

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 556 611**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/04** (2006.01)

**H04L 29/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.12.2012 E 12816612 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.09.2015 EP 2798204**

54 Título: **Procedimiento para supervisar de manera inalámbrica y robusta el estado de una turbina eólica**

30 Prioridad:

**30.12.2011 US 201113341291**

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

**19.01.2016**

73 Titular/es:

**ROBERT BOSCH GMBH (100.0%)  
Postfach 30 02 20  
70442 Stuttgart, DE**

72 Inventor/es:

**LANG, CHRISTOPH;  
VOLKMER, PETER;  
SENEL, MURAT;  
JAIN, VIVEK;  
VENKATRAMAN, LAKSHMI y  
LEE, HUANG**

74 Agente/Representante:

**PONTI SALES, Adelaida**

**ES 2 556 611 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**

Procedimiento para supervisar de manera inalámbrica y robusta el estado de una turbina eólica.

5 **[0001]** La presente invención se refiere a un sistema y un procedimiento para supervisar el estado de una turbina eólica.

**[0002]** El documento US 2010/021298 A1 da a conocer un sistema de supervisión del estado de una turbina eólica para una o más turbinas eólicas, comprendiendo cada turbina eólica una torre, un multiplicador acoplado a la  
 10 torre y una pluralidad de palas de turbina acopladas al multiplicador. El sistema comprende una pluralidad de sensores de pala que proporcionan lecturas de sensor de pala, estando acoplado cada uno de la pluralidad de sensores de pala a una de la pluralidad de palas de la una o más turbinas eólicas. Un nodo de buje está acoplado al multiplicador de cada una de la una o más turbinas eólicas, y un controlador está previsto en comunicación con uno o más nodos de buje y una pluralidad de sensores de pala. El controlador determina la posición de cada pala de  
 15 turbina de la pluralidad de palas de turbina basándose en las lecturas del sensor de pala.

**[0003]** Capturar la energía eólica mediante turbinas eólicas para generar energía eléctrica es un mercado en auge. La eficacia y la vida útil de las turbinas eólicas dependen del estado de las turbinas eólicas, por lo que hay muchas aplicaciones que usan sensores montados en las palas de las turbinas eólicas para supervisar su estado.  
 20 Los sistemas de supervisión del estado de las palas de una turbina eólica utilizan normalmente una comunicación cableada entre los sensores acoplados a las palas de turbina y el controlador, el cual puede estar ubicado, o no, en la turbina eólica. El controlador detecta las lecturas del sensor de la pala de turbina, ejecuta los algoritmos requeridos en función de las necesidades de las aplicaciones específicas y, después, comunica la decisión a un nodo de buje de la turbina eólica para realizar las acciones apropiadas, tal como detener el rotor, aumentar / reducir  
 25 la velocidad de giro de las palas, etc. Se concibe que la comunicación entre los sensores y el buje / controlador pueda ser inalámbrica, mientras que la comunicación entre el nodo de buje y el controlador puede ser cableada o inalámbrica. Sin embargo, las trayectorias de comunicación inalámbrica entre los diversos nodos de comunicación de un sistema de supervisión del estado de una turbina eólica pueden interrumpirse periódicamente por las estructuras de la turbina eólica. Por ejemplo, la torre puede interrumpir la comunicación entre un sensor dispuesto en  
 30 una placa de turbina y un controlador.

**[0004]** La supervisión del estado de las palas de una turbina eólica puede aumentar la vida útil de las palas y la turbina al detectarse antes posibles anomalías, lo que permite llevar a cabo con prontitud acciones preventivas para evitar graves daños en las palas y la turbina. Uno de los diversos sensores que pueden usarse para supervisar  
 35 el estado es un sensor de acelerómetro. Los sensores de acelerómetro, una vez colocados en un objeto, pueden usarse para medir la vibración de ese objeto. Los acelerómetros también pueden usarse para determinar la posición de un objeto, por ejemplo las posiciones de las palas de una turbina eólica.

**[0005]** Es deseable detectar las posiciones de las palas de una turbina eólica y usar la información de posición para desarrollar planificaciones robustas de comunicación inalámbrica entre los sensores de las palas, los nodos de buje y los controladores, que satisfagan parámetros de comunicación deseados. Estos parámetros de comunicación deseados pueden incluir, por ejemplo, evitar la interrupción de la trayectoria y múltiples interferencias de transmisión, y obtener medidas de fiabilidad y eficiencia energética.

45 **RESUMEN**

**[0006]** Un sistema de supervisión del estado de una turbina eólica para una o más turbinas eólicas según la invención se define en las reivindicaciones independientes 1 y 4, respectivamente. Los sensores de las palas pueden incluir acelerómetros multieje.  
 50

**[0007]** El controlador puede estar configurado para comunicarse solamente con un nodo de buje particular del uno o más nodos de buje cuando el nodo de buje particular está fuera de las áreas de ensombrecimiento de nodo de buje. La comunicación inalámbrica directa entre el controlador y el nodo de buje particular se interrumpe cuando el nodo de buje particular está en las áreas de ensombrecimiento de nodo de buje.  
 55

**[0008]** El controlador puede estar configurado para comunicarse solamente con un nodo de buje cuando ese nodo de buje está fuera de las áreas de ensombrecimiento de nodo de buje. La comunicación inalámbrica directa entre el controlador y un nodo de buje se interrumpe cuando el nodo de buje está en las áreas de ensombrecimiento de nodo de buje.

**[0009]** El controlador puede estar configurado para comunicarse solamente con un sensor de pala particular cuando el sensor de pala particular está en una región de comunicación favorable. El controlador puede determinar si un sensor de pala está en la región de comunicación favorable basándose en las lecturas del sensor de pala. La región de comunicación favorable presenta una trayectoria de comunicación no interrumpida entre el controlador y el sensor de pala. La región de comunicación favorable puede limitarse adicionalmente de manera que la distancia de separación entre el controlador y el sensor de pala particular sea inferior a un umbral de separación cuando el sensor de pala particular está en la región de comunicación favorable. La región de comunicación favorable también puede limitarse adicionalmente de manera que solo un sensor de pala de la pluralidad de sensores de pala esté en la región de comunicación favorable al mismo tiempo.

**[0010]** Se da a conocer un procedimiento de supervisión del estado de una turbina eólica para turbinas eólicas con un sistema de supervisión según la reivindicación independiente 10, donde cada turbina eólica incluye una torre, un multiplicador acoplado a la torre y una pluralidad de palas de turbina acopladas al multiplicador, incluyendo el sistema de supervisión un controlador, un nodo de buje acoplado a cada multiplicador, y una pluralidad de sensores de pala. El procedimiento de supervisión de estado incluye determinar áreas de ensombrecimiento, configurar cada uno de la pluralidad de sensores de pala para que solo transmitan cuando estén fuera de las áreas de ensombrecimiento, recibir lecturas de los sensores de pala en el controlador desde un sensor de pala cuando el sensor de pala está fuera de las áreas de ensombrecimiento, y determinar la posición del sensor de pala en función de las lecturas del sensor de pala. La trayectoria de comunicación directa entre un sensor de pala y el controlador se interrumpe cuando el sensor de pala está en las áreas de ensombrecimiento. El procedimiento puede incluir además determinar regiones de comunicación favorables, configurar cada uno de la pluralidad de sensores de pala para que solo transmitan cuando estén en las regiones de comunicación favorables, y recibir lecturas de sensor de pala en el controlador desde un sensor de pala cuando el sensor de pala está en las regiones de comunicación favorables. Las regiones de comunicación favorables son áreas que están fuera de las áreas de ensombrecimiento, donde la trayectoria de comunicación entre el sensor de pala y el controlador es inferior a un umbral de separación. El procedimiento puede incluir además determinar una región de transmisión fuera de las áreas de ensombrecimiento o dentro de las regiones de comunicación favorables de tal modo que un solo sensor de pala de la pluralidad de sensores de pala esté en la región de transmisión al mismo tiempo, configurar los sensores de pala para que solo transmitan cuando estén en la región de transmisión, y recibir lecturas de sensor de pala en el controlador desde un sensor de pala cuando el sensor de pala está dentro de la región de transmisión.

