

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 446**

51 Int. Cl.:

**G01M 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.12.2012 PCT/DK2012/050491**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.07.2013 WO13097860**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2012 E 12813260 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2019 EP 2798325**

54 Título: **Estimación y control de cargas experimentadas en una estructura**

30 Prioridad:

**30.12.2011 US 201161582171 P**  
**30.12.2011 DK 201170773**  
**03.02.2012 DK 201270056**  
**03.02.2012 US 201261594927 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.07.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**THOMSEN, JESPER SANDBERG;**  
**DALSGAARD, SØREN;**  
**ANDERSEN, ASGER SVENNING y**  
**RISAGER, LARS**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 719 446 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

Estimación y control de cargas experimentadas en una estructura

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere en general a métodos y sistemas para estimar una cantidad de carga experimentada en una estructura, y a métodos y sistemas para controlar la cantidad de carga experimentada en la estructura.

10

**Antecedentes de la invención**

Muchas estructuras (incluyendo estructuras estacionarias, tal como puentes, edificios o similares, así como estructuras o máquinas en movimiento, tal como vehículos, grúas, turbinas eólicas o similares) operan en entornos con condiciones impredecibles, exponiendo las estructuras a altos niveles de carga mecánica, incluyendo carga extrema y carga de fatiga cíclica. Para aumentar la fiabilidad y la vida útil de operación, tales estructuras a menudo están hechas con materiales costosos de alta resistencia y están diseñadas para evitar fallos bajo altos niveles de carga. Sin embargo, altos niveles de carga pueden producirse esporádicamente en algunos entornos y, por lo tanto, pueden experimentarse con relativa frecuencia durante la vida útil de una estructura. En consecuencia, tales estructuras a menudo se diseñan en exceso y/o se operan en un modo demasiado conservador para las condiciones a las que están expuestas la mayor parte del tiempo, lo que reduce el rendimiento general de la inversión.

15

20

Además, predecir los niveles de carga a los que podría estar expuesta una estructura durante su vida útil puede ser difícil, particularmente cuando algunas de las fuentes de carga no son deterministas, tal como las condiciones climáticas, las condiciones del terreno y/o las acciones del operador. Por ejemplo, las aeronaves están sujetas a condiciones climáticas no deterministas y a acciones del operador. Como otro ejemplo, una estructura de transporte terrestre, tal como un camión cisterna de combustible, está sujeta a condiciones de terreno no deterministas y a acciones del operador. Un tercer ejemplo, al que se hace referencia a través de la siguiente descripción a modo de ejemplo, pero no de forma limitativa, es un generador de turbina eólica (WTG). Los WTG, en particular las palas de los WTG, están sujetos a cargas de fatiga cíclica, así como a cargas extremas debido a condiciones de viento no deterministas durante su vida útil.

25

30

Un WTG es un sistema de conversión de energía que convierte la energía eólica cinética en energía eléctrica para redes eléctricas de servicios públicos. Específicamente, el viento incidente en las palas del WTG hace que gire un rotor del WTG. La energía mecánica del rotor giratorio, a su vez, se convierte en energía eléctrica mediante un generador eléctrico. Debido a que las condiciones del viento pueden variar significativamente desde una ubicación a otra, un WTG generalmente se diseña o selecciona entre diferentes clases de fiabilidad de WTG para soportar las condiciones de viento esperadas de la ubicación.

35

40

Sin embargo, como se indicó anteriormente, debido a que las condiciones climáticas no son deterministas, las condiciones del viento esperadas, medidas al asentar una ubicación, pueden no representar completamente las condiciones reales del viento que experimenta el WTG después de la instalación. En consecuencia, la carga experimentada por el WTG (o porciones del mismo) puede exceder los niveles para los cuales se diseñó el WTG. La discrepancia entre las condiciones pronosticadas del viento y las condiciones reales del viento podría deberse a una serie de fuentes que incluyen, por ejemplo, variaciones normales en las condiciones del viento de un año a otro, o información insuficiente en las mediciones de las condiciones del viento. Muchos WTG tienen la capacidad de detectar condiciones extremas de viento, incluyendo ráfagas de viento y altos niveles de cizalladura del viento, y con frecuencia se reducen o se apagan para evitar daños excesivos al detectar condiciones extremas de viento. Sin embargo, la detección precisa de las condiciones extremas del viento es difícil e, incluso si las condiciones del viento se miden con precisión, son un proxy crudo de la carga real experimentada por el WTG debido a las condiciones del viento. Estas y las limitaciones relacionadas con el estado actual de la técnica limitan significativamente la operación eficiente de ciertas estructuras, tal como los WTG, e imponen el uso de medidas de control innecesariamente conservadoras para evitar el riesgo de daños y extender la vida útil.

45

50

55

Se ha desarrollado al menos un sistema para detectar y controlar las cargas en un WTG. Por ejemplo, la patente US 7.160.083 ("la patente '083"), expedida a Pierce et al. el 9 de enero de 2007, describe un método y un aparato para reducir la carga de fatiga en los componentes de una turbina. Particularmente, el sistema de la patente '083 recibe señales desde sensores de carga, determina una condición de carga basándose en las señales y determina una respuesta a la condición de carga determinada. Por ejemplo, la inclinación de las palas de la turbina puede modificarse para reducir la carga. Aunque el sistema de la patente '083 puede ser efectivo para detectar la ocurrencia de y la reducción de las cargas en un rotor de turbina eólica, el sistema no parece abordar la carga de fatiga cíclica, que puede tener una amplitud bastante pequeña, pero da como resultado un daño en el tiempo. Además, algunas formas de carga en un componente de la estructura pueden esperarse o desearse. Sin embargo, el sistema de la patente '083 no parece distinguir la carga deseada de la carga no deseada y, por lo tanto, parece tratar todas las formas de carga como indeseables. Otros sistemas de detección de la técnica anterior se divulgan en los documentos GB2448940, US20040057828, GB2478600 y US2006070435.

60

65

**Sumario de la invención**

De acuerdo con un primer aspecto, la invención proporciona un método para estimar una cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de una estructura, como se reivindica en la reivindicación 1. La estructura puede ser un generador de turbina eólica (WTG) y la porción para la que se estima la carga no deseada es un rotor del WTG. El método incluye recibir una primera señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por un componente de la estructura y filtrar al menos una porción de la primera señal recibida que corresponde a la carga deseada experimentada por el componente para producir una primera señal filtrada. La cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura se estima al menos parcialmente en la primera señal filtrada.

Al filtrar una parte de la primera señal que caracteriza la tensión instantánea que corresponde a la carga deseada, una estimación de la carga no deseada puede proporcionarse ventajosamente a un controlador o registrarse en un registro para su análisis.

En una realización del método de acuerdo con el primer aspecto de la invención, estimar la cantidad de carga no deseada incluye calcular una desviación estándar de la primera señal filtrada.

En otra realización del método según el primer aspecto de la invención, la estimación de la cantidad de carga no deseada incluye el cálculo de uno o más momentos espectrales de la primera señal filtrada. En una realización adicional, el uno o más momentos espectrales de la primera señal filtrada incluye el N-ésimo momento espectral, donde N es el coeficiente de Wohler correspondiente a un material del cual está hecho el componente.

En otra realización más del método según el primer aspecto de la invención, la estimación de la cantidad de carga no deseada incluye la detección de una envolvente de la primera señal filtrada. En una realización adicional, la detección de la envolvente de la primera señal filtrada se realiza con una constante de tiempo inferior a aproximadamente cinco segundos.

En otra realización más del método según el primer aspecto de la invención, la estimación de la cantidad de carga no deseada incluye el cálculo de un recuento en línea del ciclo de flujo de lluvia de la primera señal filtrada.

En el método según el primer aspecto de la invención, el componente que experimenta la tensión caracterizada por la primera señal recibida y filtrada es una pala de un WTG.

En otra realización más del método de acuerdo con el primer aspecto de la invención, la primera señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por el componente se recibe desde un medidor de tensión dispuesto en el componente.

En el método de acuerdo con el primer aspecto de la invención, la al menos una porción de la primera señal recibida que se filtra incluye componentes de la primera señal recibida que están por debajo de una frecuencia umbral predeterminada.

En el método de acuerdo con el primer aspecto de la invención, la estructura es un WTG y el componente es el primero de una pluralidad de palas de un rotor del WTG. El método incluye además estimar una cantidad de carga no deseada experimentada por la primera pala basándose al menos parcialmente en la primera señal filtrada. Además, se recibe una segunda señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por una segunda de la pluralidad de palas. Al menos una porción de la segunda señal recibida que corresponde a la carga deseada experimentada por la segunda pala se filtra para producir una segunda señal filtrada. Entonces, se estima una cantidad de carga no deseada experimentada por la segunda pala basándose al menos parcialmente en la segunda señal filtrada. A continuación, la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción del WTG se estima en base al menos parcialmente a las cantidades estimadas de carga no deseada experimentada por la primera y la segunda palas. En una realización adicional, estimar la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción del WTG incluye seleccionar un máximo de 1) la cantidad estimada de carga no deseada experimentada por la primera pala, y 2) la cantidad estimada de carga no deseada experimentada por la segunda pala.

En otra realización más del método según el primer aspecto de la invención, filtrar la primera señal recibida incluye filtrar la primera señal recibida para eliminar una o más porciones que corresponden a la carga experimentada por el componente debido a un primer fenómeno de viento. En una realización adicional, el primer fenómeno de viento es uno de turbulencia y cizalladura del viento. En una realización adicional, el método incluye además filtrar la primera señal recibida para producir una segunda señal filtrada en la que se eliminan al menos las siguientes porciones de señal: una o más porciones de la primera señal recibida que corresponden a la carga deseada experimentada por el componente; y una o más porciones de la primera señal recibida que corresponden a la carga experimentada por el componente debido a un segundo fenómeno de viento. La primera y la segunda señales filtradas se escalan entre sí, y la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura se estima al menos parcialmente en la primera y la segunda señales filtradas escaladas. El primer fenómeno de viento puede ser una

turbulencia y el segundo fenómeno de viento puede ser una cizalladura del viento, o viceversa.

5 En una realización adicional del método de acuerdo con el primer aspecto de la invención en el cual la primera señal recibida se filtra para eliminar una o más porciones que corresponden a la carga asociada con un primer fenómeno de viento, la estructura es un WTG. El WTG incluye un rotor con una o más palas que hacen que el rotor gire en respuesta a las fuerzas del viento, el componente es una pala del rotor y la una o más porciones que corresponden a la carga experimentada por el componente debido a un primer fenómeno de viento incluyen componentes de frecuencia de la primera señal recibida que están dentro de una banda de paso centrada alrededor de una frecuencia de rotación del rotor. Alternativamente, la una o más porciones que corresponden a la carga experimentada por el componente debido a un primer fenómeno de viento incluyen componentes de frecuencia de la primera señal recibida que están fuera de una banda de detención centrada alrededor de la frecuencia de rotación del rotor.

15 El método incluye recibir una primera señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por un componente de la estructura y filtrar la primera señal recibida para producir una primera señal filtrada en la que se elimina al menos una porción que corresponde a la carga deseada experimentada por el componente. La cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura se estima basándose al menos parcialmente en la primera señal filtrada y la cantidad de carga no deseada experimentada se puede controlar al menos parcialmente en la cantidad estimada de carga no deseada.

20 El filtrado de una porción de la primera señal que caracteriza la tensión instantánea que corresponde a la carga deseada facilita ventajosamente un control más directo de la carga no deseada mientras permite la carga deseada.

25 En una realización, la estructura es un WTG y controlar la cantidad de carga no deseada experimentada incluye al menos uno de aumento y reducción del WTG. En una realización adicional, el control de la cantidad de carga no deseada experimentada incluye la reducción del WTG si la cantidad estimada de carga no deseada es mayor que un valor de umbral predeterminado, y el aumento del WTG si la cantidad estimada de carga no deseada es menor que el valor de umbral predeterminado. Alternativamente, en una realización adicional, el control de la cantidad de carga no deseada experimentada incluye la reducción del WTG si la cantidad estimada de la carga no deseada es mayor que un primer valor de umbral predeterminado, y el aumento del WTG si la cantidad estimada de la carga no deseada es menor que un segundo valor de umbral predeterminado que es más bajo que el primer valor de umbral predeterminado.

35 La estructura es un WTG y el componente es el primero de una pluralidad de palas de un rotor del WTG. Además, el método también incluye estimar una cantidad de carga no deseada experimentada por la primera pala basada al menos parcialmente en la primera señal filtrada, y recibir una segunda señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por una segunda de la pluralidad de palas. Al menos una porción de la segunda señal recibida que corresponde a la carga deseada experimentada por la segunda pala se filtra para producir una segunda señal filtrada. Entonces, se estima una cantidad de carga no deseada experimentada por la segunda pala basándose al menos parcialmente en la segunda señal filtrada. A continuación, la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción del WTG se estima en base al menos parcialmente a las cantidades estimadas de carga no deseada experimentada por la primera y la segunda palas. En esta realización, el control de la cantidad de carga no deseada experimentada puede entonces basarse al menos parcialmente en la cantidad estimada de carga no deseada experimentada por al menos una porción del WTG.

45 En otra realización, la estructura es un WTG y el componente es el primero de una pluralidad de palas de un rotor del WTG. Además, el método también incluye estimar una cantidad de carga no deseada experimentada por la primera pala basada al menos parcialmente en la primera señal filtrada, y recibir una segunda señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por una segunda de la pluralidad de palas. Al menos una porción de la segunda señal recibida que corresponde a la carga deseada experimentada por la segunda pala se filtra para producir una segunda señal filtrada. Entonces, se estima una cantidad de carga no deseada experimentada por la segunda pala basándose al menos parcialmente en la segunda señal filtrada. A continuación, la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción del WTG se calcula seleccionando un máximo de: 1) la cantidad estimada de carga no deseada experimentada por la primera pala, y 2) la cantidad estimada de carga no deseada experimentada por la segunda pala. En esta realización, el control de la cantidad de carga no deseada experimentada puede entonces basarse, al menos parcialmente, en la estimación de carga máxima no deseada. Por ejemplo, la estimación de carga máxima no deseada puede compararse con un nivel de referencia.

60 De acuerdo con un segundo aspecto, la invención proporciona un sistema para controlar una cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de una estructura como se reivindica en la reivindicación 9. El sistema incluye un estimador de carga y un controlador. El estimador de carga está configurado para estimar la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura basándose al menos parcialmente en una estimación de la cantidad de carga no deseada experimentada por un componente de la estructura y el controlador está configurado para controlar la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura basada al menos parcialmente en la cantidad estimada de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura. El estimador de carga incluye un primer filtro configurado

para producir una primera señal filtrada al filtrar una o más porciones de una primera señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por el componente de la estructura, la una o más porciones filtradas, incluyendo una porción correspondiente a la carga deseada experimentada por el componente. El estimador de carga incluye además una primera unidad de procesamiento de señal configurada para procesar la primera señal filtrada para producir la estimación de la cantidad de carga no deseada experimentada por el componente.

