además la identificación de una salida de energía eléctrica actual de un generador de la turbina eólica; y en el que la determinación de la indicación de la velocidad de viento actual puede basarse en la salida de energía eléctrica actual del generador. Por consiguiente, la velocidad de viento actual en cuanto a una indicación de si la velocidad de viento es una velocidad de viento inferior a la nominal o una velocidad de viento superior a la nominal puede determinarse basándose en la salida de energía eléctrica actual del generador. Por ejemplo, si la velocidad de viento es una velocidad de viento inferior a la nominal entonces la salida de energía eléctrica será inferior a la salida de energía eléctrica máxima permisible o designada para una turbina eólica dada. Si la velocidad de viento es una velocidad de viento superior a la nominal entonces la salida de energía eléctrica del generador será de o será sustancialmente próxima a la salida de energía eléctrica permisible o designada máxima para la turbina eólica. Tal como se apreciará, cada turbina eólica puede designarse con una salida de energía eléctrica máxima diferente. En la presente invención el término velocidad de viento superior a la nominal puede incluir tanto la velocidad de viento nominal como cualquier velocidad de viento superior a la velocidad de viento nominal.

La determinación de si la velocidad de viento está en la región de transición ascendente puede comprender además comparar la medición de velocidad de viento recibida con la indicación de la velocidad de viento actual; y en el que la velocidad de viento está en la región de transición ascendente si la indicación de la velocidad de viento en la turbina eólica es inferior a la nominal y la medición de velocidad de viento es una velocidad de viento superior a la nominal para la turbina eólica. Como tal, una región de transición ascendente es una región en la que la velocidad de viento cambiará de una velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal.

55 La determinación de si la velocidad de viento está en la región de transición ascendente comprende además determinar si dos o más mediciones de velocidad de viento recibidas consecutivas son velocidades de viento superiores a la nominal para la turbina eólica. Por consiguiente, con el fin de impedir que se active o inicie la acción de sobrealimentación de manera innecesaria el método puede determinar si dos o más mediciones de velocidad de

viento consecutivas son velocidades de viento superiores a la nominal.

5 La determinación de si la velocidad de viento está en la región de transición descendente puede comprender además comparar la medición de velocidad de viento recibida con la indicación de la velocidad de viento actual; y en el que la velocidad de viento está en la región de transición descendente si la indicación de la velocidad de viento en la turbina eólica es una velocidad de viento superior a la nominal para la turbina eólica y la medición de velocidad de viento es una velocidad de viento inferior a la nominal para la turbina eólica.

La determinación de si la velocidad de viento está en la región de transición descendente puede comprender además determinar si dos o más mediciones de velocidad de viento recibidas consecutivas son velocidades de viento inferiores a la nominal para la turbina eólica.

10 La iniciación de la acción de sobrealimentación puede comprender además hacer que un generador en la turbina eólica aumente el par eléctrico si la velocidad de viento está en la región de transición ascendente. Por consiguiente, si se determina que la velocidad de viento está en una región de transición ascendente entonces la acción de sobrealimentación iniciada puede ser aumentar el par eléctrico del generador.

15 Esto tiene el efecto ventajoso de ralentizar la velocidad de rotor y permitir un aumento en la energía eléctrica generada en la región de transición ascendente.

20 La iniciación de la acción de sobrealimentación puede comprender además hacer que un sistema de control de cabeceo de la turbina eólica altere un ángulo de cabeceo de una o más palas de turbina si la velocidad de viento está en la región de transición descendente. Por consiguiente, si se determina que la velocidad de viento está en una región de transición descendente entonces la acción de sobrealimentación iniciada puede ser alterar o cambiar el ángulo de cabeceo de una o más palas de turbina. Esto tiene el efecto ventajoso de aumentar la velocidad de rotor y permitir un aumento en la energía eléctrica generada en la región de transición descendente.

La iniciación de la acción de sobrealimentación puede comprender además hacer que uno o más dispositivos o entes aerodinámicos en la turbina eólica alteren o cambien con el fin de aumentar la velocidad de rotor en la región de transición descendente.

25 Según un segundo aspecto de la presente invención se proporciona un controlador para una turbina eólica que comprende: una entrada adaptada para recibir una o más mediciones de velocidad de viento aguas arriba de una turbina eólica; un primer procesador adaptado para determinar una indicación de una velocidad de viento actual en la turbina eólica en el que la indicación incluye una velocidad de viento inferior a la nominal o una velocidad de viento superior a la nominal; un segundo procesador adaptado para determinar si la velocidad de viento está en una  
30 región de transición ascendente o una región de transición descendente basándose en la una o más mediciones de velocidad de viento recibidas y la indicación de la velocidad de viento actual; y un tercer procesador adaptado para iniciar una acción de sobrealimentación si se determina que la velocidad de viento está en la región de transición ascendente o la región de transición descendente.

35 Según un tercer aspecto de la presente invención se proporciona un controlador para una turbina eólica adaptado para: recibir una o más mediciones de velocidad de viento aguas arriba de una turbina eólica; determinar una indicación de una velocidad de viento actual en la turbina eólica en el que la indicación incluye una velocidad de viento inferior a la nominal o una velocidad de viento superior a la nominal; determinar si la velocidad de viento está en una región de transición ascendente o una región de transición descendente basándose en la una o más mediciones de velocidad de viento recibidas y la indicación de la velocidad de viento actual; e iniciar una acción de  
40 sobrealimentación si se determina que la velocidad de viento está en la región de transición ascendente o la región de transición descendente.

El primer procesador puede estar adaptado además para identificar una salida de energía eléctrica actual de un generador de la turbina eólica; y para determinar la indicación de la velocidad de viento actual basándose en la salida de energía eléctrica actual del generador.

45 El segundo procesador puede estar adaptado además para comparar la medición de velocidad de viento recibida con la indicación de la velocidad de viento actual; y en el que la velocidad de viento está en la región de transición ascendente si la indicación de la velocidad de viento en la turbina eólica es inferior a la nominal y la medición de velocidad de viento es una velocidad de viento superior a la nominal para la turbina eólica.

50 El segundo procesador puede estar adaptado además para determinar si dos o más mediciones de velocidad de viento recibidas consecutivas son velocidades de viento superiores a la nominal para la turbina eólica.

55 El segundo procesador puede estar adaptado además para comparar la medición de velocidad de viento recibida con la indicación de la velocidad de viento actual; y en el que la velocidad de viento está en la región de transición descendente si la indicación de la velocidad de viento en la turbina eólica es una velocidad de viento superior a la nominal para la turbina eólica y la medición de velocidad de viento es una velocidad de viento inferior a la nominal para la turbina eólica.

El segundo procesador puede estar adaptado además para determinar si dos o más mediciones de velocidad de viento recibidas consecutivas son velocidades de viento inferiores a la nominal para la turbina eólica.

El tercer procesador puede estar adaptado además para hacer que el generador aumente el par eléctrico si la velocidad de viento está en la región de transición ascendente.

- 5 El tercer procesador puede estar adaptado además para hacer que un sistema de control de cabeceo de la turbina eólica altere un ángulo de cabeceo de una o más palas de turbina si la velocidad de viento está en la región de transición descendente.

El controlador puede estar adaptado para realizar cualquiera o todas las funciones y características del método mediante hardware, software o cualquier combinación de los mismos.

- 10 El primer procesador, el segundo procesador y el tercer procesador pueden ser el mismo procesador, diferentes procesadores o cualquier combinación de los mismos.

Según un cuarto aspecto de la presente invención se proporciona una turbina eólica que comprende un rotor, un generador y un controlador según cualquiera de las características y funciones del controlador descritas en el presente documento.

- 15 Según un quinto aspecto de la presente invención se proporciona un producto de programa informático que comprende un código ejecutable legible por ordenador para: recibir una o más mediciones de velocidad de viento aguas arriba de una turbina eólica; determinar una indicación de una velocidad de viento actual en la turbina eólica en el que la indicación incluye una velocidad de viento inferior a la nominal o una velocidad de viento superior a la nominal; determinar si la velocidad de viento está en una región de transición ascendente o una región de transición descendente basándose en la una o más mediciones de velocidad de viento recibidas y la indicación de la velocidad de viento actual; e iniciar una acción de sobrealimentación si se determina que la velocidad de viento está en la región de transición ascendente o la región de transición descendente.