**[0011]** Se da a conocer un procedimiento de supervisión del estado de una turbina eólica para turbinas eólicas con un sistema de supervisión según la reivindicación independiente 14, donde cada turbina eólica incluye una torre, un multiplicador acoplado a la torre y una pluralidad de palas de turbina acopladas al multiplicador, incluyendo el sistema de supervisión un controlador, un nodo de buje acoplado a cada multiplicador, y una pluralidad de sensores de pala. El procedimiento de supervisión de estado incluye determinar áreas de ensombrecimiento de pala, configurar cada uno de la pluralidad de sensores de pala para que solo transmitan cuando estén fuera de las áreas de ensombrecimiento de pala, recibir lecturas de sensor de pala en el nodo de buje desde un sensor de pala cuando el sensor de pala está fuera de las áreas de ensombrecimiento de pala, transmitir señales de nodo de buje desde el nodo de buje al controlador, y determinar la posición del sensor de pala en función de las lecturas de sensor de pala. Las señales de nodo de buje incluyen información de las lecturas de sensor de pala. La trayectoria de comunicación entre un sensor de pala y el nodo de buje se interrumpe cuando el sensor de pala está en las áreas de ensombrecimiento de pala. El procedimiento puede incluir además determinar áreas de ensombrecimiento de buje, determinar la posición del nodo de buje en función de las señales de nodo de buje, configurar el nodo de buje para que solo transmita al controlador cuando esté fuera de las áreas de ensombrecimiento de buje, y configurar el controlador para que solo transmita al nodo de buje cuando el nodo de buje esté fuera de las áreas de ensombrecimiento de buje. La trayectoria de comunicación entre el nodo de buje y el controlador se interrumpe cuando el nodo de buje está en las áreas de ensombrecimiento de buje.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

**[0012]** Las anteriores y otras características y objetivos de esta invención, y la manera de conseguirlos, resultarán más evidentes y la propia invención se entenderá mejor haciendo referencia a la siguiente descripción de realizaciones a modo de ejemplo de la invención tomada junto con los dibujos adjuntos, en los que:

la FIG. 1 ilustra una turbina eólica a modo de ejemplo con un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de un nivel;

la FIG. 2 ilustra una turbina eólica a modo de ejemplo con un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de dos niveles;

la FIG. 3 ilustra una turbina eólica a modo de ejemplo con un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de dos niveles, en el que se usa un único controlador para controlar múltiples turbinas eólicas;

la FIG. 4 ilustra una turbina eólica a modo de ejemplo con un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de un nivel, en el que se usa un único controlador para controlar múltiples turbinas eólicas;

10 la FIG. 5 ilustra un escenario de ensombrecimiento a modo de ejemplo entre sensores de pala y un nodo de buje para una turbina eólica con un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de dos niveles;

la FIG. 6 ilustra escenarios de ensombrecimiento a modo de ejemplo entre sensores de pala y un nodo de buje y entre sensores de pala y un controlador para una turbina eólica con un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de un nivel;

20 la FIG. 7 ilustra escenarios de ensombrecimiento a modo de ejemplo entre sensores de pala y un controlador y entre un nodo de buje y un controlador para una turbina eólica con un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de un nivel;

la FIG. 8 ilustra ubicaciones de pala favorables para la comunicación entre los sensores de pala y un nodo de buje acoplado a un multiplicador;

25 la FIG. 9 ilustra ubicaciones de pala favorables para la comunicación entre los sensores de pala y un nodo de controlador;

la FIG. 10 ilustra un escenario a modo de ejemplo en el que un sensor de pala puede transmitir durante cualquier parte de una región de comunicación favorable sin interferir con otros sensores de pala; y

30 la FIG. 11 ilustra un escenario a modo de ejemplo en el que un sensor de pala puede transmitir solamente durante una parte de una región de comunicación favorable sin interferir con otros sensores de pala.

**[0013]** Los mismos caracteres de referencia indican las mismas partes a través de las diversas vistas. Aunque la ejemplificación expuesta en el presente documento ilustra realizaciones de la invención, en varias formas, las realizaciones descritas a continuación no pretenden ser exhaustivas ni limitar el alcance de la invención a las formas precisas dadas a conocer.

#### DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES A MODO DE EJEMPLO

40 **[0014]** Existen muchas aplicaciones que usan sensores montados en turbinas eólicas y palas de turbinas eólicas para supervisar su estado, por ejemplo para detectar daños o posibles daños en la turbina eólica y/o en las palas, o para aumentar la eficacia de captación de energía de la turbina eólica. La supervisión del estado de las palas de una turbina eólica puede aumentar la vida útil de las palas y la turbina al detectarse antes posibles anomalías, lo que permite llevar a cabo con prontitud acciones preventivas para evitar o reducir los daños en las palas y la turbina. Un tipo de sensor a modo de ejemplo que puede usarse para supervisar el estado de una turbina eólica es un acelerómetro, el cual puede medir la aceleración de un objeto. Un acelerómetro puede ayudar a detectar el impacto de un rayo en una pala de turbina eólica, de manera que la turbina eólica (también denominada aerogenerador) puede detenerse rápidamente tras el impacto de un rayo para reducir los daños en la turbina y las palas. Los datos de sensor de acelerómetro también pueden usarse para detectar acumulaciones de hielo en las palas de la turbina para poder detener las palas de la turbina cuando haya un nivel determinado de acumulación de hielo y volver a activar las palas de la turbina cuando se haya derretido una cantidad suficiente de hielo.

55 **[0015]** Los datos de los sensores de supervisión de estado de turbina eólica pueden recogerse en una unidad central o controlador, que puede estar ubicado en la torre de la turbina eólica o estar ubicado de manera remota a la torre de la turbina eólica. La unidad central puede recoger los datos de sensor y ejecutar algoritmos en función de las necesidades de la aplicación específica. Los sensores de la turbina eólica pueden ser inalámbricos y los datos de los sensores pueden transmitirse a la unidad central a través de enlaces inalámbricos. Pueden implementarse técnicas para hacer que la transmisión inalámbrica de datos sea robusta y energéticamente eficiente. Los sensores de acelerómetro pueden usarse para determinar la posición de la palas de una turbina eólica, y esta información de

posición puede usarse para determinar los instantes de transmisión cuando los enlaces inalámbricos entre los sensores y la unidad central están dentro de límites aceptables y para determinar la planificación de las transmisiones de datos desde múltiples sensores ubicados en diferentes palas hasta la unidad central o un nodo de comunicación intermedio.

5

**[0016]** La Figura 1 ilustra una turbina eólica 100 a modo de ejemplo con un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de un nivel. La Figura 1(A) proporciona una vista delantera de la turbina eólica 100, la Figura 1(B) proporciona una vista lateral de la turbina eólica 100 y la Figura 1(C) proporciona una vista delantera simplificada que muestra los nodos de comunicación y un croquis de la estructura de la turbina eólica 100. La turbina eólica 100 incluye una torre 102, un multiplicador 104 y una pluralidad de palas de turbina eólica 106. La turbina eólica 100 a modo de ejemplo puede incluir dos o más palas de turbina 106. Con fines ilustrativos, en la Figura 1 se muestran tres palas de turbina 106a, 106b, 106c. La turbina eólica 100 incluye además un controlador 112, un nodo de buje 114 y una pluralidad de sensores de pala 116, con al menos un sensor de pala 116 en cada pala 106. El controlador 112 puede estar ubicado, o no, en la turbina eólica 100. En esta turbina eólica 100 a modo de ejemplo, el nodo de buje 114 está acoplado al multiplicador 104, y los sensores de pala 116a, 116b, 116c están acoplados a las palas de turbina eólica 106a, 106b, 106c, respectivamente.

**[0017]** En la realización de sistema de supervisión de estado con una jerarquía de un nivel, mostrada en la Figura 1, el controlador 112 tiene una comunicación bidireccional directa con el nodo de buje 114 y con cada uno de los sensores de pala 116. Pueden usarse varios protocolos de comunicación que usan enlaces de comunicación cableados e inalámbricos para interconectar los nodos de comunicación 112, 114, 116. Un protocolo de comunicación a modo de ejemplo usa una comunicación inalámbrica entre el controlador 112, el nodo de buje 114 y los sensores de pala 116. Un protocolo de comunicación alternativo usa una comunicación cableada entre el controlador 112 y el nodo de buje 114, y usa una comunicación inalámbrica entre los sensores de pala 116 y el controlador 112 y/o el nodo de buje 114. El controlador 112 puede ejecutar aplicaciones, detectar y procesar lecturas de los sensores de pala 116 y del nodo de buje 114 según requieran las aplicaciones, y después comunicar instrucciones al nodo de buje 114 y/o los sensores de pala 116 para llevar a cabo acciones apropiadas, tales como detener el rotor, aumentar / reducir la velocidad de rotación de las palas, cambiar los ángulos de las palas, etc.

**[0018]** La Figura 2 ilustra una turbina eólica alternativa 200 a modo de ejemplo con un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de dos niveles. La Figura 2(A) proporciona una vista delantera de la turbina eólica 200, la Figura 2(B) proporciona una vista lateral de la turbina eólica 200 y la Figura 2(C) proporciona una vista delantera simplificada que muestra los nodos de comunicación y un croquis de la estructura de la turbina eólica 200. La turbina eólica 200 incluye además una torre 102, un multiplicador 104 y una pluralidad de palas de turbina 106. Sin embargo, los nodos de comunicación de la turbina eólica 200 están conectados de diferente manera que los nodos de comunicación de la turbina eólica 100. La turbina eólica 200 incluye un controlador 212, un nodo de buje 214 y una pluralidad de sensores de pala 216, con al menos un sensor de pala 216 en cada pala 106. El controlador 212 puede estar ubicado, o no, en la turbina eólica 200. En esta realización 200 a modo de ejemplo, el nodo de buje 214 está acoplado al multiplicador 104, y los sensores de pala 216a, 216b, 216c están acoplados a las palas de turbina eólica 106a, 106b, 106c, respectivamente.