El filtrado de una porción de la primera señal que caracteriza la tensión instantánea que corresponde a la carga deseada facilita ventajosamente un control más directo de la carga no deseada mientras permite la carga deseada.

De acuerdo con el segundo aspecto de la invención, la estructura es un WTG y el componente es el primero de una pluralidad de palas de un rotor del WTG. Además, el estimador de carga también incluye un segundo filtro configurado para producir una segunda señal filtrada al filtrar una o más porciones de una segunda señal, la segunda señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por una segunda de la pluralidad de palas y la otra o más porciones filtradas que incluyen una porción correspondiente a la carga deseada experimentada por la segunda pala. El estimador de carga también incluye una segunda unidad de procesamiento de señal configurada para procesar la segunda señal filtrada para producir una estimación de la cantidad de carga no deseada experimentada por la segunda pala. El estimador de carga de esta realización está configurado para estimar la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción del WTG basada al menos parcialmente en la estimación de la cantidad de carga no deseada experimentada por la primera pala y la estimación de la cantidad de carga no deseada experimentada por la segunda pala.

En otra realización, la estructura es un WTG que tiene un rotor y el componente es una pala del rotor. Además, la una o más porciones de la primera señal filtrada por el primer módulo de filtro incluyen una o más porciones que corresponden a la carga experimentada por el componente debido a un primer fenómeno de viento. En una realización adicional, el primer fenómeno de viento es turbulencia o cizalladura del viento. En una realización adicional, el primer módulo de filtro está configurado también para producir una segunda señal filtrada filtrando una porción correspondiente a la carga deseada experimentada por el componente y una porción de la primera señal que corresponde a la carga experimentada por el componente debido a un segundo fenómeno de viento. Además, la primera unidad de procesamiento de señales del estimador de carga comprende además una unidad de escalado que escala la primera señal filtrada en relación con la segunda señal filtrada, y la primera unidad de procesamiento de señales está configurada además para procesar la primera y segunda señales escaladas filtradas para producir la estimación de la cantidad de carga no deseada experimentada por el componente.

En otra realización, el WTG, a su vez, incluye el estimador de carga, el controlador, un rotor que incluye una o más palas que hacen que el rotor gire en respuesta a las fuerzas del viento y un generador configurado para recibir una entrada de par del rotor y generar electricidad. En esta realización, la al menos una porción de la estructura incluye al menos una de las una o más palas del rotor y el componente de la estructura incluye una pala del rotor.

La invención proporciona un método para estimar una cantidad de carga experimentada por al menos una porción de una estructura. El método incluye recibir una señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por un componente de la estructura, y puede incluir detectar una envolvente de la señal para producir una estimación de la cantidad de carga experimentada por al menos una porción de la estructura.

La detección de la envolvente de la señal facilita ventajosamente la producción en línea (es decir, en tiempo real) de una estimación precisa de la cantidad de carga experimentada por al menos una porción de la estructura.

En una realización, la envolvente se detecta con un detector que tiene un tiempo de subida y un tiempo de caída, siendo el tiempo de caída más largo que el tiempo de subida.

## 50 Breve descripción de los dibujos

La invención se entenderá mejor con referencia a la descripción detallada cuando se considere junto con los ejemplos no limitativos y los dibujos adjuntos.

La figura 1 muestra una estructura general de un WTG, que es una estructura de ejemplo que experimenta cargas.

La figura 2 muestra un sistema para estimar una carga experimentada por al menos una porción de una estructura, tal como el WTG de la figura 1, de acuerdo con una realización.

La figura 3 muestra otro sistema para estimar una carga experimentada por al menos una porción de una estructura, tal como el WTG de la figura 1, en el que una porción de una señal de esfuerzo recibida correspondiente a una carga deseada se filtra de la estimación de carga, según a otra realización.

La figura 4 muestra otro sistema para estimar una carga experimentada por al menos una porción de una estructura, como el WTG de la figura 1, en el que la estimación de la carga se basa en múltiples señales de esfuerzo recibidas, de acuerdo con otra realización.

La figura 5 muestra un sistema para estimar y controlar una carga experimentada por al menos una porción de una estructura, tal como el WTG de la figura 1, de acuerdo con otra realización.

5 La figura 6 ilustra una curva de referencia de carga de ejemplo utilizada por la unidad de referencia de carga del sistema que se muestra en la figura 5, de acuerdo con una realización.

La figura 7 ilustra un diagrama de flujo que representa un método de ejemplo para estimar y controlar una cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de una estructura, de acuerdo con una realización.

10 La figura 8 ilustra un diagrama de flujo que representa un método de ejemplo para estimar y controlar una cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de un WTG, de acuerdo con una realización.

La figura 9 muestra otro sistema para estimar una carga experimentada por al menos una porción de una estructura, tal como el WTG de la figura 1, en el cual la estimación de la carga se ajusta para tener en cuenta los empujes dependientes del fenómeno de viento, de acuerdo con otra realización.

15 La figura 10 muestra un gráfico que ilustra un empuje dependiente del fenómeno de viento que puede existir en una estimación de carga producida por el sistema de la figura 4.

20 La figura 11 ilustra un diagrama de flujo que representa un método de ejemplo para estimar y controlar una cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de una estructura, de acuerdo con una realización.

#### Descripción detallada de la invención

25 La siguiente es una descripción detallada de las realizaciones de la invención representadas en los dibujos adjuntos. Las realizaciones son ejemplos y están en un detalle tal como para comunicar claramente la invención. Sin embargo, la cantidad de detalles ofrecidos no pretende limitar las variaciones anticipadas de las realizaciones; sino que, por el contrario, la intención es cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que caen dentro del espíritu y del alcance de la presente invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

30 Además, en diversas realizaciones, la invención proporciona numerosas ventajas sobre la técnica anterior. Sin embargo, aunque las realizaciones de la invención pueden lograr ventajas sobre otras soluciones posibles y/o sobre la técnica anterior, el hecho de que se logre o no una ventaja particular mediante una realización dada no es limitante de la invención. Por lo tanto, los siguientes aspectos, características, realizaciones y ventajas son meramente ilustrativos y no se consideran elementos o limitaciones de las reivindicaciones adjuntas, excepto cuando se recitan explícitamente en una(s) reivindicación(es). Del mismo modo, la referencia a "la invención" no se interpretará como una generalización de cualquier objeto inventivo divulgado en el presente documento y no se considerará un elemento o limitación de las reivindicaciones adjuntas, excepto cuando se mencione explícitamente en una(s) reivindicación(es).

40 Los métodos y sistemas de ejemplo descritos en este documento se pueden usar para proteger las porciones estructurales de una estructura contra daños debidos a una carga excesiva. Los generadores de turbinas eólicas (WTG), en particular las palas de los WTG, están sujetos a la carga de fatiga cíclica debido a las fuerzas del viento, el movimiento de rotación y la gravedad. Con el tiempo, la carga de fatiga que sufren las palas puede provocar grietas y eventualmente daños severos, lo que acorta la vida útil del WTG. Sin embargo, no toda la carga es indeseable. Al menos algunos de los métodos y sistemas que se describen a continuación están dirigidos a resolver problemas asociados con la monitorización y el control de cargas de una manera que distingue las cargas deseables de las cargas no deseables. Por ejemplo, una realización de ejemplo proporciona una estimación de la cantidad de carga experimentada por las palas en un WTG que excluye la carga deseada. Además, en ciertas realizaciones, la estimación se proporciona con la oportunidad suficiente para que la carga dañina pueda ser mitigada rápidamente.

50 Además, aunque aquí se hace referencia frecuentemente a un WTG como un ejemplo de una estructura que experimenta carga, otras estructuras que incluyen, por ejemplo, vehículos de transporte por aire, mar y tierra, puentes, grúas y otras estructuras que operan en entornos que los exponen a cargas no deterministas también pueden beneficiarse de la práctica de los métodos y sistemas divulgados.

55 La figura 1 ilustra un ejemplo de WTG 100 de acuerdo con una realización. Como se ilustra en la figura 1, el WTG 100 incluye una torre 110, una góndola 120 y un rotor 130. En una realización, el WTG 100 puede ser WTG en tierra. Sin embargo, las realizaciones de la invención no están limitadas solo a WTG en tierra. En realizaciones alternativas, el WTG 100 puede ser un WTG en alta mar ubicado sobre un cuerpo de agua tal como, por ejemplo, un lago, un océano o similar. La torre 110 de dicho WTG en alta mar se instala en el fondo marino o en plataformas estabilizadas en o sobre el nivel del mar.

60 La torre 110 del WTG 100 puede configurarse para elevar la góndola 120 y el rotor 130 a una altura en la que el rotor 130 pueda recibir un flujo de aire fuerte, menos turbulento y generalmente sin obstrucciones. La altura de la torre 110 puede ser cualquier altura razonable, y debe considerarse la longitud de las palas del WTG que se extienden desde el rotor 130. La torre 110 puede estar hecha de cualquier tipo de material, por ejemplo, acero,

hormigón o similar. En algunas realizaciones, la torre 110 puede estar hecha de un material monolítico. Sin embargo, en realizaciones alternativas, la torre 110 puede incluir una pluralidad de secciones. En algunas realizaciones de la invención, la torre 110 puede ser una torre de celosía. En consecuencia, la torre 110 puede incluir perfiles de acero soldados.

5 El rotor 130 puede incluir un buje de rotor (en lo sucesivo denominado simplemente el "buje") 132 y al menos una pala 140 (tres de tales palas 140 se muestran en la figura 1). El buje 132 del rotor puede configurarse para acoplar la al menos una pala 140 a un árbol (no mostrado). En una realización, las palas 140 pueden tener un perfil aerodinámico tal que, a velocidades de viento predefinidas, las palas 140 experimenten una elevación, provocando así que las palas giren radialmente alrededor del buje. El buje 132 puede comprender además mecanismos (no mostrados) para ajustar el paso de la pala 140 para aumentar o reducir la cantidad de energía eólica capturada por la pala 140. El paso ajusta el ángulo en el que el viento golpea la pala 140. Sin embargo, en ciertas realizaciones, los mecanismos de paso pueden omitirse y, en consecuencia, el paso de las palas 140 no puede ajustarse en tales realizaciones.

15 El buje 132 típicamente gira alrededor de un eje sustancialmente horizontal a lo largo de un eje de transmisión (no mostrado) que se extiende desde el buje 132 hasta la góndola 120. El árbol de transmisión generalmente está acoplado a uno o más componentes en la góndola 120, que están configurados para convertir la energía de rotación del árbol en energía eléctrica.

20 Aunque el WTG 100 que se muestra en la figura 1 tiene tres palas 140, debe tenerse en cuenta que el WTG 100 puede tener un número diferente de palas. Es común encontrar WTG que tengan de dos a cuatro palas. El WTG 100 que se muestra en la figura 1 es una turbina eólica de eje horizontal (HAWT), ya que el rotor 130 gira alrededor de un eje horizontal. Cabe señalar que el rotor 130 puede girar alrededor de un eje vertical. Un WTG de este tipo que tiene su rotor girando alrededor del eje vertical se conoce como turbina eólica de eje vertical (VAWT). Las realizaciones de WTG descritas a continuación no están limitadas a HAWT que tienen 3 palas. Pueden implementarse como HAWT y VAWT, teniendo cualquier número de palas 140 en el rotor 130.

30 Cada una de las palas 140 también puede estar equipada con un sensor de tensión 142, tal como un medidor de tensión, acelerómetro, sensor de vibración, o similar, para detectar la tensión experimentada por la pala. El sensor de tensión 142 puede colocarse en el extremo de la raíz de la pala para detectar la tensión debida a un momento de flexión de aleta de la pala, es decir, un momento que hace que la pala se desvíe en una dirección normal al plano del rotor 130. Aunque se indica que el WTG 100 tiene solo un sensor de tensión 142 en cada pala 140, se pueden incluir múltiples sensores de tensión 142 en cada pala en varias posiciones, por ejemplo, en el 20 %, 40 %, 50 %, 60 %, 75 % y 80 % del radio de la pala desde la raíz de la pala. Además, al menos algunos de los múltiples sensores de tensión 142 (o, como alternativa, al menos un sensor de tensión adicional) se pueden colocar para medir un momento de flexión de borde, es decir, un momento que hace que la pala se desvíe en una dirección sustancialmente dentro del plano del rotor 130, en lugar de un momento de flexión de aleta. Alternativamente, solo una de las palas 140 puede estar equipada con uno o más sensores de tensión 142.

40 Además, en lugar de o además de colocar uno o más sensores de tensión 142 en o dentro de cada pala 140, uno o más sensores de tensión 142 se pueden colocar en otras ubicaciones en el WTG 100. Por ejemplo, el WTG 100 puede incluir un sensor de tensión 142 en la parte posterior de la góndola 120, por ejemplo, en forma de un acelerómetro. En esta realización, el acelerómetro 22 está montado de tal manera que se detectan oscilaciones horizontales o sustancialmente horizontales de la góndola, que se originan a partir de oscilaciones en el borde de las palas. Además, al menos algunos de los sensores de tensión 142 pueden producir valores no absolutos.

50 La figura 2 muestra un diagrama de bloques funcional de un sistema 200 de ejemplo que implementa un método de ejemplo para estimar una cantidad de carga experimentada por al menos una porción de un WTG u otra estructura. El sistema 200 incluye un detector de envolvente 210, que recibe una señal de tensión 220 que caracteriza la tensión instantánea experimentada por un componente de la estructura. La señal de tensión 220 y algunas otras señales mostradas en las figuras se representan gráficamente en un gráfico de amplitud (eje y) en función del tiempo (eje x), donde la amplitud puede ser de, por ejemplo, tensión, corriente o potencia. Si la estructura para la cual al menos una porción está experimentando carga es el WTG 100 de la figura 1, la al menos una porción de la estructura para la cual se estima la carga puede ser el rotor 140 y/o la torre 110 del WTG 100. El componente que experimenta tensión caracterizada por la señal de tensión instantánea recibida 220 puede ser un elemento de al menos una porción de la estructura para la cual se está estimando una cantidad de carga. Alternativamente, el componente puede ser un elemento diferente de la estructura, pero cuya carga se correlaciona con la de al menos una porción de la estructura para la cual se está estimando una cantidad de carga. Por ejemplo, el componente puede ser una pala 140 y al menos una porción del WTG 100 para la cual se estima una cantidad de carga puede ser la torre 110.