El producto de programa informático puede comprender además un código ejecutable legible por ordenador para implementar cualquiera de todas las funciones y/o características de la presente invención.

- 25 Ahora se describirán realizaciones, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:  
la figura 1 muestra un diagrama esquemático simplificado de una turbina eólica según muchas de las realizaciones de la presente invención.

La figura 2 muestra un diagrama de flujo según muchas de las realizaciones de la presente invención.

La figura 3 muestra tres gráficas según muchas de las realizaciones de la presente invención.

- 30 La figura 4 muestra cuatro gráficas según muchas de las realizaciones de la presente invención.

Con referencia a la figura 1, una turbina eólica 101 comprende normalmente palas de turbina 102 acopladas a una góndola 103, que a su vez se monta normalmente en una torre 104.

En la figura 1, se muestran tres palas de turbina 102, sin embargo, tal como se apreciará, el número de palas de la turbina 102 depende del diseño de la turbina eólica y puede incluir una o más palas de turbina 102.

- 35 Asimismo, la figura 1 muestra una disposición de pala de turbina de eje horizontal, sin embargo, tal como se apreciará, la turbina eólica puede incluir, alternativa o adicionalmente, una disposición de pala de turbina de eje vertical.

- 40 Normalmente, la góndola 103 alojará el generador eléctrico, caja de engranajes, árboles de accionamiento, y otros equipos mecánicos y eléctricos de la turbina eólica 101, tal como un sistema de control de cabeceo, un sistema de control de guiñada y así sucesivamente, (no mostrados en la figura 1 por motivos de claridad de referencia).

Con el fin de determinar la velocidad de viento y la dirección del viento, la turbina eólica puede incluir uno o más sensores, por ejemplo, sensor de anemómetro, sensor ultrasónico, un dispositivo de determinación y detección de luz (LIDAR), y así sucesivamente, ubicados o bien en la góndola 103, o bien en un buje, o bien en/dentro de las palas de turbina, etc.

- 45 La turbina eólica también puede incluir uno o más controladores 105 para controlar el funcionamiento de la turbina eólica 101.

- 50 Las palas 102 de la turbina eólica 101 comienzan a rotar para generar energía eléctrica a velocidades de viento de aproximadamente 3 ó 4 m/s lo que se conoce en la técnica como la velocidad de activación. A medida que la velocidad de viento aumenta la turbina eólica 101 genera más energía eléctrica hasta que la turbina eólica genera la salida de energía eléctrica permisible máxima procedente del generador en la turbina eólica 101. Normalmente, esto

se produce entre 10 m/s y 12m/s (dependiendo del diseño de la turbina eólica) y se conoce en la técnica como la velocidad de viento nominal.

5 A velocidades de viento superiores a la velocidad de viento nominal la salida de energía eléctrica es independiente de manera eficaz de la velocidad de viento ya que se regula la salida de energía eléctrica para ser sustancialmente constante en la salida de energía eléctrica permisible máxima del generador.

10 Sin embargo, en la región que rodea el punto de velocidad de viento nominal, la captación de energía (por ejemplo energía eléctrica generada) puede variar ya que la velocidad de viento va de velocidad de viento inferior a la nominal a velocidad de viento superior a la nominal y viceversa de velocidad de viento superior a la nominal a velocidad de viento inferior a la nominal. Esto conlleva un funcionamiento ineficaz de la turbina eólica 101 ya que la captación de energía potencial/producción de energía eléctrica se pierde en esta región.

Con referencia a la figura 2 que muestra un diagrama de flujo 201, se describirá un ejemplo que mejora la captación de energía de la turbina eólica y permite que la turbina eólica se controle más eficazmente de manera que la salida de energía máxima se logra más rápido que con turbinas eólicas existentes.

15 Este primer ejemplo se refiere a la situación en la que la turbina eólica cambia de una velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal. Dicho de otro modo, la velocidad de viento está en una región de transición ascendente porque la velocidad de viento está cambiando de manera ascendente de velocidades de viento inferiores a la nominal a velocidades nominales o a velocidades de viento superiores a la nominal. En la siguiente descripción el término velocidad de viento superior a la nominal también incluye la velocidad de viento nominal y cualquier velocidad de viento mayor que la velocidad de viento nominal.

20 En la etapa 202, se recibe una medición de la velocidad de viento aguas arriba de la turbina eólica por el controlador en la turbina eólica.

25 La turbina eólica puede incluir uno o más sensores para medir o detectar una velocidad de viento a una distancia predefinida o en un periodo de tiempo predefinido aguas arriba de una turbina eólica. Alternativamente, los sensores pueden ubicarse en otra turbina eólica y las mediciones compartirse, en una grúa o plataforma de montaje independiente, ubicada en o unida a cualquier otro dispositivo o equipo de manera que pueden medir o detectar una velocidad de viento a una distancia predeterminada o periodo de tiempo aguas arriba de la turbina eólica y proporcionar la medición de velocidad de viento al controlador en la turbina eólica.

30 Los sensores pueden ser, por ejemplo, uno o más de un sensor de determinación y detección de luz (LiDAR), un sensor de anemómetro, un sensor ultrasónico, o cualquier otro sensor que pueda medir o detectar una velocidad de viento aguas arriba de la turbina eólica.

El controlador puede recibir las mediciones de velocidades de viento automáticamente o puede solicitar las mediciones de velocidad de viento al sensor.

35 En este ejemplo, la turbina eólica incluye un dispositivo LiDAR unido a la góndola de la turbina eólica que mide la velocidad de viento 100 metros aguas arriba a una frecuencia de 2 Hz y proporciona las mediciones de velocidad de viento automáticamente al controlador en la turbina eólica.

En la etapa 203, el controlador determina o identifica si la velocidad de viento medida recibida es una velocidad de viento inferior o superior a la nominal. La velocidad de viento nominal para turbinas eólicas puede variar dependiendo del diseño de la turbina eólica, pero en este ejemplo, la velocidad de viento nominal es de 10,7 metros por segundo (m/s).

40 En la etapa 204, el controlador identifica si la turbina eólica está funcionando en ese momento a una velocidad de viento inferior o superior a la nominal. Por ejemplo, el controlador puede identificar si la turbina eólica está funcionando en ese momento a una velocidad de viento inferior o superior a la nominal basándose en la energía eléctrica que está generándose en ese momento por el generador en la turbina eólica.

45 Tal como se describió anteriormente en el presente documento, a una velocidad de viento inferior a la nominal la salida eléctrica del generador es inferior a la salida eléctrica permisible máxima ya que la velocidad de viento no es lo suficientemente grande para producir la salida eléctrica permisible máxima del generador. A velocidades de viento superiores a la velocidad de viento nominal la salida de energía eléctrica es independiente de manera eficaz de la velocidad de viento ya que la salida de energía eléctrica se regula para ser sustancialmente constante en la salida de energía eléctrica permisible máxima del generador.

50 Por tanto, el controlador puede identificar si la turbina eólica está funcionando en ese momento a una velocidad de viento inferior o superior a la nominal basándose en la salida de energía eléctrica actual del generador.

En la etapa 205, el controlador identifica, basándose en la medición de velocidad de viento recibida y la salida de energía eléctrica actual, si la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal (una región de transición ascendente) o velocidad de viento superior a la

nominal a una velocidad de viento inferior a la nominal (una región de transición descendente). El controlador también podrá identificar si la velocidad de viento se mantiene superior a la nominal o se mantiene inferior a la nominal pero las transiciones se han identificado como regiones en las que un control mejorado de la turbina eólica permite captar energía adicional y mejorar la eficacia de la turbina eólica.

- 5 Este ejemplo se refiere a la transición de la velocidad de viento de una velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal (la región de transición ascendente) y, por consiguiente, el controlador identifica que la velocidad de viento cambiará de una velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal.

10 Una vez que el controlador identifica que la velocidad de viento cambiará de una velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal entonces, en la etapa 206, el controlador realiza una acción de sobrealimentación de modo que la turbina eólica puede captar más energía (y por tanto, generar más energía eléctrica) que las turbinas eólicas actuales.