**[0019]** En el sistema de supervisión de estado con una jerarquía de dos niveles mostrado en la Figura 2, el controlador 212 tiene una comunicación bidireccional directa con el nodo de buje 214, y el nodo de buje 214 tiene una comunicación bidireccional directa con cada uno de los sensores de pala 216. Sin embargo, el controlador 212 no tiene una comunicación bidireccional directa con los sensores de pala 216. Pueden usarse varios protocolos de comunicación que usan enlaces de comunicación cableados e inalámbricos para interconectar los nodos de comunicación 212, 214, 216. Un protocolo de comunicación a modo de ejemplo usa una comunicación inalámbrica entre el controlador 212 y el nodo de buje 214, y usa una comunicación inalámbrica entre el nodo de buje 214 y los sensores de pala 216. Un protocolo de comunicación alternativo usa una comunicación cableada entre el controlador 212 y el nodo de buje 214, y usa una comunicación inalámbrica entre el nodo de buje 214 y los sensores de pala 216. El controlador 212 puede ejecutar aplicaciones y el nodo de buje 214 puede recibir lecturas de los sensores de pala 216; el controlador 212 puede recibir lecturas del nodo de buje 214 y de los sensores de pala 216 a través del nodo de buje 214 según requieran las aplicaciones; el controlador 212 puede comunicar instrucciones al nodo de buje 214 para llevar a cabo acciones apropiadas y el nodo de buje 214 puede reenviar instrucciones a los sensores de pala 216, según sea necesario.

**[0020]** La Figura 3 ilustra una turbina eólica alternativa 300 a modo de ejemplo con un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de dos niveles en el que se usa un único controlador para múltiples turbinas eólicas 300. La Figura 3 muestra un sistema a modo de ejemplo con tres turbinas eólicas 300 conectadas a un único

controlador 312, pero un número mayor o menor que tres turbinas eólicas 300 pueden estar conectadas al controlador 312. Cada turbina eólica 300 incluye una torre 102, un multiplicador 104 y una pluralidad de palas de turbina eólica 106. Sin embargo, los nodos de comunicación de la turbina eólica 300 están conectados de diferente manera, de tal modo que un único controlador 312 se usa para múltiples turbinas eólicas 300. El sistema de supervisión de estado mostrado en la Figura 3 incluye un único controlador 312 conectado a una pluralidad de turbinas eólicas, un nodo de buje 314 acoplado a cada una de las turbinas eólicas 300 de la pluralidad de turbinas eólicas, y al menos un sensor de pala 316 acoplado a cada una de las palas de turbina eólica 106 de la pluralidad de turbinas eólicas. El controlador 312 puede estar ubicado, o no, en una de la pluralidad de turbinas eólicas. En esta realización a modo de ejemplo, un nodo de buje 314 está acoplado al multiplicador 104 de cada una de las turbinas eólicas 300, y los sensores de pala 316a, 316b, 316c están acoplados a las palas de turbina eólica 106a, 106b, 106c, respectivamente, de cada una de las turbinas eólicas 300.

**[0021]** En la realización de sistema de supervisión de estado con una jerarquía de dos niveles, mostrada en la Figura 3, el controlador 312 tiene una comunicación bidireccional directa con el nodo de buje 314 de cada turbina eólica 300 de la pluralidad de turbinas eólicas, y para cada turbina eólica 300 el nodo de buje 314 tiene una comunicación bidireccional directa con cada uno de los sensores de pala 316 de esa turbina eólica 300. Sin embargo, el controlador 312 no tiene una comunicación bidireccional directa con los sensores de pala 316. Pueden usarse varios protocolos de comunicación que usan enlaces de comunicación cableados e inalámbricos para interconectar los nodos de comunicación 312, 314, 316. Un protocolo de comunicación a modo de ejemplo usa una comunicación inalámbrica entre el controlador 312 y cada uno de los nodos de buje 314 interconectados, y para cada una de las turbinas eólicas 300 usa una comunicación inalámbrica entre el nodo de buje 314 y los sensores de pala 316 de esa turbina eólica 300. Un protocolo de comunicación alternativo usa una comunicación cableada entre el controlador 312 y cada uno de los nodos de buje 314 interconectados, y para cada una de las turbinas eólicas 300 usa una comunicación inalámbrica entre el nodo de buje 314 y los sensores de pala 316 de esa turbina eólica 300. El controlador 312 puede ejecutar aplicaciones y los nodos de buje 314 pueden recibir lecturas de los sensores de pala 316; el controlador 312 puede recibir lecturas de los nodos de buje 314 y de los sensores de pala 316 a través de los nodos de buje 314 según requieran las aplicaciones; el controlador 312 puede comunicar instrucciones a los nodos de buje 314 apropiados para llevar a cabo acciones apropiadas y los nodos de buje 314 pueden reenviar instrucciones a los sensores de pala 316, según sea necesario.

**[0022]** La Figura 4 ilustra una turbina eólica alternativa 400 a modo de ejemplo con un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de un nivel en el que se usa un único controlador para múltiples turbinas eólicas 400. La Figura 4 muestra un sistema a modo de ejemplo con tres turbinas eólicas 400 conectadas a un único controlador 412, pero un número mayor o menor que tres turbinas eólicas 400 pueden estar conectadas al controlador 412. Cada turbina eólica 400 incluye una torre 102, un multiplicador 104 y una pluralidad de palas de turbina eólica 106. Sin embargo, los nodos de comunicación de la turbina eólica 400 están conectados de diferente manera, de tal modo que un único controlador 412 se usa para múltiples turbinas eólicas 400. El sistema de supervisión de estado mostrado en la Figura 4 incluye un único controlador 412 conectado a la pluralidad de nodos de buje 414 y de sensores de pala 416 de la pluralidad de turbinas eólicas 400. El controlador 412 puede estar ubicado, o no, en una de las turbinas eólicas 400. En esta realización 400 a modo de ejemplo, un nodo de buje 414 está acoplado al multiplicador 104 de cada una de las turbinas eólicas 400, y los sensores de pala 416a, 416b, 416c están acoplados a las palas de turbina eólica 106a, 106b, 106c, respectivamente, de cada una de las turbinas eólicas 400.

**[0023]** En la realización de sistema de supervisión de estado con una jerarquía de un nivel, mostrada en la Figura 4, el controlador 412 tiene una comunicación bidireccional directa con los nodos de buje 414 y los sensores de pala 416 de cada una de las turbinas eólicas 400 de la pluralidad de turbinas eólicas. Pueden usarse varios protocolos de comunicación que usan enlaces de comunicación cableados e inalámbricos para interconectar los nodos de comunicación 412, 414, 416. Un protocolo de comunicación a modo de ejemplo usa una comunicación inalámbrica entre el controlador 412 y cada uno de los nodos de buje 414 interconectados y los sensores de pala de turbina 416 de la pluralidad de turbinas eólicas. Un protocolo de comunicación alternativo usa una comunicación cableada entre el controlador 412 y los nodos de buje 414 interconectados de la pluralidad de turbinas eólicas, y usa una comunicación inalámbrica entre el controlador 412 y los sensores de pala 416 interconectados de la pluralidad de turbinas eólicas. El controlador 412 puede ejecutar aplicaciones, detectar y procesar lecturas de los sensores de pala 416 y de los nodos de buje 414 según requieran las aplicaciones, y el controlador 412 puede comunicar instrucciones a los nodos de buje 414 y/o a los sensores de pala 416 para llevar a cabo acciones apropiadas, tales como detener el rotor, aumentar / reducir la velocidad de rotación de las palas, cambiar los ángulos de las palas, etc.

**[0024]** Un sensor de acelerómetro multieje puede usarse en un sistema de supervisión de estado para lograr una comunicación inalámbrica robusta. Un sensor de acelerómetro multieje puede detectar las vibraciones y el

movimiento de las palas de una turbina eólica y de otros componentes de la turbina eólica. Un sensor de acelerómetro multieje puede usarse para detectar la orientación y la aceleración de una pala de turbina eólica, lo que puede usarse para identificar la posición actual y futura de la pala o el multiplicador. Esta información de posición puede usarse en varias aplicaciones; por ejemplo, la información de posición puede usarse para evitar el ensombrecimiento, para seleccionar posiciones de comunicación deseadas, para desarrollar algoritmos de planificación de comunicaciones y/o para desarrollar algoritmos de comunicación energéticamente eficientes.