65 Además, si el componente cuya tensión se caracteriza por la señal de tensión instantánea 220 es una pala 140, la señal de tensión 220 puede recibirse desde uno de los sensores de tensión 142 colocados en una de las palas 140. Sin embargo, en ciertas realizaciones alternativas, la señal de tensión recibida 220 puede derivarse de múltiples señales de tensión recibidas desde múltiples sensores de tensión en una sola pala o desde múltiples sensores de

tensión en múltiples palas. Por ejemplo, la señal de tensión recibida 220 puede seleccionarse entre múltiples señales de tensión candidatas basándose en un criterio predeterminado.

5 El detector de envolvente 210 detecta una envolvente 230 de la señal de tensión recibida 220 para producir una estimación de la cantidad de carga experimentada por al menos una porción de la estructura. La detección de la envolvente se puede realizar de manera continua, es decir, en tiempo real, o se puede realizar en forma retardada. Además, el detector de envolvente 210 puede incluir un rectificador de media onda que rectifica solo la forma de onda recibida (como se muestra) o puede incluir un rectificador de onda completa. Además, la señal de tensión recibida 220 puede ser analógica o digital. Por ejemplo, si la señal de tensión recibida 220 es digital, el detector de  
10 envolvente 210 puede incluir un procesador de señal digital que implementa la detección de envolvente digitalmente. Por otro lado, si la señal de tensión recibida 220 es analógica (como se muestra), el detector de envolvente 210 puede implementar la detección de envolvente de manera analógica o puede muestrear digitalmente la señal de tensión recibida 220 y realizar la detección de envolvente digitalmente.

15 Como lo ilustra la salida de estimación de carga del detector de envolvente 210, el tiempo de caída del detector de envolvente 210 es más largo que el tiempo de subida del mismo. El tiempo de caída es análogo a una memoria del detector de envolvente y puede ajustarse según sea necesario para adaptar la sensibilidad del sistema 200 a los picos en la señal de tensión 220. El tiempo de caída puede estar predeterminado, pero puede variar desde unos pocos segundos (por ejemplo, cinco segundos) hasta varios minutos (por ejemplo, seis minutos). Un factor al  
20 establecer el tiempo de caída es el grado deseado de influencia de los picos grandes en la estimación de carga. La influencia de los picos grandes aumenta en proporción al tiempo de caída. Además, al estimar una carga en el rotor de un WTG, parece que un tiempo de caída relativamente más largo puede proporcionar una estimación de la carga más precisa, particularmente cuando se sabe que la carga de fatiga experimentada por el rotor se origina a partir de eventos periódicos en el campo de viento.

25 El detector de envolvente 210 puede implementarse utilizando una unidad de procesamiento de señales, donde el término unidad de procesamiento de señales no se limita solo a los circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como un ordenador, sino que se refiere ampliamente a un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado de aplicación específica y otros circuitos programables. En otra realización del sistema 200, el detector de envolvente 210 se reemplaza con una unidad de procesamiento  
30 de señales que realiza una función de procesamiento diferente. Por ejemplo, una unidad de procesamiento de señales que realiza la detección de desviación estándar (es decir, un detector de desviación estándar) puede determinar continuamente una desviación estándar de la señal de tensión 220 recibida desde un sensor de tensión en el componente. La desviación estándar de la señal de tensión recibida 220 proporciona una buena estimación de  
35 la cantidad de carga experimentada por el componente porque es proporcional al tamaño y al número de ciclos de tensión en la señal de tensión recibida 220. Otra alternativa al detector de envolvente es una calculadora de momentos espectrales que calcula uno o más momentos espectrales de la señal de tensión recibida 220. En una realización de ejemplo, el calculador de momento espectral determina el N-ésimo momento espectral, donde N es el coeficiente de Wohler correspondiente a un material del que está hecho el componente.

40 Otra alternativa más a la detección de la envolvente es el uso de un contador de ciclos de flujo de lluvia que calcula el recuento de ciclos de flujo de lluvia de la señal de tensión recibida 220. Cuando se utiliza la estimación de carga para un propósito de control, el contador del ciclo de flujo de lluvia puede ser una calculadora en línea en el sentido de que actualiza el recuento de ciclos de flujo de lluvia en línea o de manera continua para proporcionar una  
45 estimación de carga en tiempo real. Las estimaciones de carga producidas por el contador del ciclo de flujo de lluvia responden más fuertemente a picos de amplitud relativamente grandes en la señal de tensión recibida 220 que el detector de desviación estándar o el calculador de momento espectral. Las pruebas empíricas han demostrado que una respuesta tan fuerte a picos de amplitud relativamente grandes produce una mejor correlación entre la estimación de la carga y la carga real experimentada por el componente. El detector de envolvente, dependiendo de  
50 su tiempo de caída, también puede configurarse para responder fuertemente a picos de amplitud relativamente grandes, pero es menos complejo y, por lo tanto, más fácil de implementar que un contador en línea del ciclo de flujo de lluvia.

55 Parte de la carga experimentada por el componente puede ser la carga deseada, es decir, la carga que el componente debe soportar y que se espera durante la operación normal de la estructura. Por ejemplo, una pala de un WTG está diseñada para doblarse y experimentar al menos algo de carga cíclica en respuesta a los cambios normales y esperados en las fuerzas del viento. Una estimación de la carga no deseada experimentada por el componente, por otro lado, es importante en el contexto del control de la carga. En ese contexto, debe permitirse la carga deseada, mientras que la carga no deseada debe minimizarse o al menos mantenerse bajo un nivel umbral  
60 para extender la vida útil de la estructura. La estimación de carga producida por el sistema 200, sin embargo, no distingue entre carga deseada y carga no deseada.

65 La figura 3 muestra un diagrama de bloques funcional de un sistema 300 que implementa otro método de ejemplo para estimar una cantidad de carga experimentada por al menos una porción de una estructura en la que la carga estima solo la carga no deseada. El sistema 300 incluye un estimador de carga 310, que incluye el detector de envolvente 210 del sistema 200 (u otro tipo de detector alternativo, como se explicó anteriormente con referencia a

la figura 2). Sin embargo, el estimador de carga 310 también incluye un filtro de paso alto 320 que precede al detector de envolvente 210 para filtrar una porción de la señal de tensión recibida 220 que corresponde a la carga deseada experimentada por el componente antes de que la señal de tensión 220 sea procesada por el detector de envolvente 210 o similares.

5 Por ejemplo, cuando el componente a partir del cual se origina la señal de tensión 220 es una pala de un WTG, las frecuencias en el extremo inferior del espectro de la señal de tensión recibida 220 corresponden a las tensiones que se producen debido a los cambios normales de la velocidad media del viento. Un cambio en la velocidad media normal del viento se representa gráficamente en el medio de la forma de onda de la señal de tensión 220 en 330. Aunque un cambio normal en la velocidad del viento produce un aumento en la carga de fatiga, esta carga es deseada y esperada. Por lo tanto, el filtro de paso alto 320 que precede al detector de envolvente 210 filtra una parte de la señal de tensión recibida 220 que corresponde a la carga deseada experimentada por el componente. Por consiguiente, el detector de envolvente 210 detecta la envolvente de una señal de tensión filtrada en la que se filtra al menos una porción de la señal de tensión recibida 220 correspondiente a la carga deseada.

15 Como se señaló anteriormente, la carga deseada experimentada por una pala de WTG se representa por el extremo inferior del espectro de frecuencias de una señal de tensión correspondiente. Por consiguiente, en la realización representada, se usa un filtro de paso alto para filtrar una porción de la señal de tensión recibida 220 correspondiente a la carga deseada. Sin embargo, en ciertas otras estructuras, la carga deseada puede diferir y, por lo tanto, se puede usar un tipo diferente de filtro. Por ejemplo, la carga deseada puede corresponder a un extremo superior, un rango medio u otras partes seleccionadas del espectro de frecuencias de la señal de tensión. Además, debido a que un sensor de tensión que produce la señal de tensión recibida 220 puede contener ruido y/o puntos de datos atípicos, el estimador de carga 310 puede incluir un filtro que filtra un componente de alta frecuencia de la señal de tensión recibida 220. Alternativamente, el filtro de paso alto 320 puede reemplazarse con un filtro de paso de banda que filtre simultáneamente los componentes de baja frecuencia correspondientes a la carga deseada y los componentes de alta frecuencia correspondientes a ruido y/o puntos de datos atípicos.

25 En las realizaciones de ejemplo anteriores, se recibe una única señal de tensión para estimar la carga. Sin embargo, en los WTG y otras estructuras, a menudo están disponibles múltiples señales de tensión desde diferentes sensores de tensión. Por ejemplo, como se señaló anteriormente, cada pala del rotor de un WTG puede tener uno o más sensores de tensión.

30 La figura 4 muestra un sistema 400 que incluye un estimador de carga 410 que implementa otro método de ejemplo para estimar una cantidad de carga experimentada por al menos una porción de una estructura, en la que se reciben múltiples señales de tensión. El estimador de carga 410 proporciona una estimación de la carga no deseada que se basa en las múltiples señales de tensión. Por ejemplo, el estimador de carga 410 incluye múltiples instancias del estimador de carga 310 dispuesto en paralelo, cada una de las cuales genera una estimación de carga basada en una señal de tensión recibida por separado. El estimador de carga 410 combina las diversas estimaciones de carga individuales con una unidad de combinación 420. La unidad de combinación 420 puede combinar las estimaciones de carga seleccionando continuamente una de las estimaciones de carga máxima para representar la carga no deseada experimentada por la estructura o una porción de la misma. La función máxima de la unidad de combinación 420 puede reemplazarse alternativamente con una función de suma ponderada o función de promediado que combina las estimaciones de carga de alguna manera. Además, el estimador de carga 410 puede incluir opcionalmente un filtro de paso bajo 430 que promedia la salida de la unidad de combinación 410.

45 Las señales de tensión recibidas por el estimador de carga pueden incluir una señal de tensión desde un sensor de tensión 142 en cada una de las palas de un WTG. Además, las señales de tensión pueden incluir una señal de carga de inclinación y/o una señal de carga de guiñada, que puede calcularse basándose en las mediciones de tensión desde uno o más sensores de tensión 142 y/u otros sensores en el WTG. Una ruta de procesamiento de señal de carga de inclinación puede usar diferentes parámetros de filtro de paso alto, tal como una frecuencia de corte diferente, y/o parámetros de unidad de procesamiento de señal diferentes, tal como una constante de tiempo de envolvente diferente, que las rutas de procesamiento de señal de carga de pala para dar cuenta de propiedades potencialmente diferentes de las diferentes señales de tensión. De manera similar, la ruta de procesamiento de la señal de carga de guiñada puede usar diferentes parámetros de procesamiento que las rutas de procesamiento de la señal de carga de la pala y/o las rutas de procesamiento de la señal de carga de inclinación.

50 La estimación de carga producida por cualquiera de los sistemas anteriores se puede registrar para su uso y/o estudio posterior, por ejemplo, para optimizar el ajuste específico del sitio de un WTG o para mejorar el conocimiento general de carga para una estructura particular. Sin embargo, notablemente, cada uno de los diferentes sistemas de estimación de carga descritos anteriormente puede generar estimaciones de carga con tiempo suficiente para fines de control, por ejemplo, para controlar o reducir el nivel de carga real.

60 La figura 5 muestra un sistema de control de bucle cerrado 500 que puede interactuar con o estar integrado con una estructura para controlar la carga experimentada por la estructura o una porción de la misma. El sistema de control 500 incorpora el estimador de carga 410 de la figura 4. En particular, el estimador de carga 410 envía una estimación de carga a un sumador 510, que calcula un error al determinar una diferencia entre la salida del

estimador de carga 410 y la salida de referencia de una unidad de referencia de carga 520. El sumador 510 alimenta el error a un controlador 530. El controlador 530 puede ser un controlador integral proporcional u otro tipo de controlador y puede enviar una o más señales de control 540 a la estructura. El controlador puede implementarse utilizando uno o más ordenadores, microprocesadores, PLC (matrices lógicas programables), o similares.

5 Si la estructura que se controla es un WTG (o una porción del mismo), la una o más señales de control 540 pueden incluir un punto de ajuste de la velocidad del generador y/o un punto de ajuste de la potencia. En principio, el controlador 530 llevará un error negativo a cero reduciendo el punto de ajuste de la velocidad del generador y/o el punto de ajuste de la potencia (es decir, reduciendo el WTG) o posiblemente apagando el WTG. En ciertas realizaciones, el controlador 530 ignora un error positivo porque no es probable que se produzcan daños cuando la estimación de carga está por debajo del nivel de referencia. Sin embargo, en otras realizaciones, el controlador 530 puede reaccionar ante un error positivo al aumentar el punto de ajuste de la velocidad del generador y/o del punto de ajuste de la potencia, lo que en algunas circunstancias puede resultar en un aumento del WTG.

15 La salida del nivel de referencia por la unidad de referencia de carga 520 puede ser un valor fijo predeterminado o puede depender de una variable de entrada, tal como la velocidad del viento o algún otro indicador de la severidad del clima. La velocidad del viento se puede medir, por ejemplo, con un anemómetro cercano o a bordo del WTG que se está controlando y dicha medida es recibida por la unidad de referencia de carga 520. La figura 6 muestra un ejemplo de curva de referencia de carga 600 que relaciona las velocidades del viento con los valores de referencia de carga. La curva de referencia de carga 600 puede programarse o almacenarse en una memoria de la unidad de referencia de carga 520. A diferencia de los WTG convencionales, un WTG o una porción del mismo que está controlado por el sistema de control 500 experimentará una carga a niveles más bajos que la curva de referencia de carga 600. Por lo tanto, aunque las condiciones del viento pueden aumentar en severidad, las cargas se mantendrán por debajo de la curva de referencia de carga 600.

25 En realizaciones que tienen un controlador que reacciona a errores tanto positivos como negativos, la misma curva umbral 600 puede usarse como referencia. En consecuencia, las cargas experimentadas por el WTG o porciones del mismo se mantendrán cerca de la curva de referencia de carga 600. Alternativamente, se puede almacenar una curva umbral separada o un valor predeterminado en la unidad de referencia de carga 520 para compararla con la estimación de carga para determinar si se debe aumentar el WTG. Este segundo umbral puede ser más bajo que el umbral representado por la curva de referencia de carga 600, creando así una banda neutra o un área de valores de estimación de carga para los cuales el controlador no invalida ni reduce el WTG.

30 En realizaciones en las que la estructura que se controla no es un WTG, la curva de referencia de carga 600 puede depender de la velocidad del viento o de alguna otra variable o variables de entrada. Alternativamente, tanto en el WTG como en otras estructuras, la curva de referencia de carga 600 puede ser un valor que sea independiente de cualquier variable de entrada.