15 En este ejemplo, la región de interés es en la que la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal y por tanto para realizar una sobrealimentación eficaz de la captación de energía, por ejemplo, aumentar la energía eléctrica generada, el controlador inicia un procedimiento para ralentizar la velocidad de rotación del rotor. Una vez que la velocidad de viento superior a la nominal medida alcanza la turbina eólica, la velocidad de viento aumentada acelera el rotor de vuelta a la velocidad correcta. La velocidad correcta para un rotor para una turbina eólica dada depende del diseño de la turbina eólica y, generalmente, es la velocidad de rotor óptima o la velocidad de rotor diseñada para producir la cantidad óptima de energía eléctrica para la turbina eólica a partir de las condiciones de viento. En este ejemplo, la velocidad de rotor correcta para la turbina eólica será de 13 revoluciones por minuto (rpm).

20 El controlador puede iniciar la acción de sobrealimentación en este caso aumentando el par eléctrico de generador que tiene el efecto de sacar la energía cinética fuera del rotor ralentizando la velocidad de rotación del rotor. En turbinas eólicas, puede aplicarse o proporcionarse una señal de par eléctrico variable que altera el par eléctrico de generador. Por ejemplo, el controlador puede proporcionar una demanda de energía particular a un convertidor en la que el convertidor genera una demanda de par o señal de par que se proporciona al generador. En este ejemplo, el controlador puede iniciar un aumento en el par eléctrico del generador que posteriormente ralentiza la velocidad de rotor un 10%. Por tanto, como la velocidad de rotor óptima en este ejemplo es de 13rpm entonces la velocidad de rotor se ralentiza a 11,7 rpm. Tal como se apreciará, la velocidad de rotor puede ralentizarse en cualquier porcentaje o cantidad adecuados para poder aumentar ventajosamente la salida de energía eléctrica según muchas de las realizaciones de la presente invención.

25 Adicional o alternativamente, el controlador puede determinar la cantidad en la que debe aumentar el par eléctrico basándose en la velocidad de viento medida aguas arriba de la turbina eólica para permitir que la velocidad de rotor vuelva a la velocidad correcta para la turbina eólica en un periodo de tiempo predefinido, por ejemplo, a los 10 segundos de que la velocidad de viento medida aguas arriba impacte en la turbina eólica. El controlador puede calcular el aumento del par eléctrico o puede referirse a una tabla de consulta para determinar el aumento del par eléctrico dependiendo de la velocidad de viento medida aguas arriba.

30 Basándose en la demanda de par o señal de par recibida entonces el generador eléctrico puede aumentar el par eléctrico ralentizando de este modo la velocidad de rotación del rotor la cantidad requerida.

40 El controlador puede iniciar otros mecanismos para ralentizar la velocidad de rotor con el fin de iniciar la sobrealimentación requerida en la región en la que la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal.

45 Por consiguiente, este ejemplo cambia ventajosamente de manera eficaz la producción de energía eléctrica de la región de velocidad de viento superior a la nominal a la región de la velocidad de viento inferior a la nominal aumentando de este modo la energía eléctrica generada y la eficacia de la turbina eólica. De hecho, este ejemplo utiliza la energía cinética en el rotor para aumentar la salida de energía eléctrica del generador en la región de transición ascendente.

50 Las ventajas de la acción de sobrealimentación en este ejemplo se señalan en la figura 3. La figura 3 incluye tres gráficos, la figura 3a muestra la velocidad de viento frente a tiempo, la figura 3b muestra energía generada frente a tiempo y la figura 3c muestra una velocidad de rotor frente a tiempo.

En la figura 3a, puede observarse que en un punto en el tiempo 301 (en este gráfico a los 126 segundos) el LiDAR detecta o mide que la velocidad de viento 100m aguas arriba de la turbina será de 10,7 m/s lo que, en este ejemplo, es la velocidad de viento nominal. Por tanto, a los 136 segundos en el gráfico la velocidad de viento alcanzará la velocidad de viento nominal.

55 El controlador también identifica a partir de la salida de energía actual que a los 126 segundos la velocidad de viento es inferior a la nominal ya que la salida de energía eléctrica será sustancialmente inferior a la salida de energía máxima del generador.

Por tanto, a los 126 segundos el controlador inicia una acción de sobrealimentación 301, que en este ejemplo es la iniciación de un aumento de par eléctrico en el generador de manera que la velocidad de rotación del rotor se reduce.

5 Haciendo referencia ahora a la figura 3b, tal como puede observarse a los 126 segundos 301 la salida de energía eléctrica 303 es inferior a la salida de energía eléctrica máxima para el generador ya que la velocidad de viento es una velocidad de viento inferior a la nominal. En este momento en el tiempo, el controlador inicia la sobrealimentación que provoca que la velocidad de rotor se ralentice y la salida de energía eléctrica procedente del generador aumente 304a. Tal como puede observarse a partir de la figura 3b, la salida de energía eléctrica máxima procedente del generador 304a se alcanza significativamente más rápido que en las turbinas eólicas existentes mostradas como 304b en la figura 3b turbinas que no emplean una acción de sobrealimentación de este tipo de este ejemplo. En efecto, la energía eléctrica adicional generada durante la región de transición ascendente de velocidades de viento inferiores a la nominal a velocidades de viento superiores a la nominal se logra en este ejemplo a partir de la conversión de la energía cinética del rotor en energía eléctrica ralentizando el rotor que entonces se ve compensado cuando la velocidad de viento va a la velocidad de viento nominal o superior a la nominal.

A los 136 segundos, la velocidad de viento nominal alcanza la turbina eólica, lo que tiene el efecto de aumentar la velocidad del rotor de vuelta a su velocidad correcta para mantener la salida de energía eléctrica máxima procedente del generador.

20 La figura 3b muestra la ventaja significativa de la acción de sobrealimentación de las realizaciones y muestra el cambio en generación de energía eléctrica de velocidades de viento superiores a la nominal a velocidades de viento inferiores a la nominal.

25 La figura 3c muestra la velocidad de rotor 305 de las palas y tal como puede observarse la velocidad de rotor es de 13 rpm en este ejemplo antes de la acción de sobrealimentación a los 126 segundos. Una vez se inicia la acción de sobrealimentación por el controlador, la velocidad de rotor se ralentiza o reduce un 10% a 11,7 rpm. Una vez que la velocidad de viento superior a la nominal llega a la turbina eólica a los 136 segundos en este ejemplo, el aumento en velocidad de viento acelera el rotor hasta que el rotor alcanza o vuelve a la velocidad de rotor correcta, que en este ejemplo es de 13 rpm.

30 El ejemplo anterior describe el caso en el que el controlador identifica que la velocidad de viento cambiará de velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal (la región de transición ascendente) e inicia una acción de sobrealimentación para aumentar la energía eléctrica generada y mejorar la eficacia de la turbina eólica.

35 En el siguiente ejemplo, explicado de nuevo con referencia a la figura 2, la región de interés es en la que la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento superior a la nominal a una velocidad de viento inferior a la nominal. Dicho de otro modo, la velocidad de viento está en una región de transición descendente porque la velocidad de viento está cambiando de manera descendente de velocidades de viento superiores a la nominal a velocidades de viento inferiores a la nominal.

En este ejemplo, el procedimiento sigue las mismas etapas de 202 a 204 en el diagrama de flujo 201 mostrado en la figura 2 y descrito anteriormente en el presente documento en relación con el primer ejemplo de modo que no se describirá por duplicado.

40 Sin embargo, en este ejemplo, en la etapa 205 el controlador identifica, basándose en la medición de velocidad de viento recibida y la salida de energía eléctrica actual, que la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento superior a la nominal a una velocidad de viento inferior a la nominal para la turbina eólica.

45 Una vez que el controlador identifica que la velocidad de viento cambiará de una velocidad de viento superior a la nominal a una velocidad de viento inferior a la nominal (y por tanto estará en una región de transición descendente) entonces, en la etapa 206, el controlador realiza una acción de sobrealimentación de modo que la turbina eólica puede captar más energía (y por tanto, generar más energía eléctrica) que las turbinas eólicas actuales.

50 En este ejemplo, la región de interés es en la que la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento superior a la nominal a una velocidad de viento inferior a la nominal y por tanto para realizar una sobrealimentación eficaz de la captación de energía, por ejemplo, aumentar la energía eléctrica generada, el controlador inicia un procedimiento para aumentar la velocidad de rotación del rotor como la acción de sobrealimentación. Una vez que la velocidad de viento inferior a la nominal medida alcanza la turbina eólica, la velocidad de viento reducida ralentiza el rotor de vuelta a la velocidad correcta que tal como se comentó anteriormente es de 13 rpm en este ejemplo pero depende del diseño de la turbina eólica.