**[0025]** El ensombrecimiento se produce cuando un obstáculo interrumpe la trayectoria de comunicación inalámbrica directa entre un par de nodos. La información de posición puede proporcionarse por un sensor de acelerómetro multieje para evitar los efectos de ensombrecimiento en la comunicación. En función de las posiciones de la torre 102, del multiplicador 104 y de las palas 106, y según la arquitectura de la red, son posibles varios escenarios en los que una trayectoria de comunicación directa entre un par de nodos puede interrumpirse y, por lo tanto, verse afectada por el ensombrecimiento. Algunos escenarios de ensombrecimiento a modo de ejemplo se ilustran en las Figuras 5, 6 y 7. Otros muchos escenarios de ensombrecimiento son posibles, los cuales son diferentes dependiendo de las ubicaciones de los nodos de comunicación. La información de posición puede usarse para determinar las posiciones de las palas y del multiplicador que se ven afectadas por el ensombrecimiento en las comunicaciones directas, tal como las posiciones a modo de ejemplo mostradas en las Figuras 5, 6 y 7, y estas posiciones pueden evitarse cuando se planifican las comunicaciones.

**[0026]** La Figura 5 ilustra un escenario de ensombrecimiento a modo de ejemplo para un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de dos niveles que usa la turbina eólica 200 a modo de ejemplo de la Figura 2. La Figura 5(A) ilustra una vista delantera del escenario de ensombrecimiento, la Figura 5(B) ilustra una vista lateral del escenario de ensombrecimiento y la Figura 5(C) ilustra una vista delantera simplificada del escenario de ensombrecimiento que muestra los nodos de comunicación y un croquis de la estructura de la turbina eólica 200. Como se ha descrito anteriormente para la turbina eólica 200 a modo de ejemplo, el controlador 212 tiene una comunicación bidireccional directa con el nodo de buje 214, y el nodo de buje 214 tiene una comunicación bidireccional directa con cada uno de los sensores de pala 216. En el escenario de ensombrecimiento ilustrado en la Figura 5, las palas de turbina eólica 106a, 106b, 106c rotan alrededor de un eje que pasa a través del multiplicador 104 y, durante una rotación, cada una de las palas de turbina 106 pasará por delante de la torre 102, de manera que lo torre 102 interrumpe la trayectoria de comunicación inalámbrica directa entre el nodo de buje 214 y el sensor 216 de la pala de turbina 106 que pasa por delante de la torre 102. La Figura 5 muestra específicamente el escenario en que la pala de turbina 106c pasa por delante de la torre 102, de manera que la torre 102 interrumpe la trayectoria de comunicación inalámbrica directa entre el nodo de buje 214 y el sensor 216c de la pala de turbina 106c. Un área de ensombrecimiento 500 se muestra en las Figuras 5(B) y 5(C). Debe observarse que esta área se produce para cada uno de los sensores de pala de turbina 216a, 216b, 216c cuando su pala de turbina respectiva 106a, 106b, 106c pasa por delante de la torre 102 durante una rotación.

**[0027]** La Figura 6 ilustra escenarios de ensombrecimiento a modo de ejemplo para un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de un nivel que usa la turbina eólica 100 a modo de ejemplo de la Figura 1. La Figura 6(A) ilustra una vista delantera de los escenarios de ensombrecimiento, la Figura 6(B) ilustra una vista lateral de los escenarios de ensombrecimiento y la Figura 6(C) ilustra una vista delantera simplificada de los escenarios de ensombrecimiento que muestra los nodos de comunicación y un croquis de la estructura de la turbina eólica 100. Como se ha descrito anteriormente para la turbina eólica 100 a modo de ejemplo, el controlador 112 tiene una comunicación bidireccional directa con el nodo de buje 114 y con cada uno de los sensores de pala 116. En el escenario de ensombrecimiento ilustrado en la Figura 6, el nodo de controlador 112 está detrás de la turbina eólica 100, es decir, en el lado opuesto de la torre 102 con respecto a las palas 106. En esta realización a modo de ejemplo, a medida que las palas de turbina eólica 106a, 106b, 106c rotan alrededor de un eje que pasa a través del multiplicador 104, cada una de las palas de turbina 106 pasará a través de dos áreas de ensombrecimiento. Una primera área de ensombrecimiento 600 se produce cuando una pala de turbina 106 pasa por delante de la torre 102, de manera que la torre 102 interrumpe la trayectoria de comunicación inalámbrica entre el controlador 112 y el sensor 116 de la pala de turbina 106 que pasa por delante de la torre 102. Una segunda área de ensombrecimiento 602 se produce en torno a la parte superior de la rotación, donde un sensor 116 de una pala de turbina 106 que está cerca de la parte superior de la rotación pasa por encima del multiplicador 104, de manera que el multiplicador 104 interrumpe la trayectoria de comunicación inalámbrica directa entre el controlador 112 y el sensor 116. La Figura 6(B) ilustra el escenario en que la pala de turbina 106c pasa por delante de la torre 102, de manera que la torre 102 interrumpe la trayectoria de comunicación inalámbrica directa entre el controlador 112 y el sensor 116c de la pala de turbina 106c (primera área de ensombrecimiento 600) y el escenario en que el sensor 116b de la pala de turbina 106b que está cerca de la parte superior de la rotación pasa por encima del multiplicador 104, de manera que el multiplicador 104 interrumpe la trayectoria de comunicación inalámbrica directa entre el controlador 112 y el sensor

116b (segunda área de ensombrecimiento 602). Las áreas de ensombrecimiento 600 y 602 se muestran en las Figuras 6(B) y 6(C). Debe observarse que estas áreas de ensombrecimiento se producen para cada uno de los sensores de pala de turbina 116a, 116b, 116c cuando su pala de turbina respectiva 106a, 106b, 106c pasa a través de las áreas de ensombrecimiento 600 y 602 durante una rotación.

5

**[0028]** La Figura 7 ilustra escenarios de ensombrecimiento a modo de ejemplo para un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de un nivel que usa la turbina eólica 100 a modo de ejemplo de la Figura 1. La Figura 7(A) ilustra una vista delantera de los escenarios de ensombrecimiento, la Figura 7(B) ilustra una vista lateral de los escenarios de ensombrecimiento y la Figura 7(C) ilustra una vista delantera simplificada de los escenarios de ensombrecimiento que muestra los nodos de comunicación y un croquis de la estructura de la turbina eólica 100. Como se ha descrito anteriormente para la turbina eólica 100 a modo de ejemplo, el controlador 112 tiene una comunicación bidireccional directa con el nodo de buje 114 y con cada uno de los sensores de pala 116. En los escenarios de ensombrecimiento ilustrados en la Figura 7, el nodo de controlador 112 está delante de la turbina eólica 100, es decir, en el mismo lado de la torre 102 que las palas 106. Una primera área de ensombrecimiento 700 que afecta a la trayectoria de comunicación entre nodo de buje 114 y el controlador 112 se produce cuando el multiplicador 104 de la turbina eólica oscila en la torre 102. Cuando el nodo de buje 114 acoplado al multiplicador 104 pasa por detrás de la torre 102 a través de la primera área de ensombrecimiento 700, la torre 102 interrumpe la trayectoria de comunicación inalámbrica directa entre el controlador 112 y el nodo de buje 114. Una segunda área de ensombrecimiento 702 se produce cuando las palas de turbina eólica 106a, 106b, 106c rotan alrededor de un eje que pasa a través del multiplicador 104 y cada una de las palas 106 pasa a través de la segunda área de ensombrecimiento 702 cerca de la parte superior de la rotación, donde la parte delantera del multiplicador 104 (la parte del multiplicador 104 en el lado opuesto de las palas 106 con respecto a la torre 102) interrumpe la trayectoria de comunicación inalámbrica directa entre la pala de turbina 106 y el controlador 112. Debe observarse que estas áreas de ensombrecimiento 700, 702 se verán afectadas por varios factores, por ejemplo si el controlador 112 está situado con respecto a la torre 102, si el nodo de buje 114 está acoplado al multiplicador 104, si los sensores 116 están situados en las palas 106 y por la distancia en que la parte delantera del multiplicador 104 se extiende por delante de las palas 106. La Figura 7 muestra específicamente el escenario en que el nodo de buje 114 está acoplado al multiplicador 104 por detrás de la torre 102 y el controlador 112 está situado por delante de la torre 102, de manera que la torre 102 interrumpe la trayectoria de comunicación inalámbrica directa entre el controlador 112 y el nodo de buje 114, creando la primera área de ensombrecimiento 700, y el escenario en que el sensor de pala 116a acoplado a la pala de turbina 106a está cerca de la parte superior de la rotación, de manera que la parte delantera del multiplicador 104 interrumpe la trayectoria de comunicación inalámbrica directa entre el controlador 112 y el sensor de pala 116a, creando la segunda área de ensombrecimiento 702. Las áreas de ensombrecimiento 700, 702 se indican en las Figuras 7(B) y 7(C). La primera área de ensombrecimiento 700 también puede aplicarse a un sistema de supervisión de estado con una jerarquía de dos niveles, ya que afecta a la trayectoria de comunicación entre el controlador 112, 212 y el nodo de buje 114, 214. El nodo de buje 114 puede incluir un acelerómetro multieje u otro sensor adecuado que pueda usarse para proporcionar información de posición al nodo de buje 114.