35 Los sistemas anteriores se pueden usar para implementar varios métodos diferentes de estimación y control.

40 La figura 7 muestra un diagrama de flujo que representa un método 700 para estimar y controlar una cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de una estructura. El sistema 300 puede realizar el método en la figura 3, o una porción del sistema 400 en la figura 4 o el sistema 500 en la figura 5. En la etapa 710, se recibe una señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por un componente de la estructura. La señal puede recibirse en un filtro, tal como el filtro de paso alto 320 del sistema 300. En la etapa 720, al menos una porción de la señal recibida que corresponde a la carga deseada experimentada por el componente se filtra para producir una señal filtrada. La función de filtrado puede ser realizada por el filtro de paso alto 320. A continuación, en la etapa 730, la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura se estima al menos parcialmente en la señal filtrada. La función de estimación puede realizarse detectando una envolvente de la señal filtrada utilizando una unidad de procesamiento de señales, tal como el detector de envolvente 210 del sistema 300.

45 Alternativamente, la cantidad de carga no deseada puede estimarse calculando una desviación estándar de la primera señal filtrada. En otra realización, la cantidad de carga no deseada puede estimarse calculando uno o más momentos espectrales de la primera señal filtrada. Además, el uno o más momentos espectrales de la primera señal filtrada incluye el N-ésimo momento espectral, donde N es el coeficiente de Wohler correspondiente a un material del cual está hecho el componente. En otra realización más, la cantidad de carga no deseada puede estimarse calculando un recuento en línea del ciclo de flujo de lluvia de la primera señal filtrada.

50 Una vez que las etapas anteriores han producido una estimación de una cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura, en la etapa 740, un controlador, tal como el controlador 530 del sistema 500, puede utilizar la estimación, entre otras cosas, para controlar la cantidad de carga no deseada. Sin embargo, si una estimación es todo lo que se necesita (por ejemplo, cuando se registran datos para un análisis posterior), se puede omitir la etapa de controlar la estructura (es decir, la etapa 740), en cuyo caso el método puede considerarse un método para estimar la cantidad de carga no deseada, a diferencia de un método de estimación y control de la cantidad de carga no deseada. Además, o como alternativa, la etapa de filtrar al menos una porción de

la señal recibida que corresponde a la carga deseada (etapa 720) puede omitirse del método 700. El sistema 200 de la figura 2, por ejemplo, muestra un sistema que omite la etapa de filtrado. Dicho método puede implementarse si se espera una cantidad insignificante o ninguna cantidad de carga deseada.

- 5 En una realización, la estructura que se controla es un WTG y el control de la estructura incluye el aumento y/o la reducción del WTG. Por ejemplo, el WTG puede reducirse si la cantidad estimada de carga no deseada es mayor que un valor umbral predeterminado y el WTG puede aumentarse si la cantidad estimada de carga no deseada es más baja que el valor umbral predeterminado. Alternativamente, pueden usarse dos valores umbral predeterminados. Por ejemplo, el WTG puede reducirse si la cantidad estimada de carga no deseada es mayor que  
10 un primer valor umbral predeterminado y el WTG puede aumentarse si la cantidad estimada de carga no deseada es más baja que un segundo valor umbral predeterminado que es menor que el primer valor umbral predeterminado.

La figura 8 muestra un diagrama de flujo que representa un método 800 para estimar y controlar una cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de un WTG. El sistema 400 puede llevar a cabo el  
15 método en la figura 4 o una porción del sistema 500 en la figura 5. En la etapa 810, se recibe una primera señal, la primera señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por una primera de una pluralidad de palas de un rotor del WTG. La primera señal puede recibirse en un primer filtro, tal como un filtro de paso alto en uno de los estimadores de carga 310 del sistema 400. En la etapa 820, al menos una porción de la primera señal recibida que corresponde a la carga deseada experimentada por la primera pala se filtra para producir una primera señal filtrada.  
20 La función de filtrado puede ser realizada por el filtro de paso alto en uno de los estimadores de carga 310. A continuación, en la etapa 830, la cantidad de carga no deseada experimentada por la primera pala se estima basándose al menos parcialmente en la primera señal filtrada. La función de estimación puede realizarse detectando una envolvente de la señal filtrada utilizando una unidad de procesamiento de señal, tal como el detector de envolvente en el primer estimador de carga 310 en el sistema 400.

25 En la etapa 840, se recibe una segunda señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por una segunda de la pluralidad de palas. La segunda señal puede recibirse en paralelo con la primera señal por un segundo filtro de paso alto de un segundo estimador de carga 310, como se muestra, por ejemplo, en el sistema 400 de la figura 4. En la etapa 850, al menos una porción de la segunda señal recibida que corresponde a la carga deseada experimentada por la segunda pala se filtra para producir una segunda señal filtrada. La función de filtrado puede ser realizada por el filtro de paso alto del segundo estimador de carga 310. En la etapa 860, se estima una cantidad de carga no deseada experimentada por la segunda pala basada al menos parcialmente en la segunda señal filtrada, por ejemplo, por el segundo estimador de carga 310. Y, en la etapa 870, la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción del WTG se estima en base al menos parcialmente a las  
35 cantidades estimadas de carga no deseada experimentada por la primera y la segunda palas. La estimación realizada en la etapa 870 puede realizarse, por ejemplo, mediante la unidad de combinación 420 en el sistema 400. La estimación de la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción del WTG en la etapa 870 puede incluir la selección de un máximo de: 1) la cantidad estimada de carga no deseada experimentada por la primera pala, y 2) la cantidad estimada de carga no deseada experimentada por la segunda pala.

40 En la etapa 880, se controla una cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción del WTG basándose al menos parcialmente en la cantidad estimada de carga no deseada producida en la etapa 870. La función de control puede ser implementada por un controlador, tal como el controlador 530 del sistema 500. Sin embargo, si una estimación es todo lo que se necesita (por ejemplo, cuando se registran datos para un análisis posterior), se puede omitir la etapa de controlar la estructura (etapa 880), en cuyo caso el método puede considerarse un método para estimar la cantidad de carga no deseada, a diferencia de un método de estimación y control de la cantidad de carga no deseada. Además, o como alternativa, las etapas de filtrar al menos una porción de las señales primera y segunda recibidas que corresponde a la carga deseada (etapas 820 y 850) pueden omitirse del método 800. El sistema 200 de la figura 2, por ejemplo, muestra un sistema que omite la etapa de filtrado. Dicho  
50 método puede implementarse si se espera una cantidad insignificante o ninguna cantidad de carga deseada.

El control (etapa 880) de la cantidad de carga no deseada experimentada puede incluir un aumento y/o una reducción del WTG. Por ejemplo, el WTG puede reducirse si la cantidad estimada de carga no deseada es mayor que un valor umbral predeterminado, y el WTG puede aumentarse si la cantidad estimada de carga no deseada es  
55 más baja que el valor umbral predeterminado. Alternativamente, en una realización adicional, el control de la cantidad de carga no deseada experimentada incluye la reducción del WTG si la cantidad estimada de la carga no deseada es mayor que un primer valor de umbral predeterminado, y el aumento del WTG si la cantidad estimada de la carga no deseada es menor que un segundo valor de umbral predeterminado que es más bajo que el primer valor de umbral predeterminado.

60 Aunque el método 800 se describe anteriormente con referencia a solo dos estimaciones de carga no deseadas correspondientes a dos palas de un rotor WTG, el método puede modificarse para incluir la estimación de una o más estimaciones de carga no deseadas adicionales correspondientes a una o más palas adicionales de un rotor de WTG. Además, la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción del WTG puede  
65 estimarse basándose al menos parcialmente en no solo las cantidades estimadas de carga no deseada experimentada por la primera y la segunda palas, sino también basándose al menos parcialmente en la una o más

estimaciones de carga no deseadas adicionales correspondientes a una o más palas adicionales. Por ejemplo, un máximo de una estimación de carga no deseada puede tomarse como la cantidad estimada de carga no deseada experimentada por al menos una porción del WTG.

5 La figura 9 muestra un sistema 900 que incluye un estimador de carga 910 que implementa otro método de ejemplo para estimar una cantidad de carga experimentada por al menos una porción de una estructura. Como se explicará con más detalle a continuación, el estimador de carga 910 mejora la estimación de carga del estimador de carga 410 al corregir un empuje dependiente del fenómeno del viento.

10 Un diagrama de dispersión 1000 en la figura 10, generado por experimentos de simulación, ilustra la presencia del empuje dependiente del fenómeno del viento de la estimación de carga producida por el estimador de carga 410. En el diagrama de dispersión 1000, el eje vertical corresponde a una magnitud del momento de inclinación (medida en kilonewton metros) experimentada por una porción del WTG, tal como el rotor 130, y el eje horizontal corresponde a la estimación de carga no corregida. Como se muestra en el gráfico de dispersión 1000, la estimación de la carga se correlaciona altamente con la magnitud del momento de inclinación a lo largo de una primera línea de tendencia correspondiente a un primer grupo de puntos de gráfico de dispersión 1010 y a lo largo de una segunda línea de tendencia correspondiente a un segundo grupo de puntos de gráfico de dispersión 1020. El primer grupo de puntos 1010 del diagrama de dispersión se diferencia del segundo grupo 1020 en que cada uno corresponde a cargas causadas por un fenómeno de viento dominante diferente. El primer grupo 1010 corresponde a las cargas causadas por la turbulencia en el viento, mientras que el segundo grupo 1020 corresponde a las cargas causadas por la cizalladura del viento.

En un WTG, una forma de detectar si las cargas relacionadas con el viento en una pala están causadas por la turbulencia o la cizalladura del viento es analizar la frecuencia de una señal de tensión que mide la carga en la pala. Las cargas causadas por la cizalladura del viento serán exhibidas por el contenido de frecuencia en una señal de tensión de pala en o cerca de la frecuencia de rotación (es decir, IP) del rotor 130 porque la cizalladura del viento hace que las cargas en una pala fluctúen a la frecuencia de IP. La turbulencia, por otro lado, hace que la señal de tensión fluctúe en un amplio rango de frecuencias. Por consiguiente, el filtrado selectivo de la frecuencia de las señales de tensión de la pala puede separar las porciones de las señales de tensión de la pala que son causadas por la cizalladura del viento de aquellas porciones que son causadas por la turbulencia. Cada porción de la señal de tensión que depende del fenómeno del viento puede usarse para producir una estimación de la carga dependiente del fenómeno del viento y cada estimación de la carga que depende del fenómeno del viento puede entonces escalarse o ponderarse de manera diferente para igualar su influencia en una estimación de la carga global. (De manera alternativa, en algunos contextos puede ser deseable mejorar o solo igualar parcialmente el empuje dependiente del viento de la estimación de carga en lugar de igualarlo por completo).

Haciendo referencia nuevamente a la figura 9, el estimador de carga 910 proporciona una estimación de la carga no deseada que se basa en una o más señales de tensión desde una o más palas de un WTG. Además, el estimador de carga 910 distingue entre las cargas causadas por diferentes fenómenos de viento, de modo que la influencia de cada tipo de carga puede sopesarse de manera diferente cuando se produce la estimación de la carga. El estimador de carga 910 recibe una o más señales de tensión 920 (por ejemplo, una de cada una de las múltiples palas en un WTG, tal como el WTG 100) y cada una de las una o más señales de tensión 920 se alimenta a una diferente de tres rutas de señal: una ruta de estimación de carga de inclinación, una ruta de estimación de carga de guiñada y una ruta de estimación de carga de pala, representadas en ese orden comenzando en la parte superior de la figura 9 y avanzando hacia la parte inferior.

La ruta de estimación de la carga de inclinación se describirá primero, seguida de la ruta de estimación de la carga de guiñada y, finalmente, la ruta de estimación de la carga de la pala. Primero, en la ruta de estimación de la carga de inclinación, un conjunto de filtros de paso alto 930 incluye múltiples instancias del filtro de paso alto 320 dispuestos en paralelo, cada uno de los cuales recibe una diferente de las señales de tensión 920 y emite una versión filtrada de paso alto de la señal de tensión recibida 920. Las señales de tensión filtrada de paso alto se envían a cada uno de un par de conjuntos de filtros selectivos de frecuencia: un conjunto de filtros de parada de banda IP 940 y un conjunto de filtros de paso de banda IP 945. Cada filtro en el conjunto de filtros de parada de banda IP 940 filtra una diferente de las señales de tensión filtradas de paso alto correspondientes a una diferente de las señales de tensión 920. De manera similar, cada filtro en el conjunto de filtros de paso de banda IP 945 filtra una diferente de las señales de tensión filtradas de paso alto correspondientes a una diferente de las señales de tensión 920. Como se explicó anteriormente con referencia a la figura 10, los filtros 940 y 945 selectivos de frecuencia separan las porciones de las señales de tensión filtradas de paso alto que son causadas por la cizalladura del viento de aquellas porciones que son causadas por la turbulencia. Más específicamente, cada uno de los filtros de parada de banda IP 940 tiene una muesca centrada alrededor de la frecuencia de rotación del rotor y, por lo tanto, filtra las porciones relacionadas con la cizalladura del viento (lo que genera las porciones relacionadas con la turbulencia). A la inversa, cada uno de los filtros de paso de banda IP 945 tiene una banda de paso centrada alrededor de la frecuencia de rotación del rotor y, por lo tanto, filtra las porciones relacionadas con la turbulencia (lo que genera las porciones relacionadas con la cizalladura del viento). En una realización, la frecuencia de rotación del rotor es un valor predeterminado. Sin embargo, en otras realizaciones, la frecuencia de rotación puede variar y, por lo tanto, se mide y se ingresa a un dispositivo reprogramable dinámicamente, tal como un procesador de señales digitales, que

implementa dinámicamente los filtros selectivos de frecuencia 940 y 945.

5 A continuación, una primera unidad maximizadora 950 selecciona una máxima de las señales de tensión filtradas emitidas por los filtros de parada de banda IP 940 y una segunda unidad maximizadora selecciona una máxima de las señales de tensión filtrada emitidas por los filtros de paso de banda IP 945. (Alternativamente, la primera y/o la segunda unidades de maximización 950 y 955 pueden reemplazarse con otro bloque funcional que realiza otra función, tal como una suma ponderada o una función de promediado). Sin embargo, si las señales de tensión 920 incluyen solo una única señal de tensión, las unidades de maximización 950 y 955 pueden omitirse.