55 El controlador puede iniciar la sobrealimentación, por ejemplo, iniciando un cambio en el cabeceo de las palas de turbina de manera que la velocidad de rotación del rotor al que se unen las palas aumenta. En este ejemplo, el controlador puede iniciar un cambio de ángulo de cabeceo de aproximadamente 1,6 grados de manera que la velocidad de rotor aumenta aproximadamente el 8%. Tal como se apreciará, la cantidad de cambio en el ángulo de

cabeceo y el aumento en la velocidad de rotor puede ser cualquier valor adecuado para los fines de la invención con el fin de generar más salida de energía eléctrica en la región de transición descendente.

5 El controlador puede iniciar otros mecanismos, por ejemplo, usando pestañas o cualquier otro componente aerodinámico, para aumentar la velocidad de rotor con el fin de iniciar la sobrealimentación requerida en la región en la que la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento superior a la nominal a una velocidad de viento inferior a la nominal.

10 Por consiguiente, este ejemplo amplía ventajosamente la región en la que puede lograrse sustancialmente la producción de energía eléctrica máxima. La sobrealimentación permite de manera eficaz una producción de energía eléctrica máxima sustancialmente de la región de velocidad de viento inferior a la nominal aumentando de este modo la energía eléctrica generada y la eficacia de la turbina eólica. Como tal, la salida de energía eléctrica se cambia de manera eficaz de nuevo de velocidades de viento superiores a la nominal a velocidades de viento inferiores a la nominal.

15 Las ventajas de la acción de sobrealimentación en este ejemplo se señalan en la figura 4. La figura 4 incluye cuatro gráficos, la figura 4a muestra la velocidad de viento frente a tiempo, la figura 4b muestra el cambio de ángulo de cabeceo frente a tiempo, la figura 4c muestra una velocidad de rotor frente a tiempo, y la figura 4d muestra energía generada frente a tiempo.

20 En la figura 4a, que muestra velocidad de viento 403 frente a tiempo, puede observarse que en un momento en el tiempo (en este gráfico a los 23 segundos) el LiDAR o dispositivo similar detecta o mide que la velocidad de viento 100m aguas arriba de la turbina eólica caerá a una velocidad inferior a la velocidad de viento nominal (que en este ejemplo es de 10,7 m/s). Por tanto, a los 33 segundos en el gráfico 402 la velocidad de viento inferior a la nominal alcanzará la turbina eólica.

25 El controlador también identifica a partir de la salida de energía eléctrica actual que la turbina eólica está funcionando en ese momento a una velocidad de viento nominal ya que está generando la energía eléctrica permisible máxima (lo que puede observarse a partir de la figura 4d). Por consiguiente, el controlador determina o identifica que la turbina eólica estará en poco tiempo en una transición descendente, dicho de otro modo, la velocidad de viento está cambiando de una velocidad de viento superior a la nominal a una velocidad de viento inferior a la nominal.

30 Por tanto, a los 23 segundos en los gráficos de la figura 4, el controlador inicia una acción de sobrealimentación 401 que, en este ejemplo, es la iniciación de un cambio en el ángulo de cabeceo de manera que la velocidad del rotor se ve aumentada (tal como puede observarse a partir de las figuras 4b y 4c).

35 Haciendo referencia a la figura 4b, puede observarse que a los 23 segundos cuando la acción de sobrealimentación se inicia 401 por el controlador el ángulo de cabeceo 404 se cambia o altera aproximadamente 1,6 grados 405a de manera que el rotor aumentará la velocidad. El ángulo de cabeceo se altera para extraer más energía procedente del viento mientras que (tal como puede observarse a partir de la figura 4d) se mantiene la misma producción de energía eléctrica permisible máxima cuando la velocidad de rotor aumenta. Las turbinas eólicas convencionales siguen 405b durante el periodo de transición descendente.

40 La figura 4c muestra la velocidad de rotor antes de la acción de sobrealimentación 406 y después de que la acción de sobrealimentación se haya iniciado 401 a los 23 segundos. Tal como puede observarse en el gráfico, una vez que la sobrealimentación se inicia la velocidad de rotor aumenta 407a mientras que las turbinas eólicas convencionales siguen 407b durante el periodo de transición descendente.

45 La figura 4d antes de la acción de sobrealimentación en 401 la energía eléctrica generada 408 está en el máximo permisible antes de la acción de sobrealimentación. Una vez que la acción de sobrealimentación se ha iniciado la salida de energía eléctrica permanece en el máximo permisible ya que la velocidad de viento inferior a la nominal no ha alcanzado todavía la turbina eólica. A los 33 segundos en el gráfico la velocidad de viento inferior a la nominal alcanza la turbina eólica y en este ejemplo, la energía eléctrica generada 409a permanece en el máximo permisible durante un periodo de tiempo después de que la velocidad de viento inferior a la nominal alcance la turbina eólica mientras que en las turbinas eólicas convencionales la energía eléctrica generada 409b cae significativamente tan pronto como la velocidad de viento inferior a la nominal alcanza la turbina eólica.

50 Por consiguiente, en este ejemplo, la energía eléctrica producida es mayor que la energía extraída de la energía eólica debido a la aceleración del rotor antes de que las velocidades de viento inferiores a la nominal alcancen la turbina eólica. De manera eficaz, la energía cinética almacenada en el rotor se usa para generar energía eléctrica adicional una vez que la velocidad de viento cae a velocidades de viento inferiores a la nominal.

55 En el ejemplo anterior, la velocidad de viento aguas arriba de la turbina eólica se mide a una frecuencia de 2 Hz, por ejemplo, una medición cada medio segundo y, por tanto, es sustancialmente continua. Tal como se apreciará, la frecuencia de la toma de las mediciones de la velocidad de viento puede ser cualquier frecuencia adecuada para los fines de la invención, por ejemplo cada 1 segundo, cada 2 segundos, cada 5 segundos, y así sucesivamente.



En los ejemplos descritos anteriormente, la velocidad de viento se midió o detectó 100 metros aguas arriba de la turbina eólica. Normalmente, la velocidad de viento nominal para turbinas eólicas es de aproximadamente 10m/s a 12 m/s y por tanto a los 100 metros tomaría aproximadamente 10 segundos que la velocidad de viento medida en la región de la velocidad de viento nominal alcanzara la turbina eólica. Dicho de otro modo, si la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal o de una velocidad de viento superior a la nominal a una velocidad de viento inferior a la nominal entonces la velocidad de viento será próxima a la velocidad de viento nominal y como tal tomará aproximadamente 10 segundos alcanzar la turbina, lo que es tiempo suficiente para iniciar la acción de sobrealimentación apropiada dependiendo de la transición que se producirá. Sin embargo, tal como se apreciará, la velocidad de viento puede medirse o detectarse a 50 metros, 100 metros, 150 metros, 200 metros, y así sucesivamente aguas arriba de la turbina eólica.

En los ejemplos anteriores, se toma una única medición de velocidad de viento 100 metros aguas arriba de la turbina eólica y la determinación de si iniciar una acción de sobrealimentación se realiza basándose en la única medición.

Adicionalmente, el sistema puede tomar más de una medición de velocidad de viento y la determinación de si iniciar una acción de sobrealimentación puede basarse en las múltiples mediciones de velocidad de viento. Por ejemplo, en los ejemplos anteriores se toma una medición de velocidad de viento cada medio segundo y la determinación de si debe iniciarse una acción de sobrealimentación puede basarse en, por ejemplo, 3 mediciones de velocidad de viento posteriores. En el ejemplo de la velocidad de viento que cambia de una velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal, la decisión de iniciar una acción de sobrealimentación puede tomarse si las tres mediciones de velocidad de viento posteriores son todas velocidades de viento superiores a la nominal. De manera similar, en el ejemplo de la velocidad de viento que cambia de una velocidad de viento superior a la nominal a una velocidad de viento inferior a la nominal, la decisión de iniciar una acción de sobrealimentación puede tomarse si las tres mediciones de velocidad de viento posteriores son todas velocidades de viento inferiores a la nominal.

Tal como se apreciará, la determinación de si iniciar una acción de sobrealimentación puede basarse en cualquier número de mediciones de viento.