**[0029]** La información de posición, tal como la información que puede proporcionarse por un sensor de acelerómetro multieje, también puede usarse para determinar posiciones de comunicación deseadas. De nuevo, en función de la arquitectura de red, habrá algunas ubicaciones del controlador, del multiplicador y de las palas que serán más adecuadas para la comunicación. Varios factores puede seleccionar las posiciones de comunicación deseadas, incluyendo el ensombrecimiento. La calidad de la comunicación inalámbrica disminuye a medida que la distancia entre los nodos de comunicación aumenta. Esto puede usarse también para hacer que la comunicación sea más eficiente energéticamente; por ejemplo, pueden conseguirse mayores velocidades de transmisión de datos a distancias más cortas que pueden reducir el consumo de energía para la transmisión. El número de posiciones de comunicación deseadas, por ejemplo el tamaño del arco de pala para las comunicaciones deseadas, puede depender de las restricciones en el alcance de la comunicación. Las Figuras 8 y 9 indican posiciones favorables de los sensores de pala para la comunicación con un nodo de buje y un controlador.

**[0030]** La Figura 8 ilustra ubicaciones de pala favorables para la comunicación entre los sensores de pala 816 y un nodo de buje 814 acoplado a un multiplicador. Por claridad, la Figura 8 solo muestra un sensor de pala 816, pero debe entenderse que habrá una pluralidad de sensores de pala 816 acoplados a una pluralidad de palas que rotan alrededor del multiplicador de la turbina eólica. La distancia entre los nodos de sensor de pala 816 y el nodo de buje 814 es prácticamente idéntica cuando las palas rotan alrededor del multiplicador. Por tanto, las posiciones de comunicación deseadas para un sensor de pala 816 para la comunicación con el nodo de buje 814 no se ven afectadas por la posición de rotación, excepto para el área de ensombrecimiento 800.

**[0031]** La Figura 9 ilustra ubicaciones de pala favorables para la comunicación entre los sensores de pala 916 y un nodo de controlador 912. Por claridad, las Figuras 9(A) y 9(B) solo muestran un sensor de pala 916, pero debe entenderse que habrá una pluralidad de sensores de pala 916 acoplados a una pluralidad de palas que rotan alrededor del multiplicador de turbina eólica. En la Figura 9(A) solo se tiene en cuenta el ensombrecimiento para determinar posiciones de comunicación deseadas. En una primera área de ensombrecimiento 900, la torre interrumpe la trayectoria de comunicación directa entre el sensor de pala 916 y el controlador 912. En una segunda área de ensombrecimiento 902, el multiplicador interrumpe la trayectoria de comunicación directa entre el sensor de pala 916 y el controlador 912. Evidentemente, el grado de interrupción dependerá de las ubicaciones relativas de los sensores de pala, del controlador, de la torre y del multiplicador. En la Figura 9(B), tanto el ensombrecimiento como la distancia de comunicación se tienen en cuenta para determinar posiciones de comunicación deseadas. Puesto que el controlador 912 está situado por debajo de los sensores de pala 916, las posiciones de sensor de pala cerca de la parte inferior de la rotación en las áreas 906 y 908, donde los sensores de pala 916 están más cerca del controlador 912 pero no están obstruidos por el área de ensombrecimiento de torre 900, serán mejores para la comunicación inalámbrica, ya que la distancia de la trayectoria de comunicación es más corta. Una distancia más corta puede proporcionar una mayor fiabilidad y eficacia en la comunicación.

**[0032]** Una vez que se han identificado las ubicaciones de comunicación favorables, la siguiente etapa es desarrollar planificaciones de comunicación, de modo que cada uno de los nodos de sensor pueda comunicarse de manera fiable con el controlador y/o el nodo de buje sin interferir en las comunicaciones de otros nodos de sensor. De manera ideal, un nodo de sensor puede empezar a transmitir cuando su pala entra en la región de comunicación favorable y puede seguir comunicándose mientras que su pala permanece en la región de comunicación favorable. Esto es posible cuando la región de comunicación favorable es inferior a  $1/n$  de las ubicaciones totales, donde 'n' es el número total de palas. En ese caso, no habrá dos palas (o sensores) en la región de comunicación favorable al mismo tiempo, y la región de transmisión es igual a la región de comunicación favorable. La Figura 10 muestra tal escenario, en el que la región de comunicación favorable 1000 es inferior a un tercio de las ubicaciones de pala totales y hay tres palas, o menos. En este escenario, la región de transmisión puede ser toda la región de comunicación favorable 1000 para cada sensor de pala.

**[0033]** La Figura 11 muestra el escenario en que la región de comunicación favorable 1100 es mayor o igual que un tercio de las ubicaciones de pala totales y hay tres palas. En este escenario, antes de que una pala salga completamente de la región de comunicación favorable 1100, la pala siguiente entra en la región de comunicación favorable 1100. Por tanto, como se muestra en la Figura 11, los sensores de pala S1 y S3 pueden transmitir simultáneamente y, por tanto, interferir en sus comunicaciones respectivas. Un algoritmo de planificación de comunicación puede implementarse para garantizar que los sensores transmitan solamente durante un subconjunto de la región de comunicación favorable, tal como una región de transmisión 1110. La región de transmisión 1110 es una región reducida, de manera que es inferior a un tercio de las ubicaciones de sensor totales y solo hay un sensor en la región de transmisión 1110 al mismo tiempo.

**[0034]** La información de posición también puede usarse para desarrollar procedimientos de transmisión de eficiencia energética. La potencia de transmisión requerida para conseguir una fiabilidad deseada es directamente proporcional a la distancia de separación entre los dispositivos de transmisión y de recepción. Por lo tanto, de todas las ubicaciones de comunicación favorables disponibles, las ubicaciones que tienen la menor distancia de separación entre el transmisor y el receptor pueden seleccionarse para conseguir una mayor eficiencia energética. Algunos ejemplos son las regiones 906 y 908 de la Figura 9(B). Puede establecerse un umbral de separación que permita que tenga lugar la comunicación necesaria entre los nodos, pero que también reduzca la distancia de separación entre los nodos comunicantes para reducir los requisitos de potencia para la comunicación. Esto puede ahorrar energía al transmitir a menos potencia, proporcionando al mismo tiempo la fiabilidad deseada. El ahorro de energía puede ser importante, especialmente cuando los dispositivos inalámbricos se alimentan con batería. Por tanto, conocer la posición de las palas hace también que la eficiencia energética sea un factor a considerar en la planificación de las comunicaciones.

**[0035]** Además, la solicitud describe las siguientes realizaciones:

Realización 1. El procedimiento de supervisión de estado de turbina eólica según otra realización, que comprende además:

determinar una región de transmisión fuera de las áreas de ensombrecimiento, de manera que solo un sensor de pala de la pluralidad de sensores de pala esté en la región de transmisión al mismo tiempo;

configurar cada uno de la pluralidad de sensores de pala para que transmitan solamente cuando estén dentro de la región de transmisión; y

5 recibir lecturas de sensor de pala en el controlador desde el sensor de pala particular cuando el sensor de pala particular está dentro de la región de transmisión.

Realización 2. Un procedimiento de supervisión de estado de turbina eólica para turbinas eólicas con un sistema de supervisión, comprendiendo cada turbina eólica una torre, un multiplicador acoplado a la torre y una pluralidad de palas de turbina acopladas al multiplicador, y comprendiendo el sistema de supervisión un controlador, un nodo de buje acoplado a cada multiplicador, y una pluralidad de sensores de pala, comprendiendo el procedimiento de supervisión de estado:

10 determinar áreas de ensombrecimiento de pala en las que la trayectoria de comunicación entre uno de la pluralidad de sensores de pala y el nodo de buje se interrumpe cuando el uno de la pluralidad de sensores de pala está en las áreas de ensombrecimiento de pala; estando acoplado cada sensor de pala a una de la pluralidad de palas de turbina;

15 configurar cada uno de la pluralidad de sensores de pala para que solo transmitan cuando estén fuera de las áreas de ensombrecimiento de pala;

20 recibir lecturas de sensor de pala en el nodo de buje desde un sensor de pala particular de la pluralidad de sensores de pala cuando el sensor de pala particular está fuera de las áreas de ensombrecimiento de pala;

25 transmitir señales de nodo de buje desde el nodo de buje al controlador, incluyendo las señales de nodo de buje información de las lecturas de sensor de pala; y

determinar la posición del sensor de pala particular en función de las lecturas de sensor de pala.