10 Un primer detector de envolvente 960, que es una instancia del detector de envolvente 210 descrito anteriormente, luego detecta una envolvente de la salida de señal máxima mediante la primera unidad de maximización 950 y un segundo detector de envolvente 965, que es similarmente una instancia del detector de envolvente 210, detecta una envolvente de la salida de señal máxima mediante la segunda unidad de maximización 955. Alternativamente, como se explicó anteriormente con referencia al detector de envolvente 210, el primer y/o segundo detectores de  
15 envolvente 960 y 965 pueden reemplazarse con una unidad de procesamiento de señales que realiza una función de procesamiento diferente.

Luego, se realiza una función de escalado o ponderación en cada una de las salidas de los detectores de envolvente 960 y 965 mediante una unidad de escalado de inclinación de turbulencia 970 y una unidad de escalado de  
20 inclinación de corte 975, respectivamente. Como se mencionó anteriormente, con respecto a la figura 10, diferentes tipos de fenómenos de viento que causan una carga o tensión pueden influir en la estimación de la carga de manera diferente. Por lo tanto, los factores de escala aplicados por las unidades de escalado 970 y 975 se pueden configurar para igualar los diferentes empujes que tiene cada fenómeno del viento en una estimación de carga global. (Alternativamente, los empujes dependientes del fenómeno del viento se pueden mejorar o igualar solo  
25 parcialmente, dependiendo de los objetivos de control y/o de las restricciones de diseño). Además, los empujes dependientes del fenómeno del viento con respecto a la estimación de un momento de inclinación pueden diferir de los empujes dependientes del fenómeno del viento con respecto a la estimación de un momento de guiñada. En consecuencia, los factores de escala aplicados por las unidades de escalado 970 y 975 están diseñados para mejorar la estimación del momento de inclinación. (De manera similar, como se explica a continuación, las unidades  
30 de escalado 971 y 975 correspondientes en la ruta de estimación de carga de guiñada aplican factores de escalado que están diseñados para mejorar la estimación del momento de guiñada).

Una unidad de maximización 980 selecciona una máxima de las estimaciones de carga de inclinación producidas por las unidades de escalado 970 y 975. Un sumador de estimación de carga de inclinación 990 calcula un error de  
35 estimación de carga de inclinación al determinar una diferencia entre la estimación de carga de inclinación máxima y una referencia de carga de inclinación. La referencia de carga de inclinación puede ser un valor predeterminado fijo o puede depender de una variable de entrada, tal como la velocidad del viento o algún otro indicador de la severidad del clima. Por ejemplo, la referencia de carga de inclinación puede ser generada por una unidad de referencia de carga, tal como la unidad de referencia de carga 520, que relaciona las velocidades del viento con los valores de  
40 referencia de carga según una curva de referencia de carga, tal como la curva 600 en la figura 6. Un proceso similar se lleva a cabo por los elementos de la ruta de estimación de carga de guiñada y por los elementos de la ruta de estimación de carga de pala para generar un error de estimación de carga de guiñada y un error de estimación de carga de pala para compararse con el error de estimación de carga de inclinación.

45 Un máximo de uno de los errores se selecciona como error de carga por una unidad de maximización 995. Además, un filtro de paso bajo 997 opcionalmente incluido puede promediar la salida de señal de error máxima por la unidad de maximización 995. Un controlador (no mostrado) utiliza el error de carga del estimador de carga 910 como un controlador para controlar una referencia de velocidad del generador y/o una referencia de potencia del WTG 100, como se describió anteriormente con referencia al controlador 530. Además, o alternativamente, las estimaciones de  
50 carga y/o el error de carga producido por el sistema 900 se pueden registrar para su uso y/o estudio posterior, por ejemplo, para optimizar el ajuste específico del sitio de un WTG o para mejorar el conocimiento general de carga para una estructura particular.

55 Debe observarse que una o más de las rutas de estimación de carga pueden omitirse en algunas realizaciones. Por lo tanto, en una realización alternativa del sistema 900, solo se incluye una de las tres rutas de estimación de carga y se omiten las otras dos, obviando la necesidad de la unidad de maximización 995. En otra realización alternativa más, se omite una de las tres rutas de estimación de carga.

60 Además, en ciertas realizaciones, uno o más elementos de cada ruta de estimación de carga que es redundante con un elemento en otra de las rutas pueden omitirse y reemplazarse con la salida del elemento redundante de la otra ruta. Por ejemplo, los filtros de paso alto 931 y 932 pueden omitirse alimentando las salidas de los filtros de paso alto 930 a los elementos que habrían recibido las salidas de los filtros de paso alto 931 y 932. De manera similar, se pueden omitir partes de la ruta de estimación de carga de inclinación o la ruta de estimación de carga de guiñada que alimentan señales a las unidades de escalado 970, 971, 975 y 975.  
65

También son posibles modificaciones adicionales al sistema 900. Por ejemplo, en una realización, los filtros de

parada de banda 940 se pueden omitir cuando un factor de escalado aplicado por la unidad de escalado de inclinación de corte 975 es mayor que el factor de escalado de la unidad de escalado de inclinación de turbulencias 970. En tal configuración, los filtros de parada de banda 940 se pueden omitir debido a su efecto silenciado sobre qué salida se selecciona mediante la unidad de maximización 980: el factor de escalado más alto aplicado en la trayectoria de estimación de la carga de corte probablemente hará que se seleccione la estimación de la carga de corte sobre la estimación de la carga de turbulencias cuando el contenido de frecuencia de IP es dominante en las señales de tensión. Lo mismo puede decirse también para la ruta de estimación de la carga de guiñada y, por lo tanto, en ciertas realizaciones, los filtros de parada de banda 941 en la ruta de estimación de la carga de guiñada también pueden omitirse.

Además, debido a que los filtros de paso de banda 945 y 946 realizan inherentemente la función de filtrado de paso alto de los filtros de paso alto 930 y 931, los filtros de paso de banda 945 y 946 pueden configurarse para recibir directamente las señales de tensión, evitando los filtros de paso alto 930 y 931. Además, o como alternativa, los filtros de paso alto 930, 931, 932 pueden omitirse por completo del estimador de carga 910 si, por ejemplo, se espera que se produzca una cantidad insignificante o ninguna cantidad de carga deseada. Además, se pueden tener en cuenta otros fenómenos de viento además de la turbulencia y la cizalladura del viento. Por ejemplo, las ráfagas de viento, las caídas extremas en la velocidad del viento, los cambios direccionales extremos, etc., pueden ser contabilizados por el sistema 900 utilizando sensores y filtros u otros elementos de procesamiento de señales.

Como se mencionó anteriormente, se pueden usar una o más unidades de procesamiento de señales para implementar los detectores de envolvente 960, 961, 965, 966 y 967. La misma o más unidades de procesamiento de señales también se pueden usar para implementar otras funciones de procesamiento del estimador de carga 910, como una o más de las unidades de escalado 970, 971, 975, 976, uno o ambos sumadores estimados 990, 991, 992, y/o una o más de las unidades maximizadoras 950, 951, 955, 956, 957, 980, 981, 995.

La figura 11 muestra un diagrama de flujo que representa un método 1100 para estimar y controlar una cantidad de carga no deseada experimentada por una o más palas de un WTG. El sistema 900 puede llevar a cabo el método 1100 en la figura 9. En la etapa 1110, se reciben una o más señales que caracterizan la tensión instantánea experimentada por una o más palas u otras porciones del WTG. Las señales pueden recibirse en uno o más filtros, como los filtros de paso alto 930, 931 y 932 del sistema 900. En la etapa 1120, al menos una o más porciones de cada una de las una o más señales recibidas se filtran para producir una primera señal filtrada. La una o más porciones filtradas incluyen una o más porciones que corresponden a la carga deseada experimentada por una o más palas y una o más porciones que corresponden a la carga experimentada por una o más palas debido a un primer fenómeno de viento, que puede ser turbulencia o cizalladura del viento.

En la etapa 1122, llevada a cabo simultáneamente con la etapa 1120, al menos una o más porciones de cada una de las una o más señales recibidas se filtran para producir una segunda señal filtrada. Las una o más porciones filtradas incluyen una o más porciones que corresponden a la carga deseada experimentada por una o más palas y una o más porciones que corresponden a la carga experimentada por una o más palas debido a un segundo fenómeno de viento, que puede ser turbulencia (si el primer fenómeno es cizalladura del viento) o cizalladura del viento (si el primer fenómeno es turbulencia). A continuación, en la etapa 1124, la primera señal filtrada se escala en relación con la segunda señal filtrada. Por ejemplo, la primera señal filtrada puede escalarse, la segunda señal filtrada puede escalarse o ambas pueden escalarse por diferentes factores. Al configurar apropiadamente el escalado relativo, un efecto de diferentes fenómenos de viento en la estimación de carga puede ajustarse para mejorar o cancelar los empujes dependientes de fenómenos de viento que, de lo contrario, existen en la estimación de carga.

La función de filtrar las una o más porciones que corresponden a la carga deseada en las etapas 1120 y 1122 se puede implementar con los filtros de paso alto 930, 931 y 932. Además, la función de filtrar una o más porciones que corresponden a la carga experimentada debido al primer y segundo fenómeno del viento en las etapas 1120 y 1122 puede implementarse con los filtros dependientes de la frecuencia, tal como los filtros de parada de banda IP y paso de banda IP 940, 941, 945 y 946.

A continuación, en la etapa 1130, la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura se estima en base al menos parcialmente a la primera y segunda señales filtradas escaladas. La función de estimación puede realizarse detectando una envolvente de la señal filtrada, por ejemplo, y puede implementarse con una unidad de procesamiento de señal. Una vez que se ha producido una estimación de una cantidad de carga no deseada experimentada por las etapas anteriores, en la etapa 1140, un controlador de WTG puede usar la estimación, entre otras cosas, para controlar la cantidad de carga no deseada. Sin embargo, si una estimación es todo lo que se necesita (por ejemplo, cuando se registran datos para un análisis posterior), se puede omitir la etapa de controlar la estructura (es decir, la etapa 1140), en cuyo caso el método puede considerarse un método para estimar la cantidad de carga no deseada, a diferencia de un método de estimación y control de la cantidad de carga no deseada.

Los métodos y sistemas de ejemplo descritos aquí se pueden usar para estimar con precisión las cargas experimentadas por una estructura. En ciertas realizaciones, solo se estiman cargas indeseables y, opcionalmente,

se controlan. Además, las cargas que se controlan no son necesariamente las mismas cargas caracterizadas por una señal de tensión recibida. Por ejemplo, existe una alta correlación entre las cargas de las palas en un WTG y otras cargas mecánicas importantes que incluyen, por ejemplo, cargas de inclinación, guiñada y torre. Por lo tanto, el sistema de control 500 se puede usar para controlar cargas experimentadas por partes estructurales del WTG distintas de las palas individuales o el rotor. Por ejemplo, los cojinetes y/o los árboles giratorios del rotor también pueden experimentar una carga, que puede ser controlada en lugar de la carga experimentada por las palas. Además, se pueden usar tipos de sensores y ubicaciones de dichos sensores distintos de los descritos en el presente documento para detectar la tensión y producir señales que caracterizan la tensión instantánea. Por ejemplo, uno o más sensores de proximidad ubicados en un bastidor estacionario próximo a una brida de un árbol giratorio de un rotor de WTG pueden detectar una desviación del árbol y producir señales que caracterizan la tensión instantánea experimentada por el árbol.

Además, el controlador 530 del sistema de control 500 puede no controlar directamente las cargas extremas experimentadas por un WTG porque, en general, la reducción de potencia y de velocidad se producirá muy lentamente en comparación con los eventos que causan cargas extremas. Sin embargo, a menudo existe una alta correlación entre un alto nivel de ciclos de fatiga con la carga de la pala y el riesgo de carga extrema. Por lo tanto, las cargas extremas se controlan indirectamente cuando se controlan las cargas de fatiga.

Debe enfatizarse que las realizaciones descritas anteriormente son posibles ejemplos de implementaciones que se exponen simplemente para una comprensión clara de los principios de la invención. El experto en la materia puede realizar muchas variaciones y modificaciones a la(s) realización(es) descrita(s) anteriormente, dichas variaciones y modificaciones pretenden incluirse en el presente documento dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un método para estimar y controlar una cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de una estructura (100), en donde la estructura (100) es un generador de turbina eólica (WTG) comprendiendo el método:
- 5 recibir (710, 810, 1110) una primera señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por un componente (140) de la estructura (100), en el que el componente (140) es una primera de una pluralidad de palas de un rotor (130) del WTG;
- 10 filtrar (720, 820, 1120, 1122) la primera señal recibida para producir una primera señal filtrada en la cual se elimina al menos una porción que corresponde a la carga deseada experimentada por el componente (140), en el que la al menos una porción de la primera señal recibida que se filtra incluye componentes de la primera señal recibida que están por debajo de una frecuencia umbral predeterminada;
- 15 estimar (830) una cantidad de la carga no deseada experimentada por la primera pala basada al menos parcialmente en la primera señal filtrada, en el que la estimación (730, 830, 870, 1130) de la cantidad de la carga no deseada comprende uno de:
- calcular una desviación estándar de la primera señal filtrada;
- calcular uno o más momentos espectrales de la primera señal filtrada, en el que el uno o más momentos espectrales de la primera señal filtrada incluye el N-ésimo momento espectral, donde N es el coeficiente de Wöhler correspondiente a un material a partir del cual se hace el componente;
- 20 detectar una envolvente de la primera señal filtrada; y
- calcular un recuento de ciclo de flujo de lluvia en línea de la primera señal filtrada;
- recibir (840) una segunda señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por una segunda de la pluralidad de palas;
- 25 filtrar (850) la segunda señal recibida para producir una segunda señal filtrada en la que se elimina al menos una porción que corresponde a la carga deseada experimentada por la segunda pala, en el que la al menos una porción de la segunda señal recibida que se filtra incluye componentes de la segunda señal recibida que están por debajo de una frecuencia umbral predeterminada;
- 30 estimar (860) una cantidad de carga no deseada experimentada por la segunda pala basada al menos parcialmente en la segunda señal filtrada, en el que la estimación (730, 830, 870, 1130) de la cantidad de carga no deseada comprende uno de:
- calcular una desviación estándar de la segunda señal filtrada;
- calcular uno o más momentos espectrales de la segunda señal filtrada, en el que el uno o más momentos espectrales de la segunda señal filtrada incluye el N-ésimo momento espectral, donde N es el coeficiente de Wöhler correspondiente a un material a partir del cual se hace el componente;
- 35 detectar una envolvente de la segunda señal filtrada; y
- calcular un recuento de ciclo de flujo de lluvia en línea de la segunda señal filtrada;
- y
- 40 estimar (730, 830, 870, 1130) la cantidad de carga no deseada experimentada por la al menos una porción de la estructura (100) basada al menos parcialmente en cantidades estimadas de la carga no deseada experimentada por la primera y segunda palas.
2. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1, en el que la primera señal que caracteriza la tensión instantánea experimentada por el componente (140) se recibe desde un medidor de tensión (142) dispuesto sobre el componente (140).
- 45
3. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, que comprende, además: controlar (740, 880) la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura (100) basada al menos parcialmente en la cantidad estimada de carga no deseada.
- 50
4. El método según la reivindicación 3, en el que controlar (740, 880) la cantidad de carga no deseada experimentada incluye al menos uno de aumento y reducción del WTG.
5. El método según la reivindicación 3, en el que estimar (870) la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción del WTG incluye seleccionar un máximo de un conjunto de estimaciones de carga, incluyendo el conjunto:
- 55 la cantidad estimada de carga no deseada experimentada por la primera pala; y la cantidad estimada de carga no deseada experimentada por la segunda pala,
- 60 en el que controlar (880) la cantidad de carga no deseada experimentada incluye comparar la estimación de carga máxima no deseada con un nivel de referencia.
6. El método según la reivindicación 1, en el que filtrar la primera señal recibida incluye además filtrar (1120) la primera señal recibida para eliminar una o más porciones que corresponden a la carga experimentada por el componente (140) debido a un primer fenómeno de viento,
- 65 en el que el primer fenómeno de viento es uno de turbulencia y cizalladura del viento.