Alternativa o adicionalmente, puede medirse la velocidad de viento a múltiples distancias, por ejemplo, la velocidad de viento a 100 metros, a 150 metros y a 200 metros aguas arriba de la turbina eólica. La determinación de si iniciar una acción de sobrealimentación puede basarse en las velocidades de viento medidas a las múltiples distancias. Por ejemplo, si la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal, la decisión de iniciar una acción de sobrealimentación puede tomarse si las mediciones de velocidad de viento en todas o en la mayoría de las distancias son velocidades de viento superiores a la nominal. De manera similar, si la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento superior a la nominal a una velocidad de viento inferior a la nominal, la decisión de iniciar una acción de sobrealimentación puede tomarse si las mediciones de velocidad de viento en todas o en la mayoría de las distancias son velocidades de viento inferiores a la nominal. Tal como se apreciará, las distancias a las que se toman múltiples mediciones de la velocidad de viento pueden ser cualquier distancia adecuada para los fines de la invención.

En los ejemplos anteriores, la velocidad de viento actual en la turbina eólica se indica o deduce de la salida de energía eléctrica del generador. Sin embargo, la velocidad de viento actual en la turbina eólica puede determinarse basándose en mediciones de velocidad de viento tomadas en, o sustancialmente próximas a, la turbina eólica. La velocidad de viento actual puede determinarse basándose en las velocidades de viento medidas aguas arriba de la turbina eólica y deducirse o interpolarse a partir de esas mediciones. Tal como se apreciará, la velocidad de viento en la turbina eólica puede determinarse a partir de varios métodos diferentes y cualquier método adecuado para la invención.

Por consiguiente, las realizaciones anteriores de la presente invención permiten un control mejorado de una turbina eólica para captar de manera más eficaz y eficiente energía procedente del viento. En efecto, la región en la que se genera la energía eléctrica máxima sustancialmente por la turbina eólica se amplía ventajosamente realizando las acciones de sobrealimentación en las regiones de transición que rodean la velocidad de viento nominal.

Aunque se han mostrado y descrito realizaciones de la presente invención, se comprenderá que tales realizaciones se describen únicamente a modo de ejemplo.

A los expertos en la técnica se les ocurrirán numerosas variaciones, cambios y sustituciones sin alejarse del alcance de la presente invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas. Por consiguiente, se pretende que las siguientes reivindicaciones cubran todas tales variaciones o equivalentes para que se encuentren dentro del alcance de la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Método que comprende:  
recibir una o más mediciones de velocidad de viento aguas arriba de una turbina eólica;  
5 determinar una indicación de una velocidad de viento actual en dicha turbina eólica en el que dicha indicación incluye una velocidad de viento inferior a la nominal o una velocidad de viento superior a la nominal;  
10 determinar si la velocidad de viento está en una región de transición ascendente en la que la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal, o una región de transición descendente en la que la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento superior a la nominal a una velocidad de viento inferior a la nominal, basándose en dichas una o más mediciones de velocidad de viento recibidas y dicha indicación de dicha velocidad de viento actual; e  
iniciar una acción de sobrealimentación para generar energía adicional, si se determina que dicha velocidad de viento está en dicha región de transición ascendente o dicha región de transición descendente.
- 15 2. Método según la reivindicación 1, en el que dicha determinación de dicha indicación de dicha velocidad de viento actual comprende además:  
identificar una salida de energía eléctrica actual de un generador de dicha turbina eólica; y  
determinar dicha indicación de dicha velocidad de viento actual basándose en dicha salida de energía eléctrica actual de dicho generador.
- 20 3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que dicha determinación de si dicha velocidad de viento está en dicha región de transición ascendente comprende además:  
comparar dicha medición de velocidad de viento recibida con dicha indicación de dicha velocidad de viento actual; y en el que dicha velocidad de viento está en dicha región de transición ascendente si dicha indicación de dicha velocidad de viento en dicha turbina eólica es inferior a la nominal y dicha medición de velocidad de viento es una velocidad de viento superior a la nominal para dicha turbina eólica.
- 25 4. Método según la reivindicación 3, en el que dicha determinación de si dicha velocidad de viento está en dicha región de transición ascendente comprende además:  
determinar si dos o más mediciones de velocidad de viento recibidas consecutivas son velocidades de viento superiores a la nominal para dicha turbina eólica.
- 30 5. Método según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha determinación de si dicha velocidad de viento está en dicha región de transición descendente comprende además:  
35 comparar dicha medición de velocidad de viento recibida con dicha indicación de dicha velocidad de viento actual; y en el que dicha velocidad de viento está en dicha región de transición descendente si dicha indicación de dicha velocidad de viento en dicha turbina eólica es una velocidad de viento superior a la nominal para dicha turbina eólica y dicha medición de velocidad de viento es una velocidad de viento inferior a la nominal para dicha turbina eólica.
- 40 6. Método según la reivindicación 5, en el que dicha determinación de si dicha velocidad de viento está en dicha región de transición descendente comprende además:  
determinar si dos o más mediciones de velocidad de viento recibidas consecutivas son velocidades de viento inferiores a la nominal para dicha turbina eólica.
- 45 7. Método según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha iniciación de dicha acción de sobrealimentación comprende además:  
hacer que un generador de dicha turbina eólica aumente el par eléctrico si dicha velocidad de viento está en dicha región de transición ascendente.
8. Método según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha iniciación de dicha acción de sobrealimentación comprende además:  
hacer que un sistema de control de cabeceo de dicha turbina eólica altere un ángulo de cabeceo de una o más palas de turbina si dicha velocidad de viento está en dicha región de transición descendente.
9. Controlador para una turbina eólica que comprende:

una entrada adaptada para recibir una o más mediciones de velocidad de viento aguas arriba de una turbina eólica;

5 un primer procesador adaptado para determinar una indicación de una velocidad de viento actual en dicha turbina eólica en el que dicha indicación incluye una velocidad de viento inferior a la nominal o una velocidad de viento superior a la nominal;

10 un segundo procesador adaptado para determinar si la velocidad de viento está en una región de transición ascendente en la que la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento inferior a la nominal a una velocidad de viento superior a la nominal, o una región de transición descendente en la que la velocidad de viento cambia de una velocidad de viento superior a la nominal a una velocidad de viento inferior a la nominal, basándose en dichas una o más mediciones de velocidad de viento recibidas y en dicha indicación de dicha velocidad de viento actual; y

un tercer procesador adaptado para iniciar una acción de sobrealimentación para generar energía adicional, si se determina que dicha velocidad de viento está en dicha región de transición ascendente o dicha región de transición descendente.

15 10. Controlador según la reivindicación 9, en el que dicho primer procesador está adaptado además para identificar una salida de energía eléctrica actual de un generador de dicha turbina eólica; y para determinar dicha indicación de dicha velocidad de viento actual basándose en dicha salida de energía eléctrica actual de dicho generador.

20 11. Controlador según la reivindicación 9 ó 10, en el que dicho segundo procesador está adaptado además para comparar dicha medición de velocidad de viento recibida con dicha indicación de dicha velocidad de viento actual; y en el que dicha velocidad de viento está en dicha región de transición ascendente si dicha indicación de dicha velocidad de viento en dicha turbina eólica es inferior a la nominal y dicha medición de velocidad de viento es una velocidad de viento superior a la nominal para dicha turbina eólica.

25 12. Controlador según la reivindicación 11, en el que dicho segundo procesador está adaptado además para determinar si dos o más mediciones de velocidad de viento recibidas consecutivas son velocidades de viento superiores a la nominal para dicha turbina eólica.

30 13. Controlador según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que dicho segundo procesador está adaptado además para comparar dicha medición de velocidad de viento recibida con dicha indicación de dicha velocidad de viento actual; y en el que dicha velocidad de viento está en dicha región de transición descendente si dicha indicación de dicha velocidad de viento en dicha turbina eólica es una velocidad de viento superior a la nominal para dicha turbina eólica y dicha medición de velocidad de viento es una velocidad de viento inferior a la nominal para dicha turbina eólica.

35 14. Controlador según la reivindicación 13, en el que dicho segundo procesador está adaptado además para determinar si dos o más mediciones de velocidad de viento recibidas consecutivas son velocidades de viento inferiores a la nominal para dicha turbina eólica.

15. Controlador según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en el que dicho tercer procesador está adaptado además para hacer que un generador de dicha turbina eólica aumente el par eléctrico si dicha velocidad de viento está en dicha región de transición ascendente.