Realización 3. El procedimiento de supervisión de estado de turbina eólica según otra realización, que comprende además:

determinar áreas de ensombrecimiento de buje en las que la trayectoria de comunicación entre el nodo de buje y el controlador se interrumpe cuando el nodo de buje está en las áreas de ensombrecimiento de buje;

35 determinar la posición del nodo de buje en función de las señales de nodo de buje;

configurar el nodo de buje para que solo transmita al controlador cuando esté fuera de las áreas de ensombrecimiento de buje; y

40 configurar el controlador para que solo transmita al nodo de buje cuando el nodo de buje esté fuera de las áreas de ensombrecimiento de buje.

Realización 4. El procedimiento de supervisión de estado de turbina eólica según otra realización, que comprende además:

45 determinar una región de transmisión fuera de las áreas de ensombrecimiento de pala, de manera que solo un sensor de pala de la pluralidad de sensores de pala esté en la región de transmisión al mismo tiempo;

50 configurar cada uno de la pluralidad de sensores de pala para que solo transmitan cuando estén dentro de la región de transmisión; y

recibir lecturas de sensor de pala en el nodo de buje desde el sensor de pala particular cuando el sensor de pala particular está dentro de la región de transmisión.

55 Realización 5. El procedimiento de supervisión de estado de turbina eólica según otra realización, en el que cada uno de la pluralidad de sensores de pala y el nodo de buje incluye un acelerómetro multieje.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de supervisión de estado de turbina eólica para una o más turbinas eólicas (100; 400), comprendiendo cada turbina eólica una torre (102), un multiplicador (104) acoplado a la torre (102) y una pluralidad de palas de turbina (106a-c) acopladas al multiplicador (104), comprendiendo el sistema de supervisión de estado:
- una pluralidad de sensores de pala (116a-c; 416a-c) que proporcionan lecturas de sensor de pala, estando acoplado cada uno de la pluralidad de sensores de pala (116a-c; 416a-c) a una de la pluralidad de palas (106a-c) de la una o más turbinas eólicas;
- un nodo de buje (114; 414) acoplado al multiplicador (104) de cada una de la una o más turbinas eólicas; y
- un controlador (112; 412) en comunicación con el uno o más nodos de buje (114; 414) y la pluralidad de sensores de pala (116a-c; 416a-c);
- en el que el controlador (112; 412) está configurado para determinar la posición de cada pala de turbina de la pluralidad de palas de turbina basándose en las lecturas de sensor de pala;
- en el que el controlador (112; 412) tiene una comunicación inalámbrica directa con el uno o más nodos de buje (114; 414) y con cada uno de la pluralidad de sensores de pala (116a-c; 416a-c); y
- el controlador (112; 412) está configurado para comunicarse solamente con un sensor de pala particular de la pluralidad de sensores de pala cuando el sensor de pala particular está fuera de las áreas de ensombrecimiento de pala, donde la comunicación inalámbrica directa entre el controlador (112; 412) y el sensor de pala particular se interrumpe cuando el sensor de pala particular está en las áreas de ensombrecimiento de pala.
2. Sistema de supervisión de estado de turbina eólica según la reivindicación 1, en el que cada uno de la pluralidad de sensores de pala es un acelerómetro multieje.
3. Sistema de supervisión de estado de turbina eólica según la reivindicación 1, en el que el controlador (112; 412) está configurado para comunicarse solamente con un nodo de buje particular del uno o más nodos de buje (114; 414) cuando el nodo de buje particular está fuera de las áreas de ensombrecimiento de nodo de buje, donde la comunicación inalámbrica directa entre el controlador (112; 412) y el nodo de buje particular se interrumpe cuando el nodo de buje particular está en las áreas de ensombrecimiento de nodo de buje.
4. Sistema de supervisión de estado de turbina eólica para una o más turbinas eólicas (200; 300), comprendiendo cada turbina eólica una torre (102), un multiplicador (104) acoplado a la torre (102) y una pluralidad de palas de turbina (106a-c) acopladas al multiplicador (104), comprendiendo el sistema de supervisión de estado:
- una pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c) que proporcionan lecturas de sensor de pala, estando acoplado cada uno de la pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c) a una de la pluralidad de palas (106a-c) de la una o más turbinas eólicas;
- un nodo de buje (214; 314) acoplado al multiplicador (104) de cada una de la una o más turbinas eólicas; y
- un controlador (212; 312) en comunicación con el uno o más nodos de buje (214; 314) y la pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c);
- en el que el controlador (212; 312) está configurado para determinar la posición de cada pala de turbina de la pluralidad de palas de turbina (106a-c) basándose en las lecturas de sensor de pala;
- en el que el controlador (212; 312) tiene una comunicación inalámbrica directa con el uno o más nodos de buje (214; 314), y para cada turbina eólica particular de la una o más turbinas eólicas, el nodo de buje (214; 314) de la turbina eólica particular tiene una comunicación inalámbrica directa con cada uno de la pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c) acoplados a las palas (106a-c) de la turbina eólica particular, recibiendo el controlador (212; 312) las lecturas de sensor de pala desde la pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c) a través del uno o más nodos de buje (214; 314); y
- en el que para cada turbina eólica particular de la pluralidad de turbinas eólicas, el nodo de buje (214; 314) de la

turbina eólica particular está configurado para comunicarse solamente con un sensor de pala particular de la pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c) de la turbina eólica particular cuando el sensor de pala particular no está en las áreas de ensombrecimiento de pala, donde la comunicación inalámbrica directa entre el nodo de buje (214; 314) de la turbina eólica particular y el sensor de pala particular se interrumpe cuando el sensor de pala particular está en las áreas de ensombrecimiento de pala.

5. Sistema de supervisión de estado de turbina eólica según la reivindicación 4, en el que el controlador (212; 312) está configurado para comunicarse solamente con un nodo de buje comunicante del uno o más nodos de buje (214; 314) cuando el nodo de buje comunicante está fuera de las áreas de ensombrecimiento de nodo de buje, donde la comunicación inalámbrica directa entre el controlador y el nodo de buje comunicante se interrumpe cuando el nodo de buje comunicante está en las áreas de ensombrecimiento de nodo de buje.

6. Sistema de supervisión de estado de turbina eólica según la reivindicación 1, en el que el controlador (212; 312) está configurado para comunicarse solamente con un sensor de pala particular de la pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c) cuando el sensor de pala particular está en una región de comunicación favorable, determinando el controlador (212; 312) si el sensor de pala particular está en la región de comunicación favorable basándose en las lecturas de sensor de pala, presentando la región de comunicación favorable una trayectoria de comunicación no interrumpida entre el controlador (212; 312) y el sensor de pala particular.

7. Sistema de supervisión de estado de turbina eólica según la reivindicación 6, en el que la región de comunicación favorable está limitada además de manera que la distancia de separación entre el controlador (212; 312) y el sensor de pala particular es inferior a un umbral de separación cuando el sensor de pala particular está en la región de comunicación favorable.

8. Sistema de supervisión de estado de turbina eólica según la reivindicación 7, en el que la región de comunicación favorable está limitada además de manera que solo un sensor de pala de la pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c) esté en la región de comunicación favorable al mismo tiempo.

9. Sistema de supervisión de estado de turbina eólica según la reivindicación 6, en el que la región de comunicación favorable está limitada además de manera que solo un sensor de pala de la pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c) esté en la región de comunicación favorable al mismo tiempo.

10. Procedimiento de supervisión de estado de turbina eólica para turbinas eólicas con un sistema de supervisión, comprendiendo cada turbina eólica una torre (102), un multiplicador (104) acoplado a la torre (102) y una pluralidad de palas de turbina (106a-c) acopladas al multiplicador (104), y comprendiendo el sistema de supervisión un controlador (112; 412), un nodo de buje (114; 414) acoplado a cada multiplicador (104), y una pluralidad de sensores de pala (116a-c; 416a-c), comprendiendo el procedimiento de supervisión de estado:

determinar áreas de ensombrecimiento en las que la trayectoria de comunicación entre uno de la pluralidad de sensores de pala (116a-c; 416a-c) y el controlador (112; 412) se interrumpe cuando el uno de la pluralidad de sensores de pala está en las áreas de ensombrecimiento; estando acoplado cada uno de la pluralidad de sensores de pala a una de la pluralidad de palas de turbina (106a-c);

configurar cada uno de la pluralidad de sensores de pala (116a-c; 416a-c) para que solo transmitan cuando estén fuera de las áreas de ensombrecimiento;

recibir lecturas de sensor de pala en el controlador (112; 412) desde un sensor de pala particular de la pluralidad de sensores de pala (116a-c; 416a-c) cuando el sensor de pala particular está fuera de las áreas de ensombrecimiento; y

determinar la posición del sensor de pala particular en función de las lecturas de sensor de pala.