7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende, además:

filtrar (1122) la primera señal recibida para producir una señal filtrada adicional en la que se eliminan al menos las siguientes porciones de señal:

una o más porciones de la primera señal recibida que corresponden a la carga deseada experimentada por el componente; y

una o más porciones de la primera señal recibida que corresponden a la carga experimentada por el componente debido a un segundo fenómeno de viento, siendo el segundo fenómeno de viento el otro de turbulencia y cizalladura del viento; y escalar (1124) la primera señal filtrada en relación con la señal filtrada adicional; y

estimar (1130) la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura basada al menos parcialmente en la primera señal y la adicional filtradas escaladas.

8. El método según la reivindicación 6, en el que la estructura (100) es un WTG que incluye un rotor (130) con una o más palas que hacen que el rotor gire en respuesta a las fuerzas del viento, y

en el que una o más porciones que corresponden a la carga experimentada por el componente debido al primer fenómeno de viento incluyen componentes de frecuencia de la primera señal recibida que están dentro de una banda de paso centrada alrededor de una frecuencia de rotación del rotor, y

en el que la una o más porciones que corresponden a la carga experimentada por el componente debido al segundo fenómeno de viento incluyen componentes de frecuencia de la primera señal recibida que están fuera de una banda de detención centrada alrededor de una frecuencia de rotación del rotor.

9. Un sistema para controlar una cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de una estructura (100), en el que la estructura (100) es un generador de turbina eólica (WTG), comprendiendo el sistema:

un estimador de carga (410, 910) configurado para estimar la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura (100) basada al menos parcialmente en una estimación de la cantidad de carga no deseada experimentada por un componente (140) de la estructura, en el que el componente (140) es una primera de una pluralidad de palas de un rotor (130) del WTG; y

un controlador (530) configurado para controlar la cantidad de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura (100) basada al menos parcialmente en la cantidad estimada de carga no deseada experimentada por al menos una porción de la estructura (100),

en el que el estimador de carga (410, 910) comprende:

un primer módulo de filtro (320, 930, 931, 932, 940, 941, 945, 946) configurado para producir una primera señal filtrada filtrando una o más porciones de una primera señal, caracterizando la primera señal la tensión instantánea experimentada por el componente (140) de la estructura (100), e incluyendo la una o más porciones filtradas una porción correspondiente a la carga deseada experimentada por el componente (140), en el que la una o más porciones de la primera señal que se filtran incluyen componentes de la primera señal que están por debajo de una frecuencia umbral predeterminada;

una primera unidad de procesamiento de señal (210, 960, 961, 965, 966, 967, 980, 981) configurada para procesar la primera señal filtrada para producir la estimación de la cantidad de carga no deseada experimentada por el componente (140), en el que la estimación de la cantidad de carga no deseada comprende uno de:

calcular una desviación estándar de la primera señal filtrada;

calcular uno o más momentos espectrales de la primera señal filtrada, en el que el uno o más momentos espectrales de la primera señal filtrada incluye el N-ésimo momento espectral, donde N es el coeficiente de Wöhler correspondiente a un material a partir del cual se hace el componente;

detectar una envolvente de la primera señal filtrada; y

calcular un recuento de ciclo de flujo de lluvia en línea de la primera señal filtrada;

un segundo módulo de filtro (320) configurado para producir una segunda señal filtrada al filtrar una o más porciones de una segunda señal, caracterizando la segunda señal la tensión instantánea experimentada por una segunda de la pluralidad de palas y la otra o más porciones filtradas que incluyen una porción correspondiente a la carga deseada experimentada por la segunda pala; en el que la una o más porciones de la segunda señal que se filtra incluye componentes de la segunda señal que está por debajo de un umbral de frecuencia predeterminado; y

una segunda unidad de procesamiento de señal (210) configurada para procesar la segunda señal filtrada para producir una estimación de la cantidad de carga no deseada experimentada por la segunda pala, en el que la estimación de la cantidad de carga no deseada comprende uno de:

calcular una desviación estándar de la segunda señal filtrada;

calcular uno o más momentos espectrales de la segunda señal filtrada, en el que el uno o más momentos espectrales de la segunda señal filtrada incluye el N-ésimo momento espectral, donde N es el coeficiente de Wöhler correspondiente a un material a partir del cual se hace el componente;

detectar una envolvente de la segunda señal filtrada; y

calcular un recuento de ciclo de flujo de lluvia en línea de la segunda señal filtrada; y

en el que el estimador de carga (410) está configurado para estimar la cantidad de carga no deseada experimentada por la al menos una porción del WTG basada en menos parcialmente en la estimación de la cantidad de carga no deseada experimentada por la primera pala y la estimación de la cantidad de la carga no deseada experimentada por la segunda pala.

10. El sistema según la reivindicación 9, en el que la estructura (100) es un WTG que tiene un rotor (130), y en el que la una o más porciones de la primera señal filtrada por el primer módulo de filtro (940, 941) incluyen una o más porciones que corresponden a la carga experimentada por el componente debido a un primer fenómeno de viento, en el que el primer fenómeno de viento es uno de turbulencia y cizalladura del viento.

5 11. El sistema según la reivindicación 10, en el que el primer módulo de filtro (945, 946) está configurado además para producir una señal filtrada adicional filtrando una porción correspondiente a la carga deseada experimentada por el componente y una porción de la primera señal que corresponde a la carga experimentada por el componente debido a un segundo fenómeno de viento,

10 comprendiendo además la primera unidad de procesamiento de señal (970, 971, 975, 976, 980, 981) del estimador de carga (910) una unidad de escalado (970, 971, 975, 976) que escala la primera señal filtrada en relación con la señal filtrada adicional, y

15 la primera unidad de procesamiento de señales (980, 981) está configurada además para procesar la primera y la señal adicional de las señales filtradas escaladas para producir la estimación de la cantidad de carga no deseada experimentada por el componente.