40 16. Controlador según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15, en el que dicho tercer procesador está adaptado además para hacer que un sistema de control de cabeceo de dicha turbina eólica altere un ángulo de cabeceo de una o más palas de turbina si dicha velocidad de viento está en dicha región de transición descendente.

45 17. Turbina eólica que comprende un rotor, un generador y un controlador según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 16.

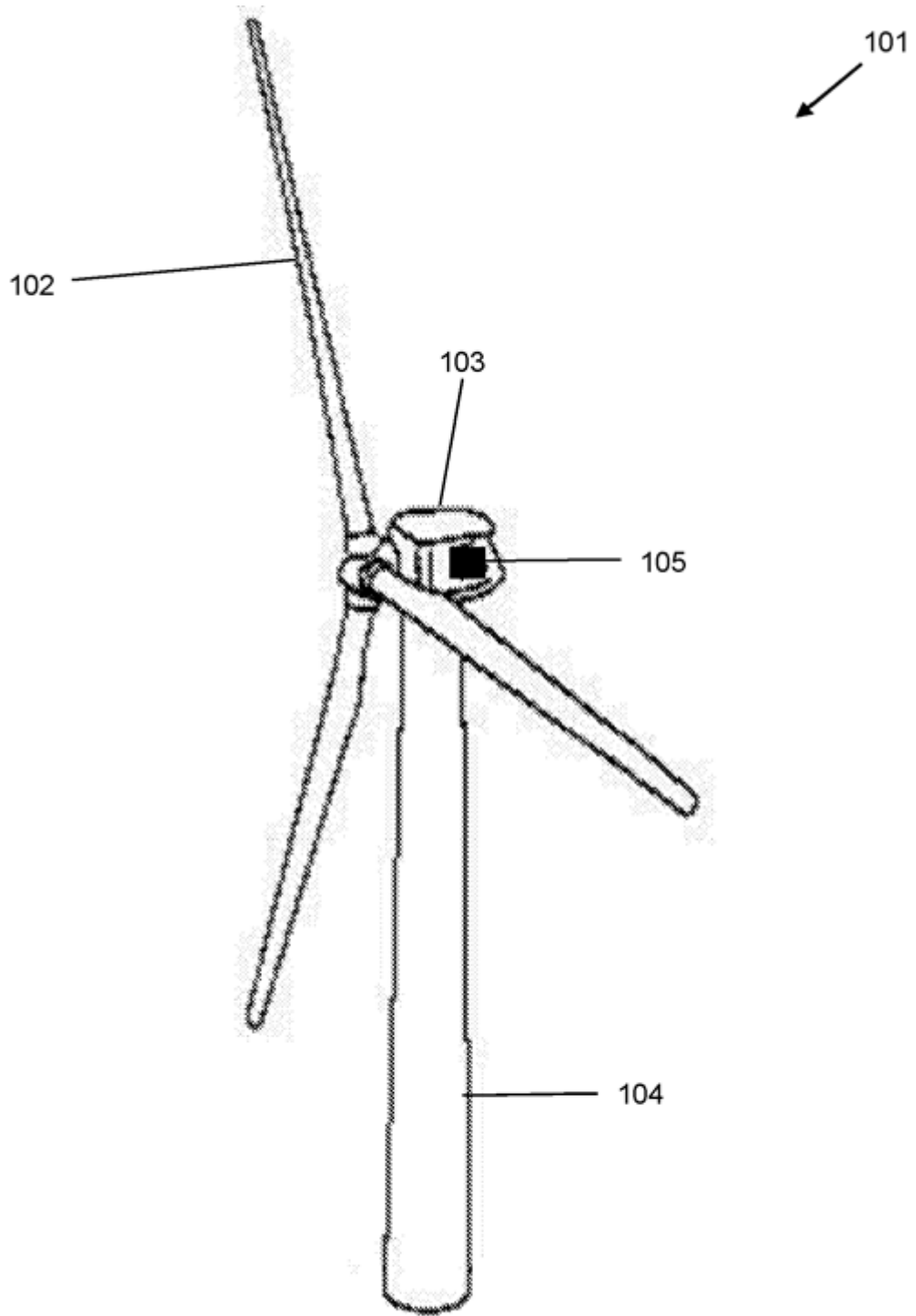


Figura 1

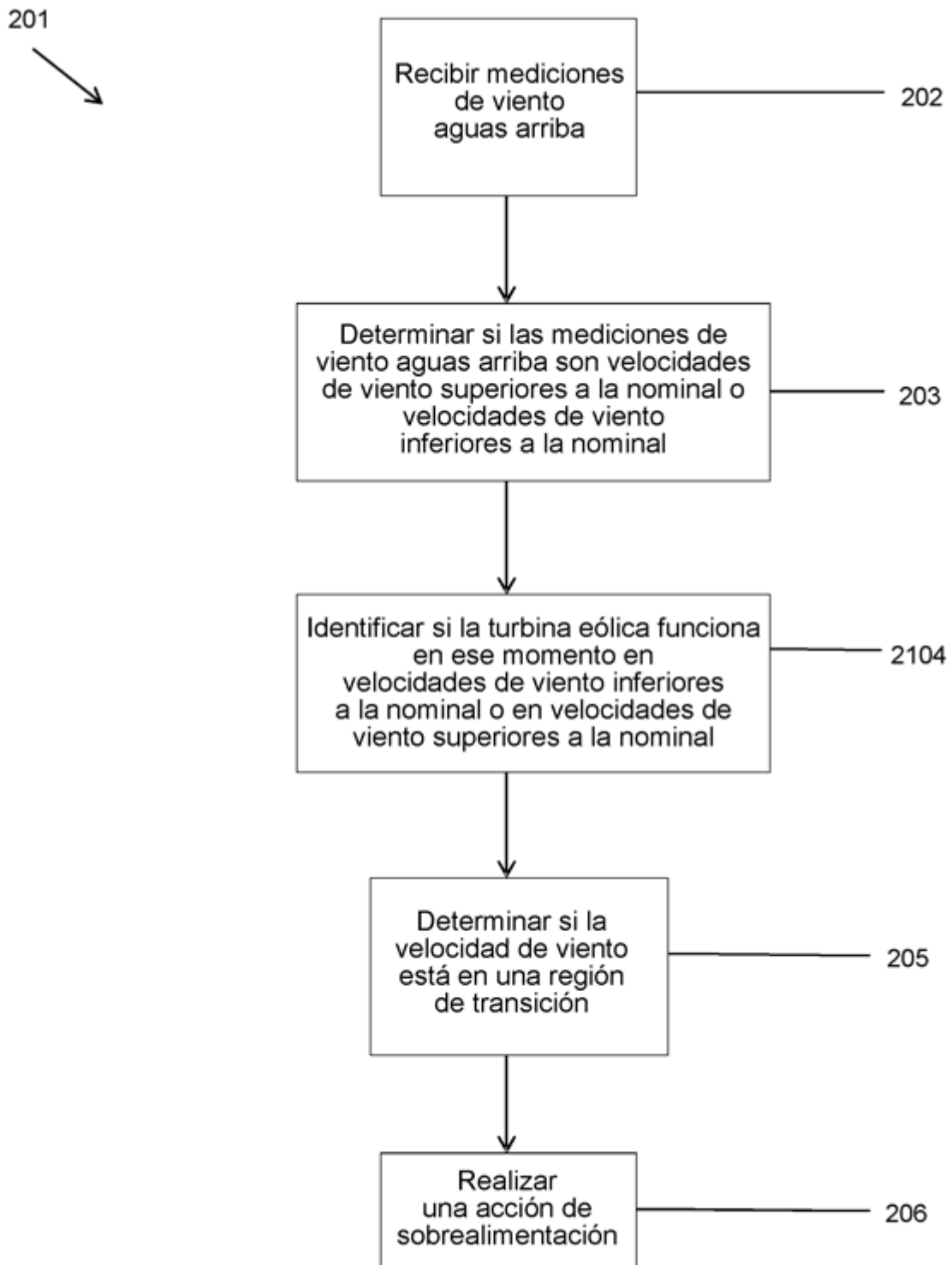


Figura 2

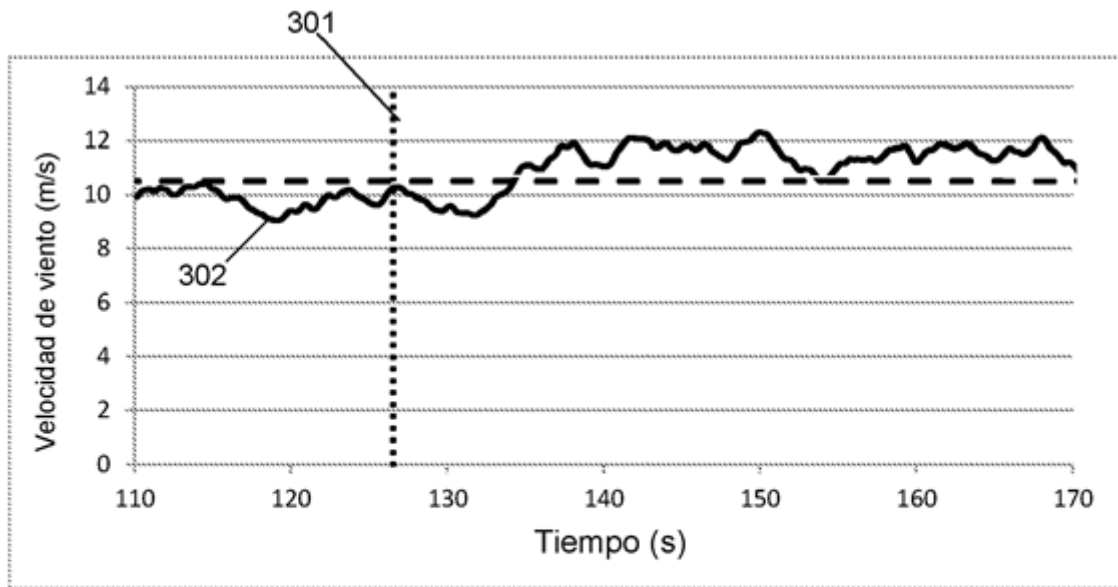


Figura 3a