11. Procedimiento de supervisión de estado de turbina eólica según la reivindicación 10, que comprende además:

determinar regiones de comunicación favorables fuera de las áreas de ensombrecimiento cuando la trayectoria de comunicación entre uno de la pluralidad de sensores de pala y el controlador (112; 412) es inferior a un umbral de separación;

configurar cada uno de la pluralidad de sensores de pala para que solo transmitan cuando estén dentro de las regiones de comunicación favorables; y

5 recibir lecturas de sensor de pala en el controlador (112; 412) desde el sensor de pala particular cuando el sensor de pala particular está dentro de las regiones de comunicación favorables.

12. Procedimiento de supervisión de estado de turbina eólica según la reivindicación 11, que comprende además:

10 determinar una región de transmisión dentro de las regiones de comunicación favorables, de manera que solo un sensor de pala de la pluralidad de sensores de pala (116a-c; 416a-c) esté en la región de transmisión al mismo tiempo;

15 configurar cada uno de la pluralidad de sensores de pala (116a-c; 416a-c) para que solo transmitan cuando estén dentro de la región de transmisión; y

recibir lecturas de sensor de pala en el controlador (112; 412) desde el sensor de pala particular cuando el sensor de pala particular está dentro de la región de transmisión.

20 13. Procedimiento de supervisión de estado de turbina eólica según la reivindicación 10, que comprende además:

determinar una región de transmisión fuera de las áreas de ensombrecimiento, de manera que solo un sensor de pala de la pluralidad de sensores de pala (116a-c; 416a-c) esté en la región de transmisión al mismo tiempo;

25 configurar cada uno de la pluralidad de sensores de pala (116a-c; 416a-c) para que solo transmitan cuando estén dentro de la región de transmisión; y

30 recibir lecturas de sensor de pala en el controlador (112; 412) desde el sensor de pala particular cuando el sensor de pala particular está dentro de la región de transmisión.

14. Procedimiento de supervisión de estado de turbina eólica para turbinas eólicas con un sistema de supervisión, comprendiendo cada turbina eólica una torre (102), un multiplicador (104) acoplado a la torre (102) y una pluralidad de palas de turbina (106a-c) acopladas al multiplicador (104), y comprendiendo el sistema de supervisión un controlador (212; 312), un nodo de buje (214; 314) acoplado a cada multiplicador (104), y una pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c), comprendiendo el procedimiento de supervisión de estado:

40 determinar áreas de ensombrecimiento de pala en las que la trayectoria de comunicación entre uno de la pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c) y el nodo de buje (214; 314) se interrumpe cuando el uno de la pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c) está en las áreas de ensombrecimiento de pala; estando acoplado cada sensor de pala a una de la pluralidad de palas de turbina (106a-c);

45 configurar cada uno de la pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c) para que solo transmitan cuando estén fuera de las áreas de ensombrecimiento de pala;

recibir lecturas de sensor de pala en el nodo de buje (214; 314) desde un sensor de pala particular de la pluralidad de sensores de pala (216a-c; 316a-c) cuando el sensor de pala particular está fuera de las áreas de ensombrecimiento de pala;

50 transmitir señales de nodo de buje desde el nodo de buje (214; 314) al controlador (212; 312), incluyendo las señales de nodo de buje información de las lecturas de sensor de pala; y

determinar la posición del sensor de pala particular en función de las lecturas de sensor de pala.

55 15. Procedimiento de supervisión de estado de turbina eólica según la reivindicación 14, que comprende además:

determinar áreas de ensombrecimiento de buje en las que la trayectoria de comunicación entre el nodo de buje (214; 314) y el controlador (212; 312) se interrumpe cuando el nodo de buje está en las áreas de ensombrecimiento de

buje;

determinar la posición del nodo de buje (214; 314) en función de las señales de nodo de buje;

5 configurar el nodo de buje (214; 314) para que solo transmita al controlador cuando esté fuera de las áreas de ensombrecimiento de buje; y

configurar el controlador (212; 312) para solo transmita al nodo de buje cuando el nodo de buje esté fuera de las áreas de ensombrecimiento de buje.