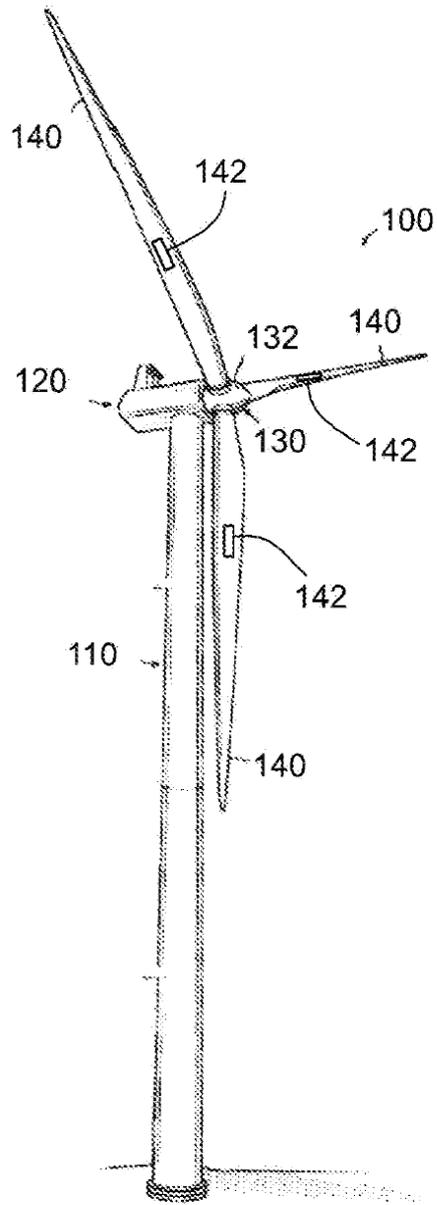


Fig. 1

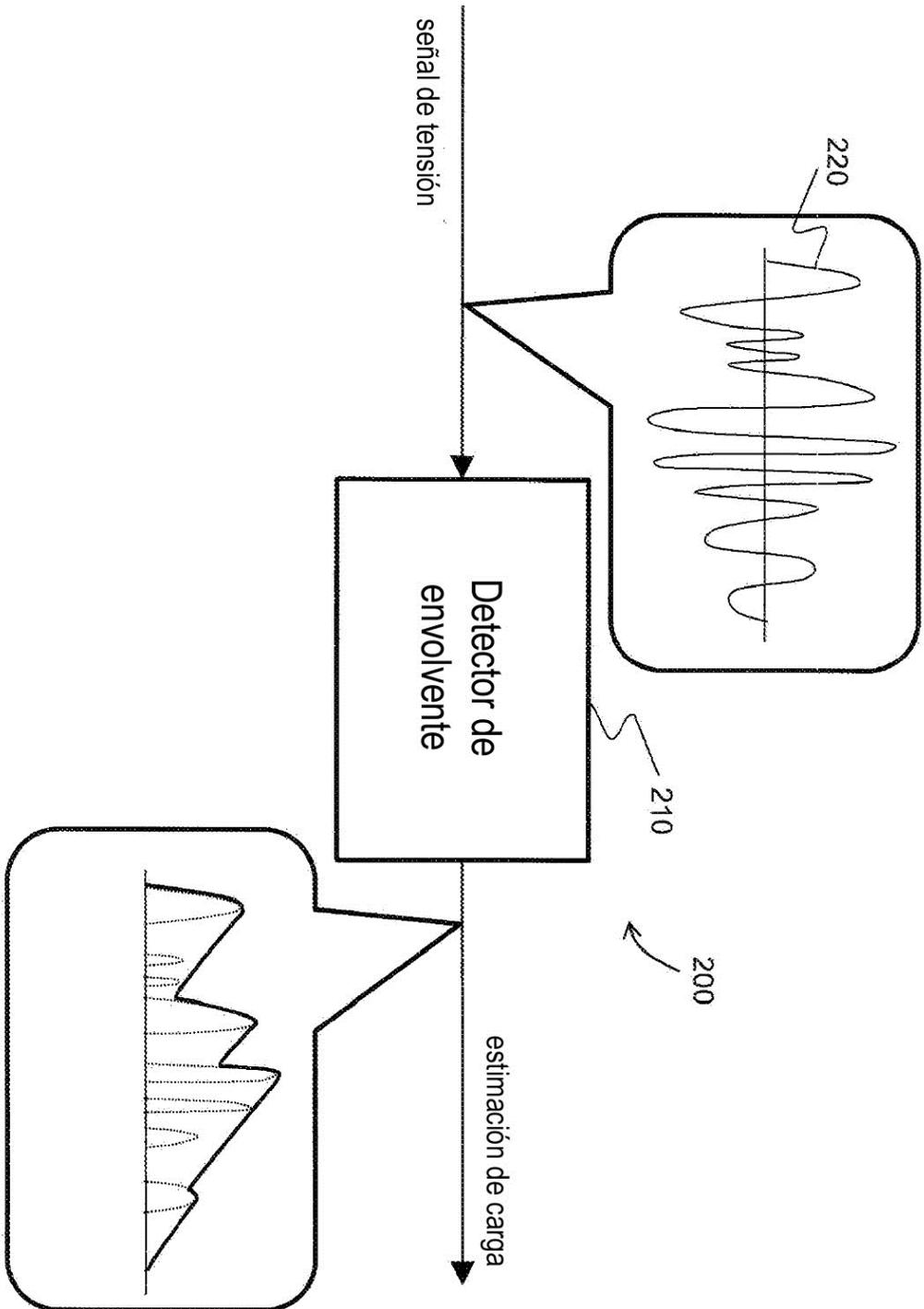


Fig. 2

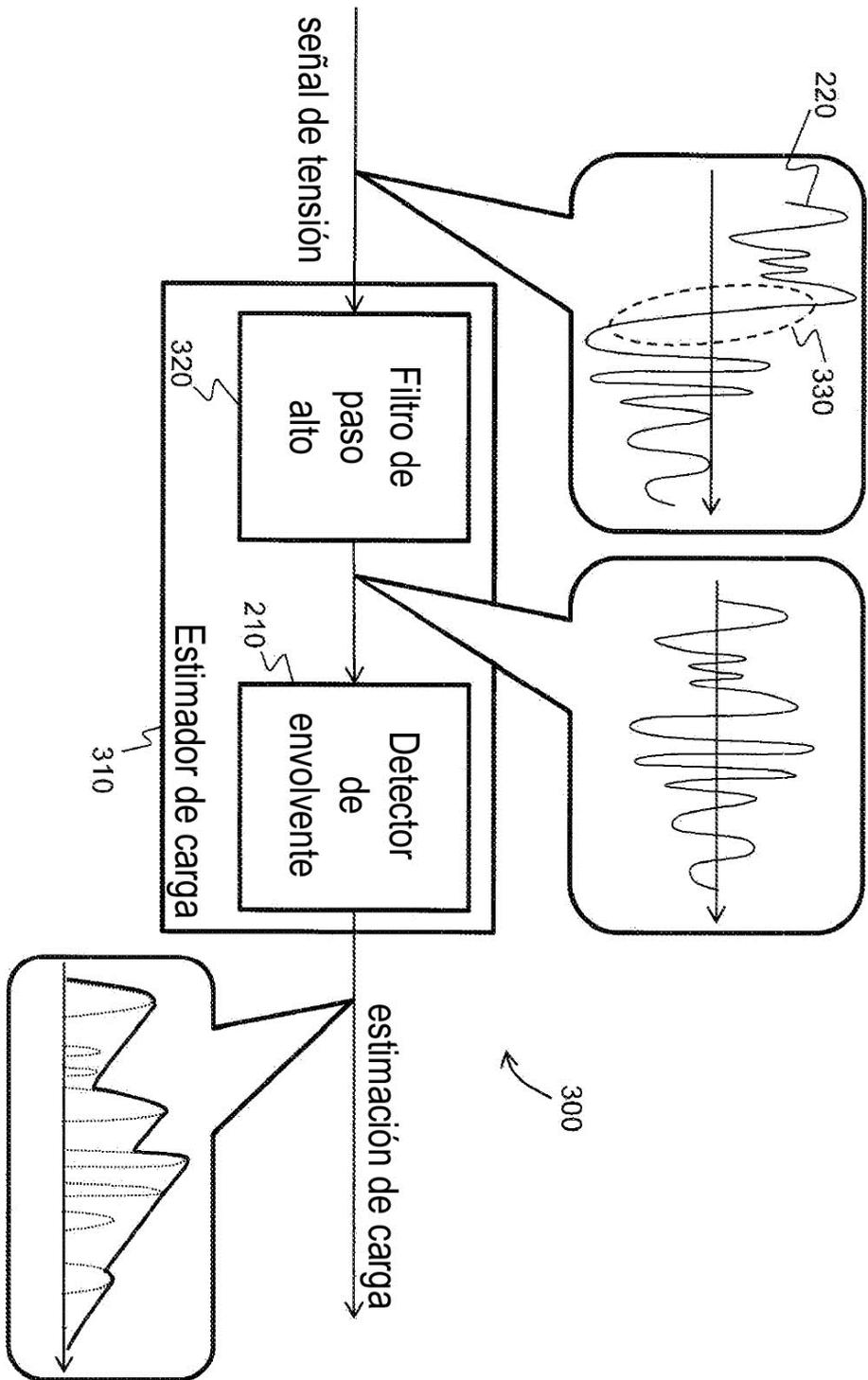


Fig. 3

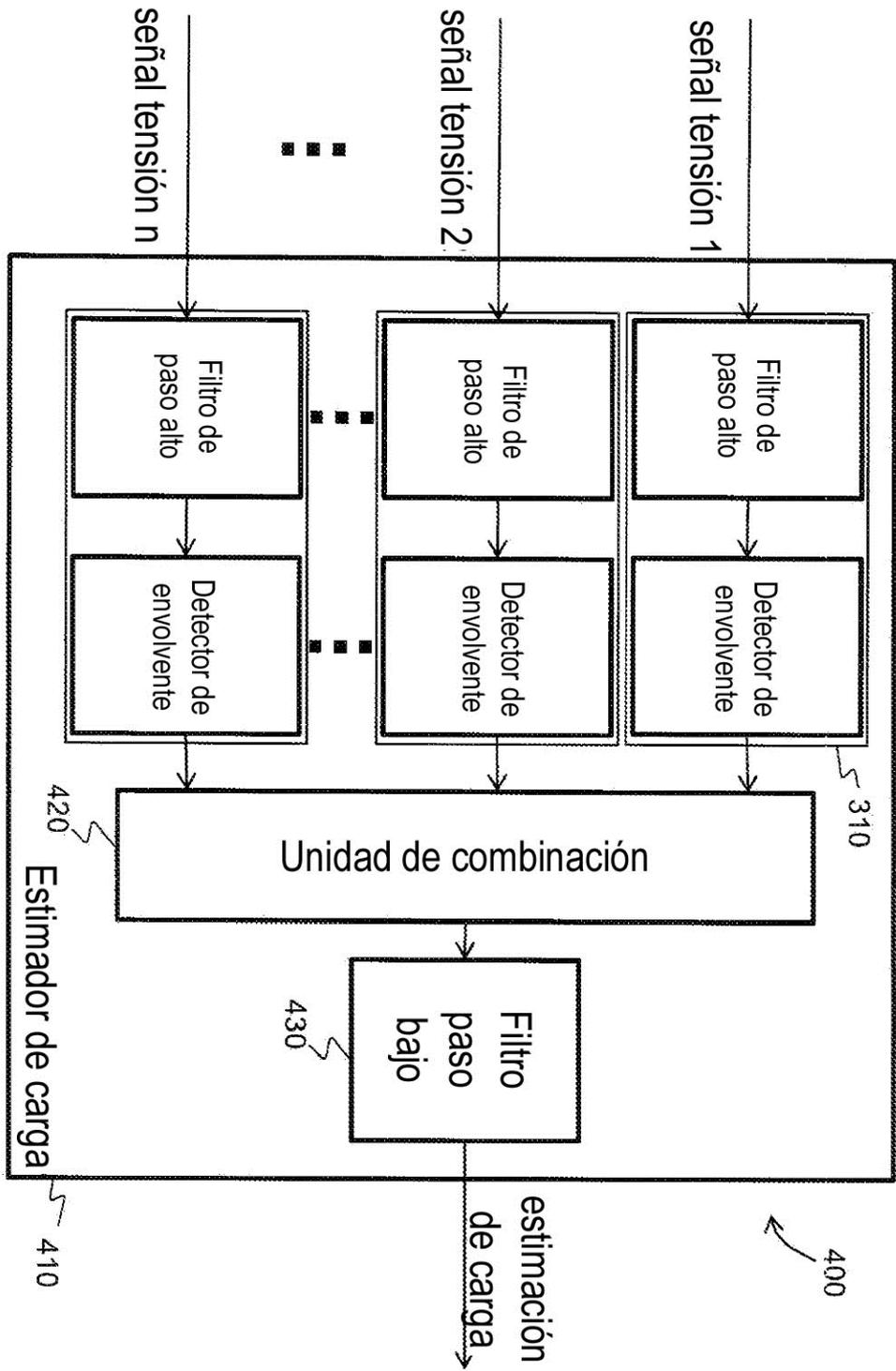


Fig. 4

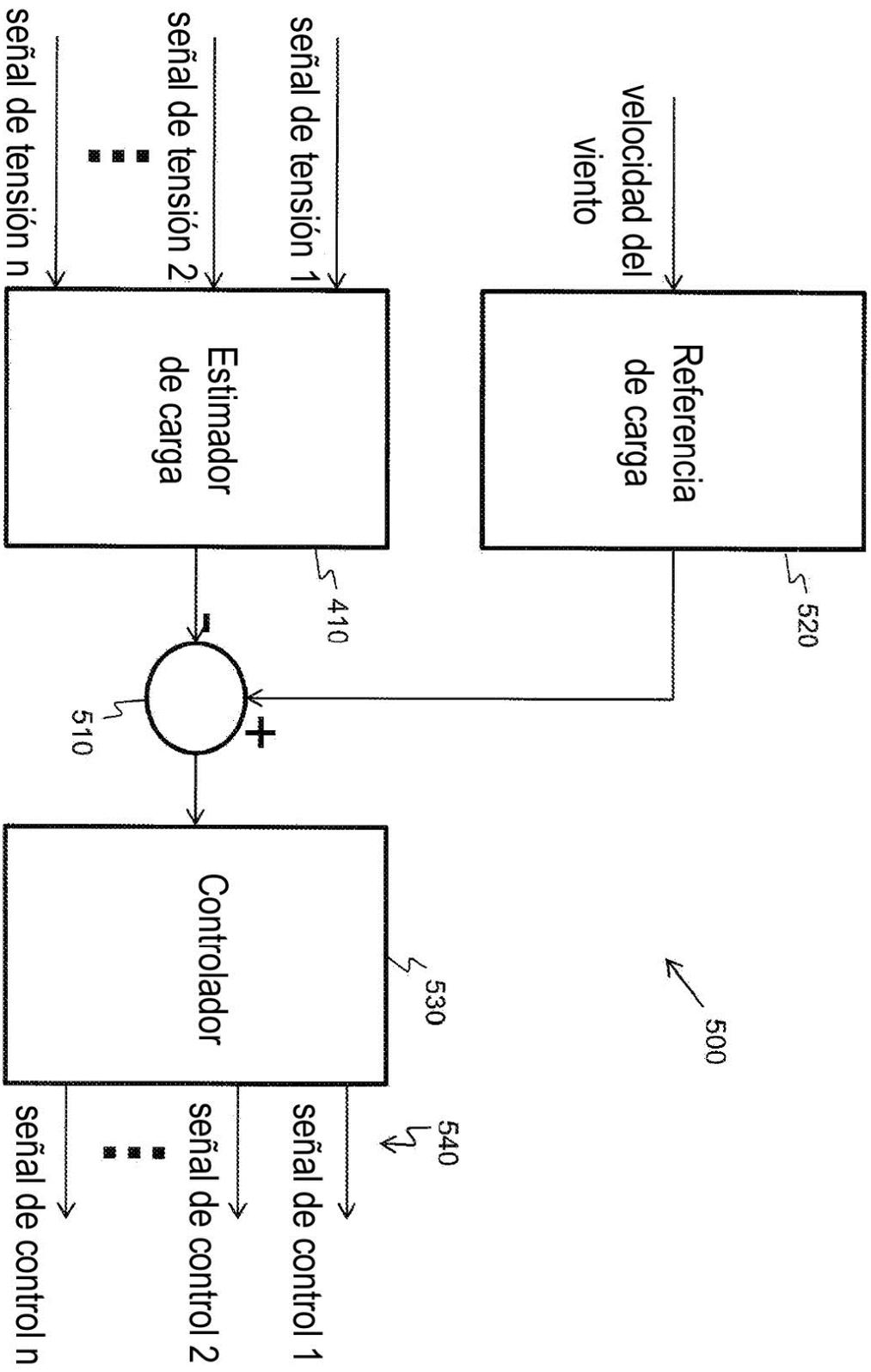


Fig. 5

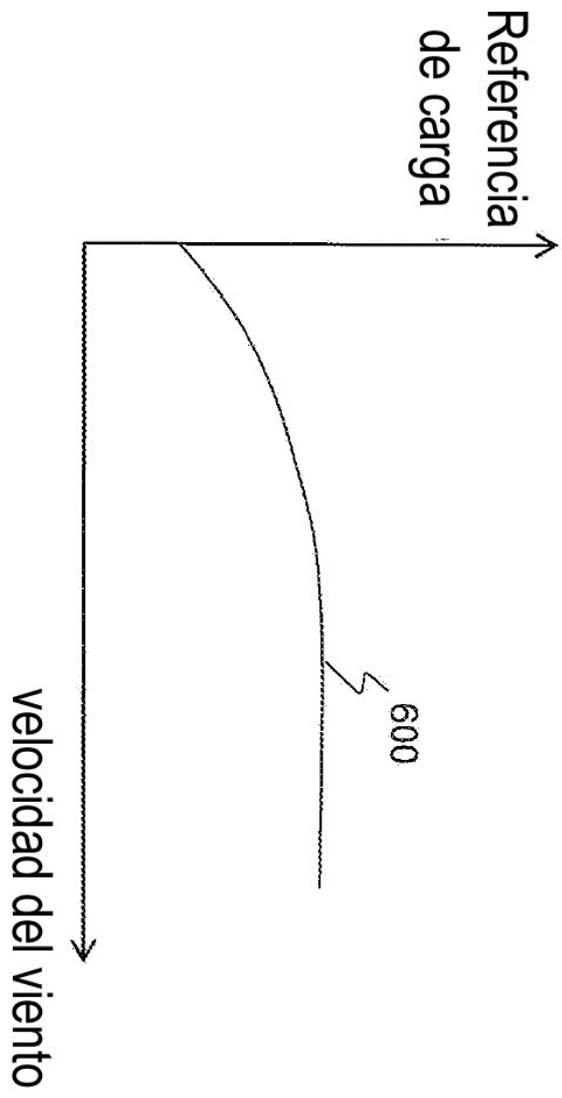