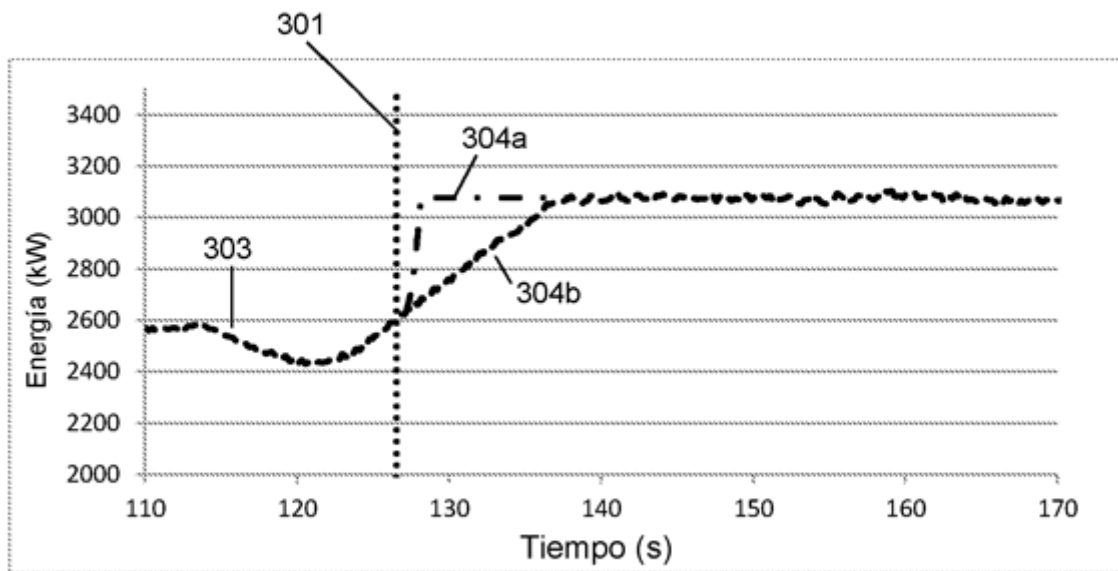


Figura 3b

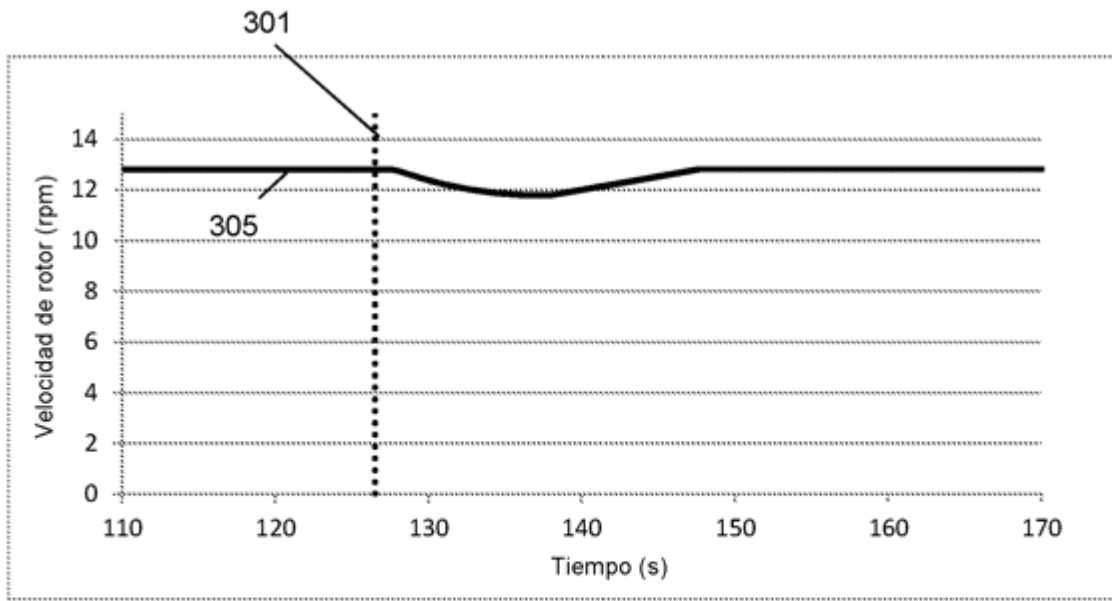


Figura 3c

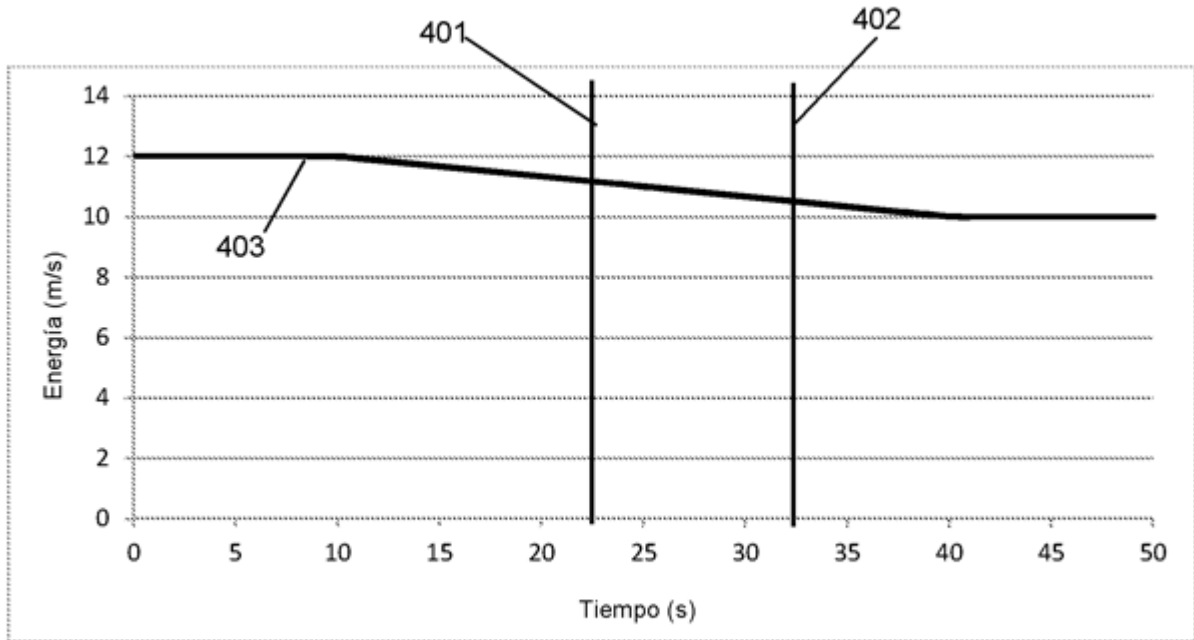


Figura 4a

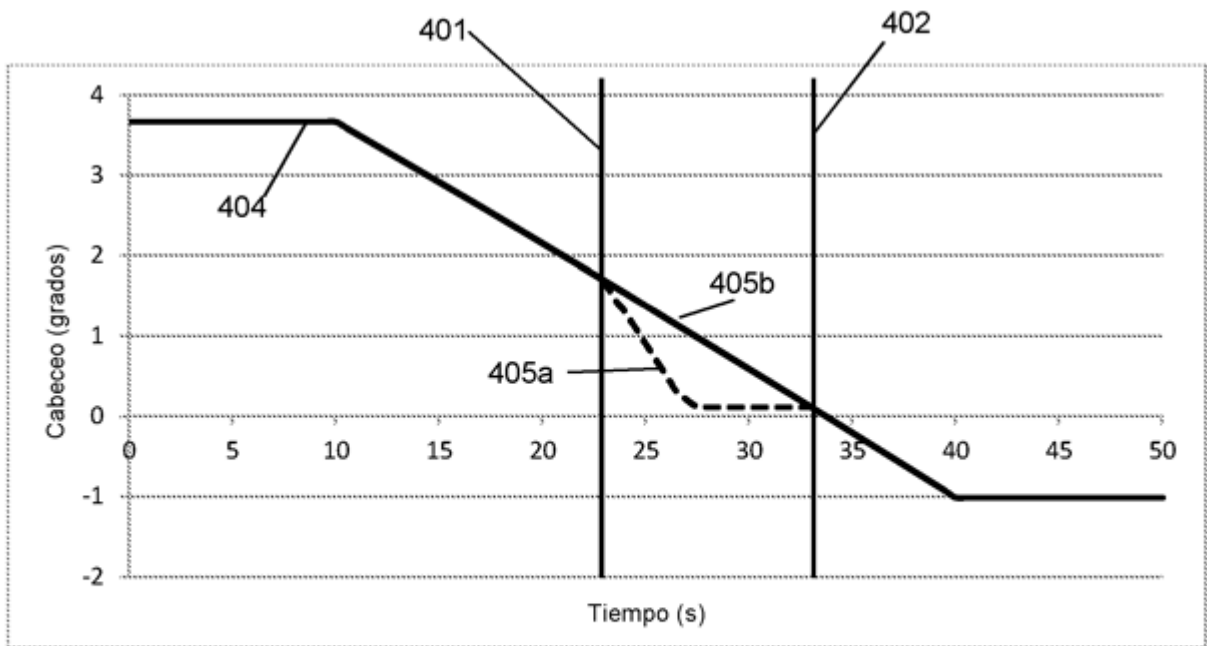


Figura 4b

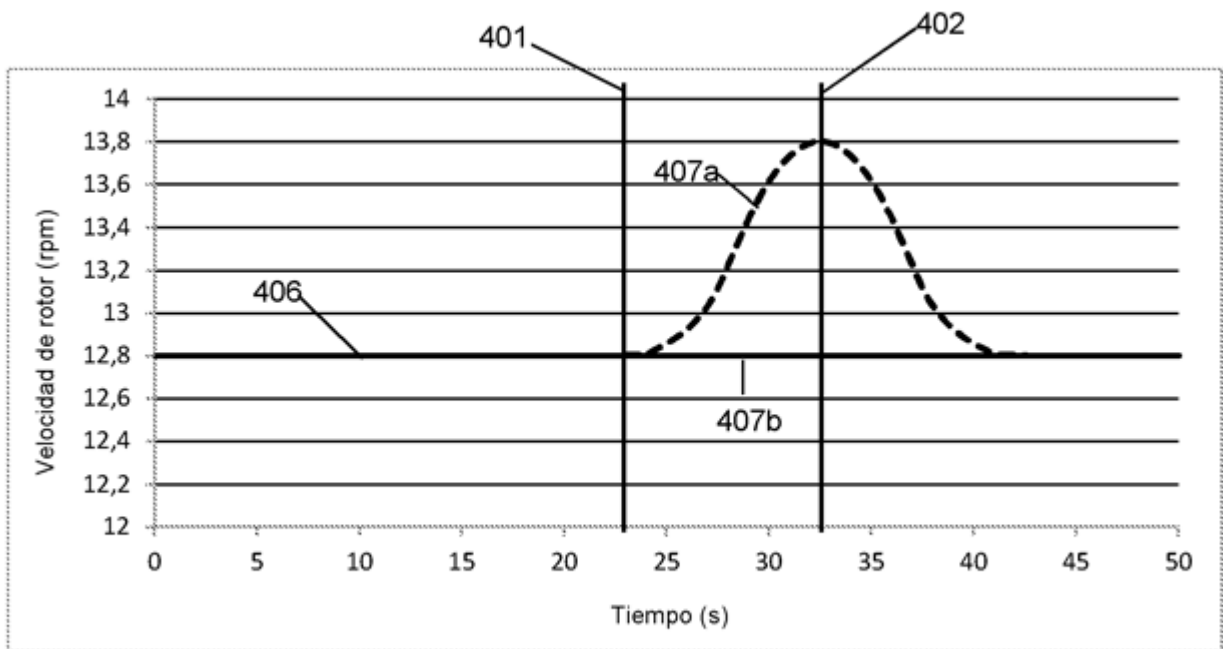


Figura 4c



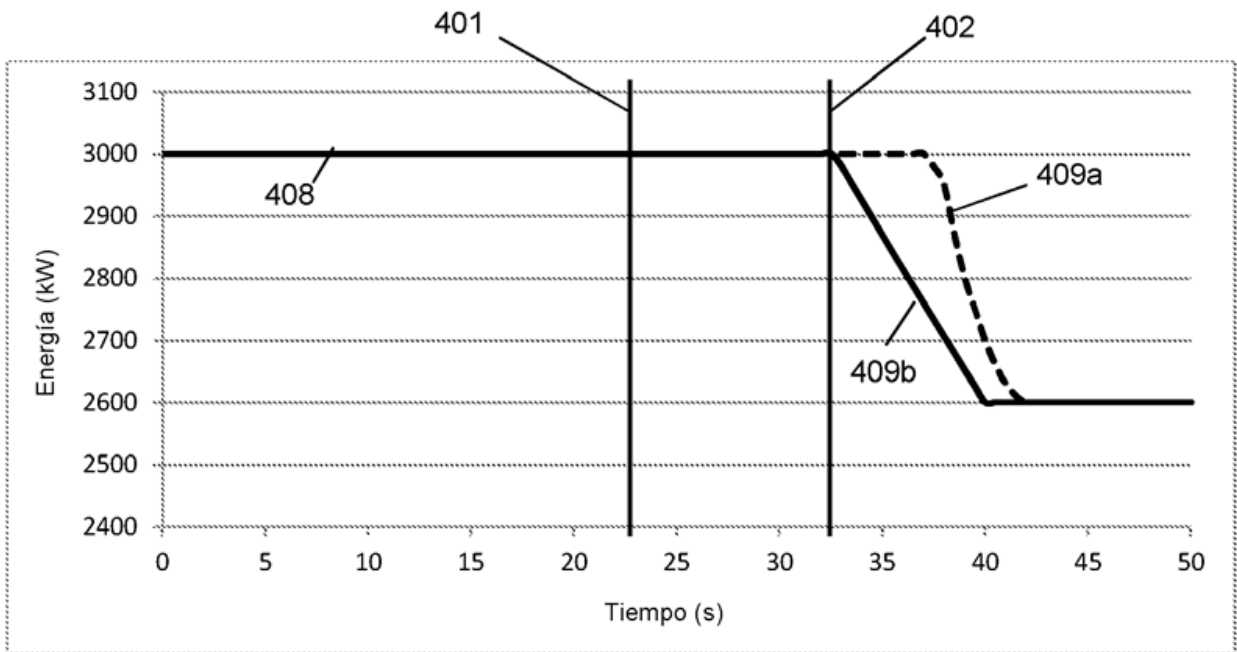


Figura 4d