Fig. 6

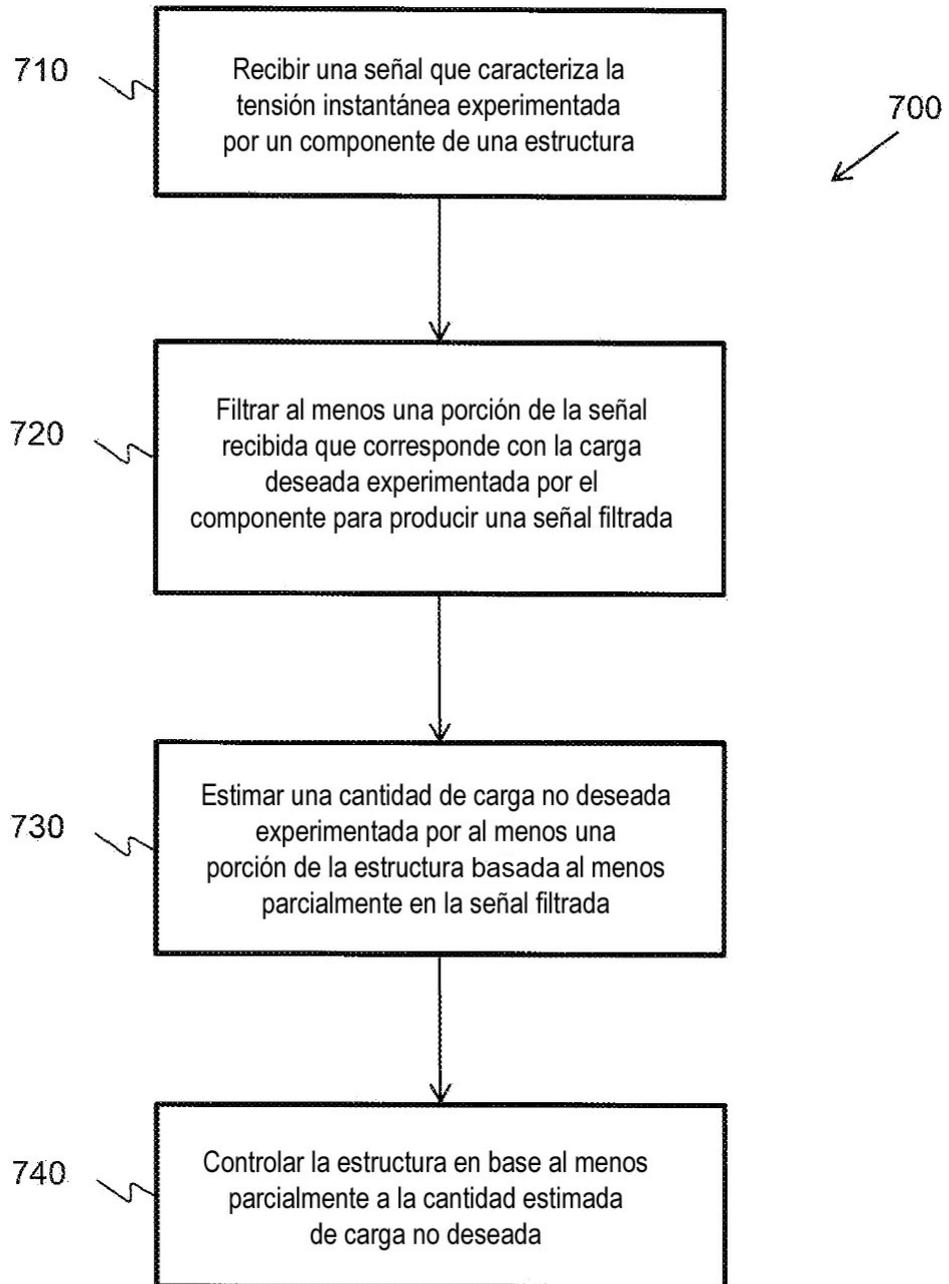


Fig. 7

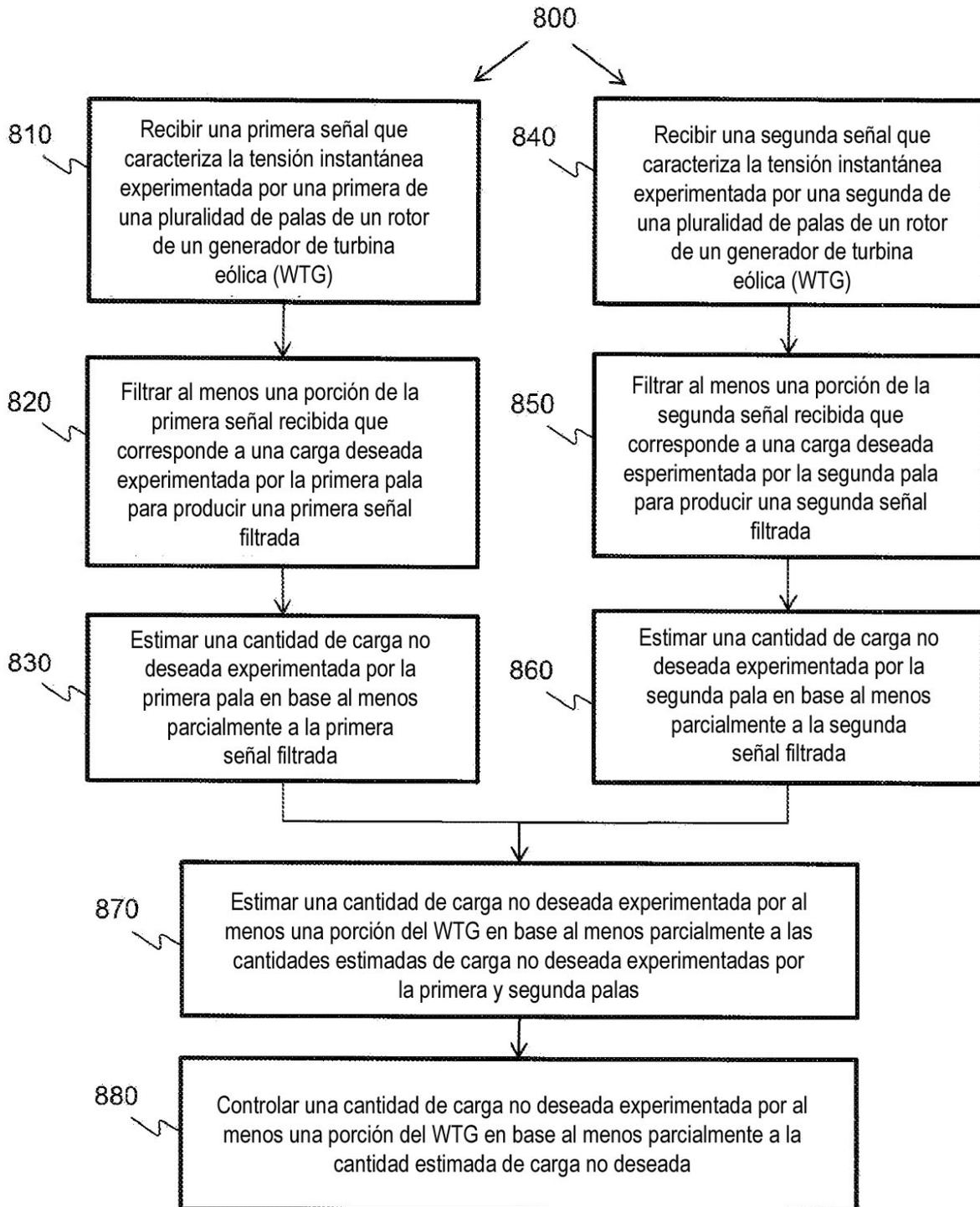


Fig. 8

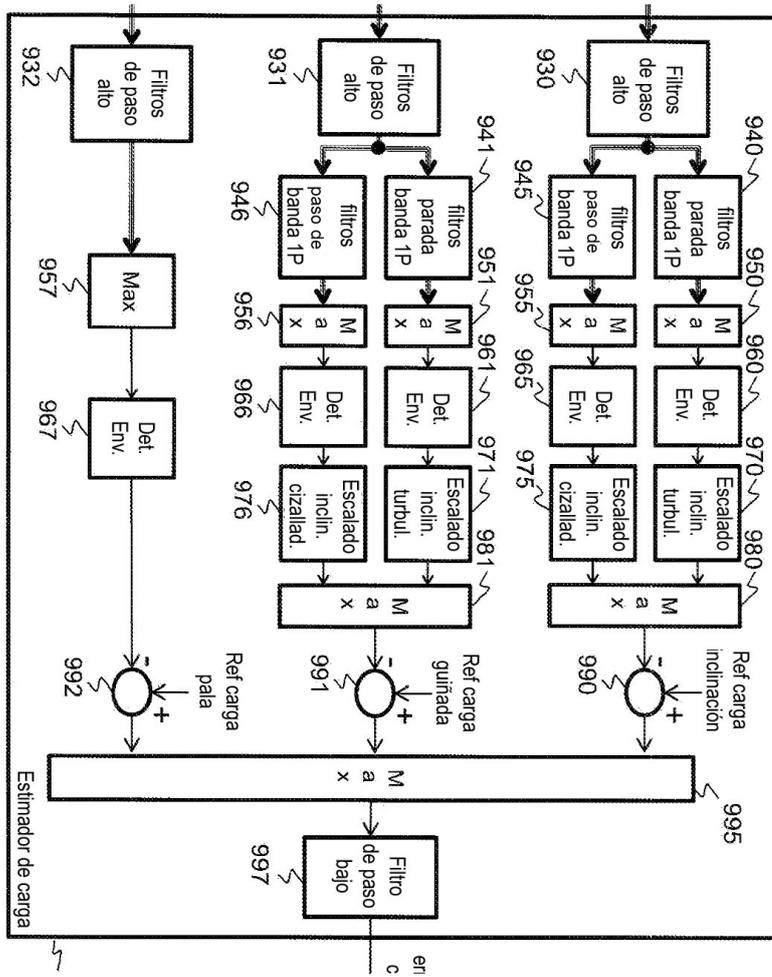


Fig. 9

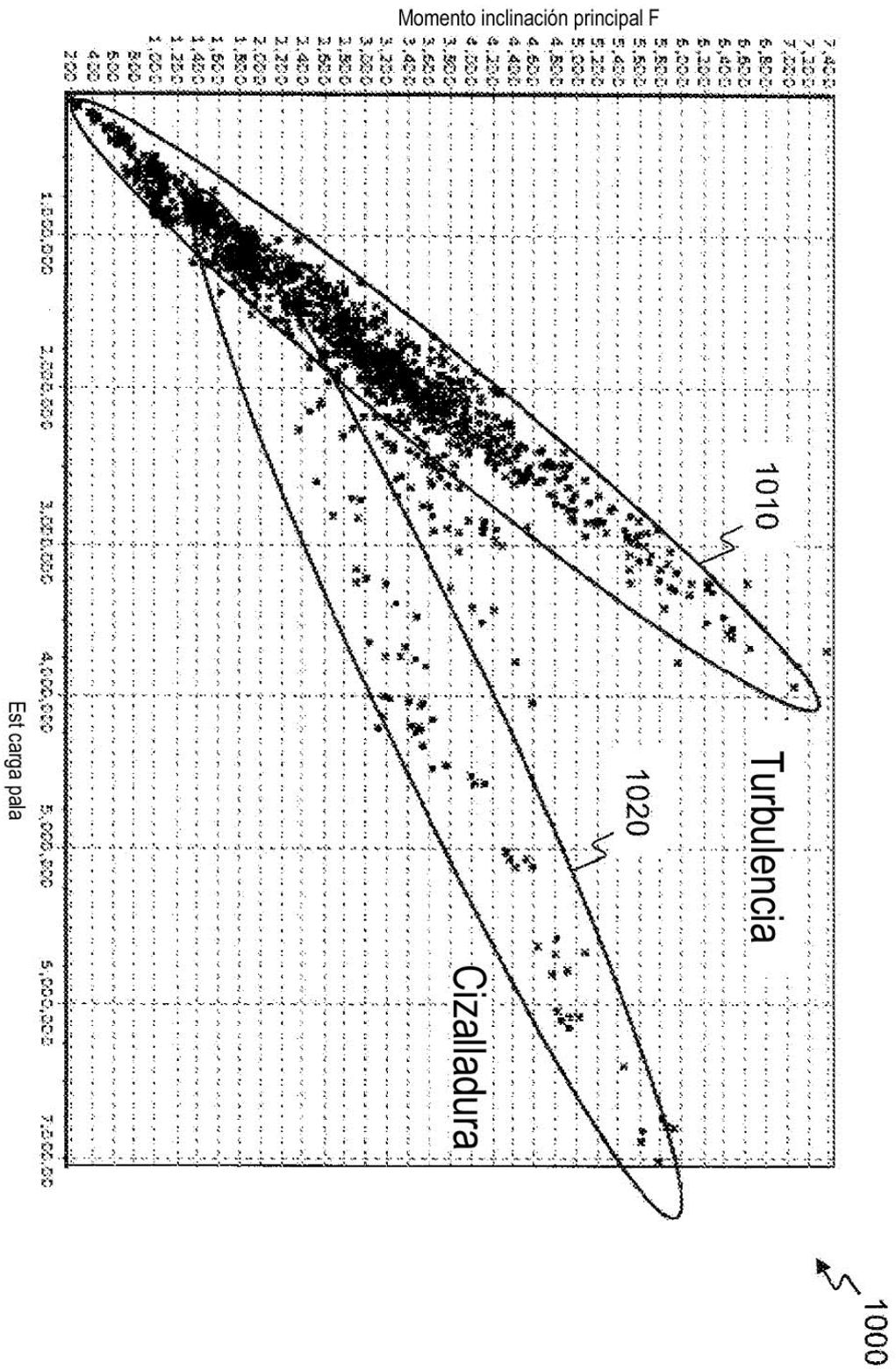


Fig. 10

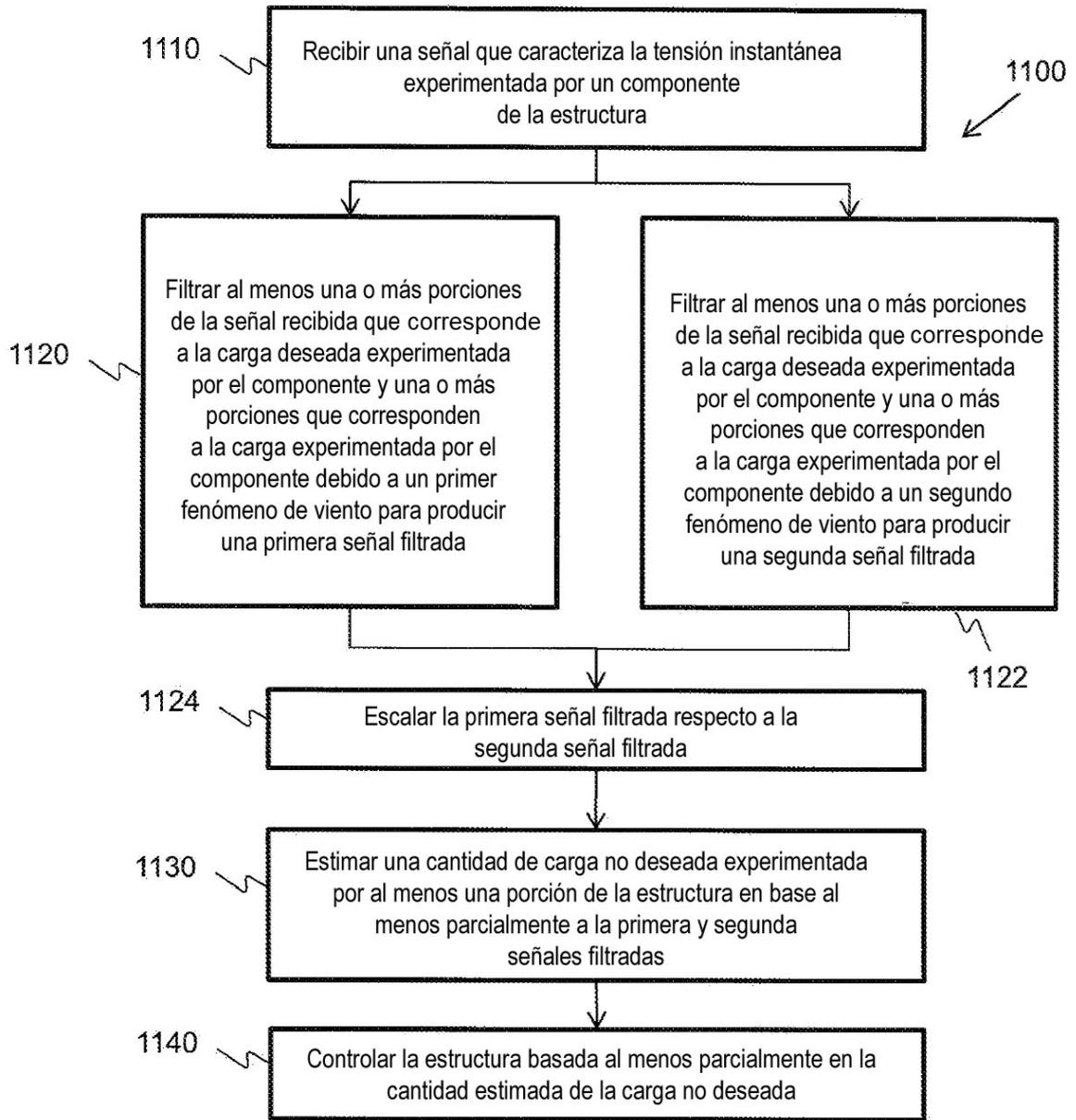


Fig. 11