10

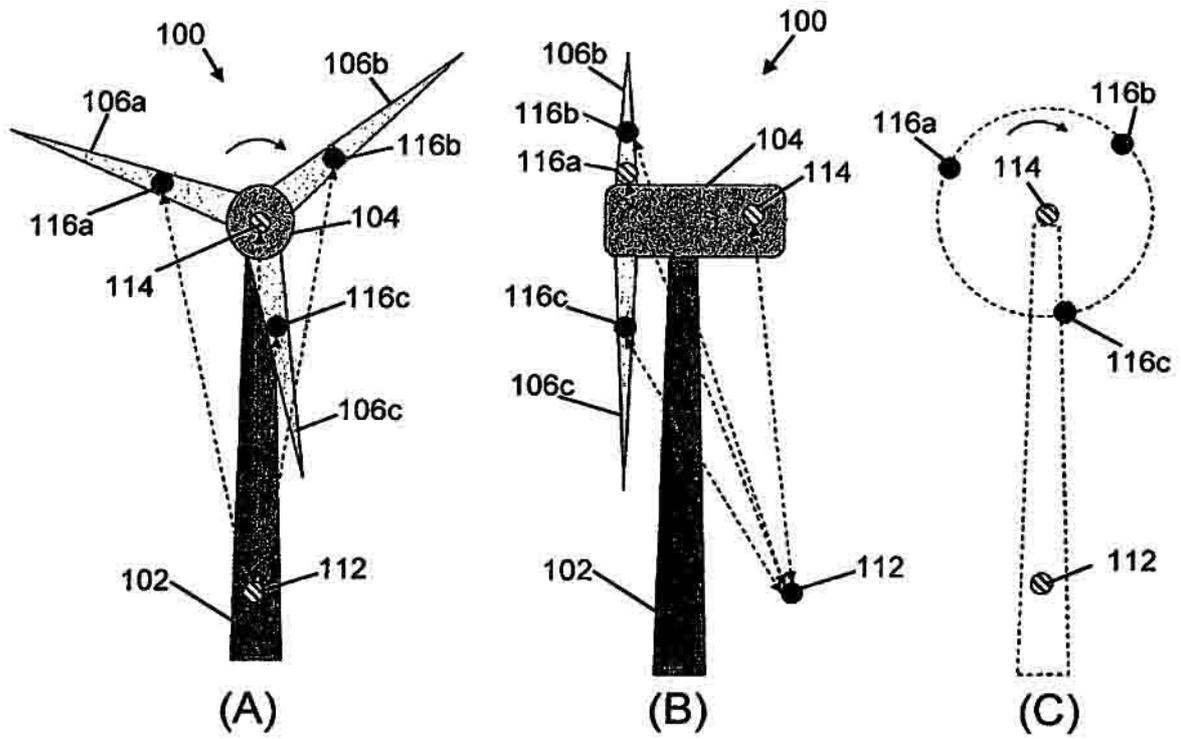


Figura 1

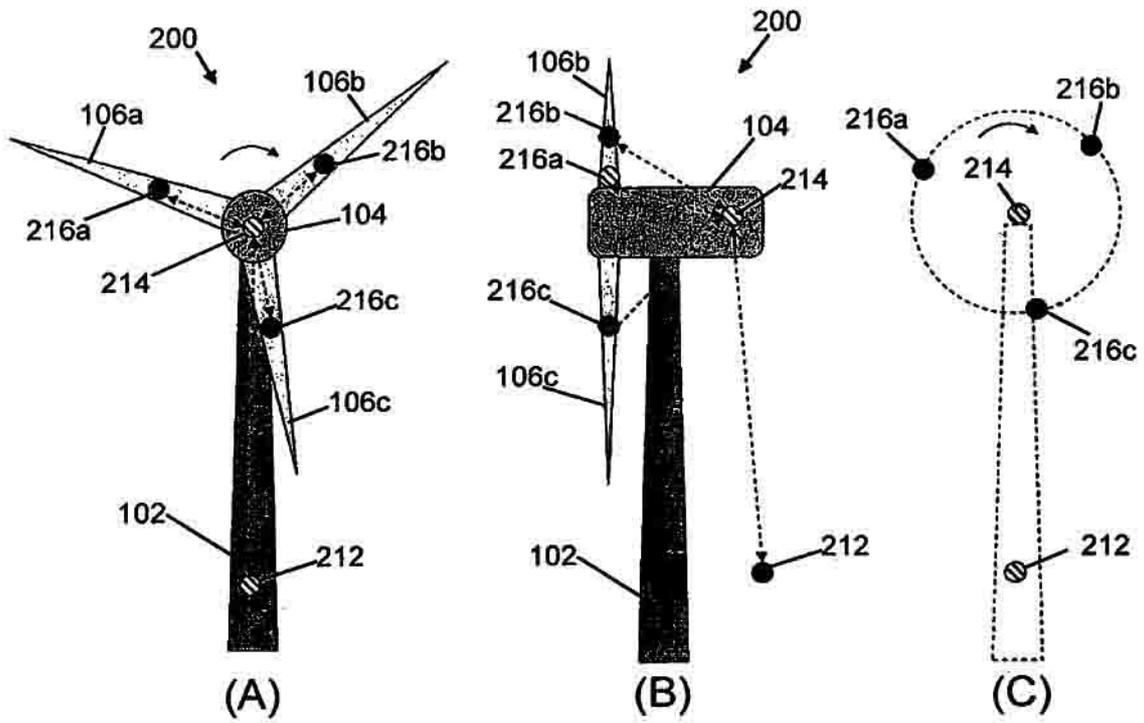


Figura 2

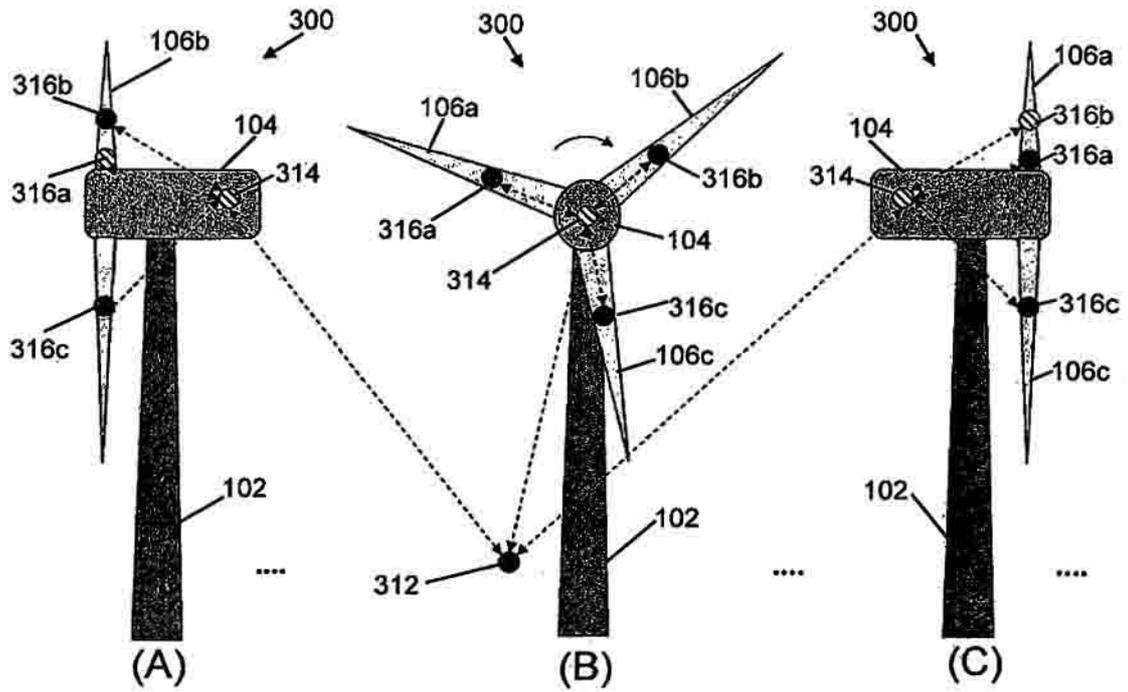


Figura 3

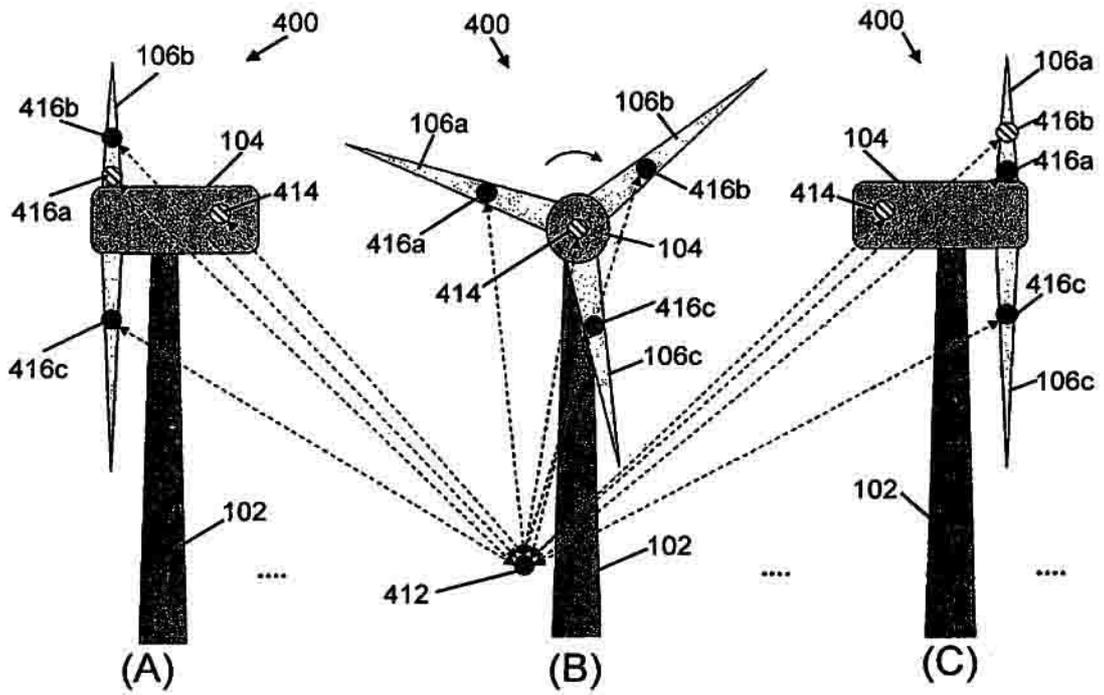


Figura 4

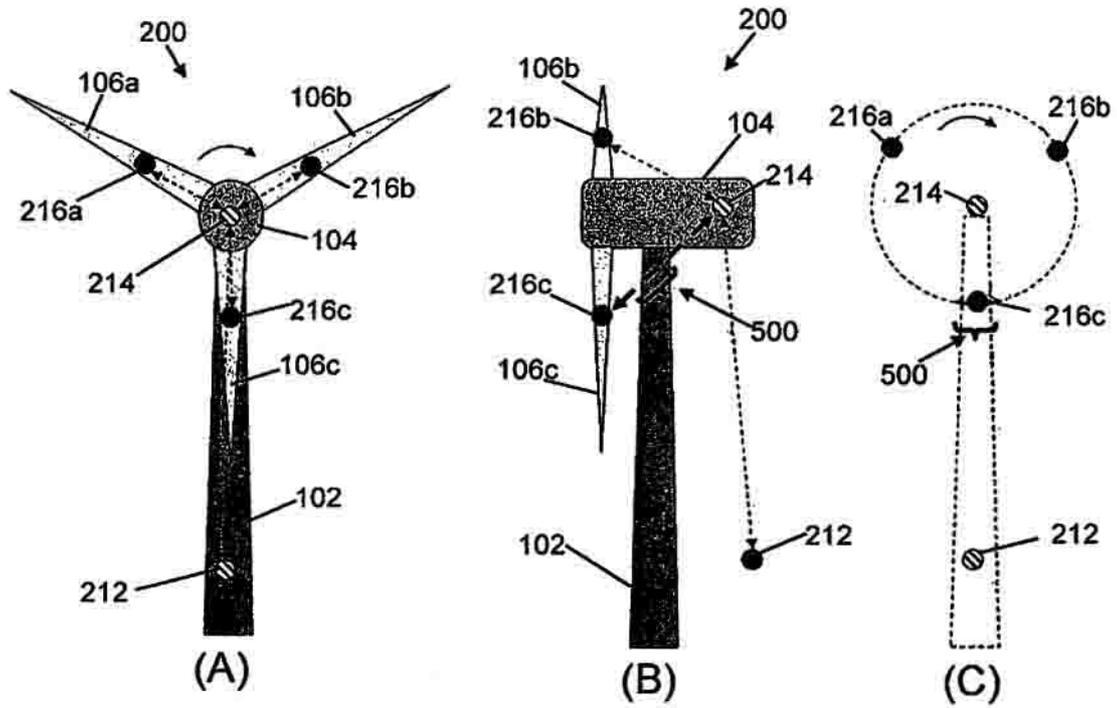


Figura 5



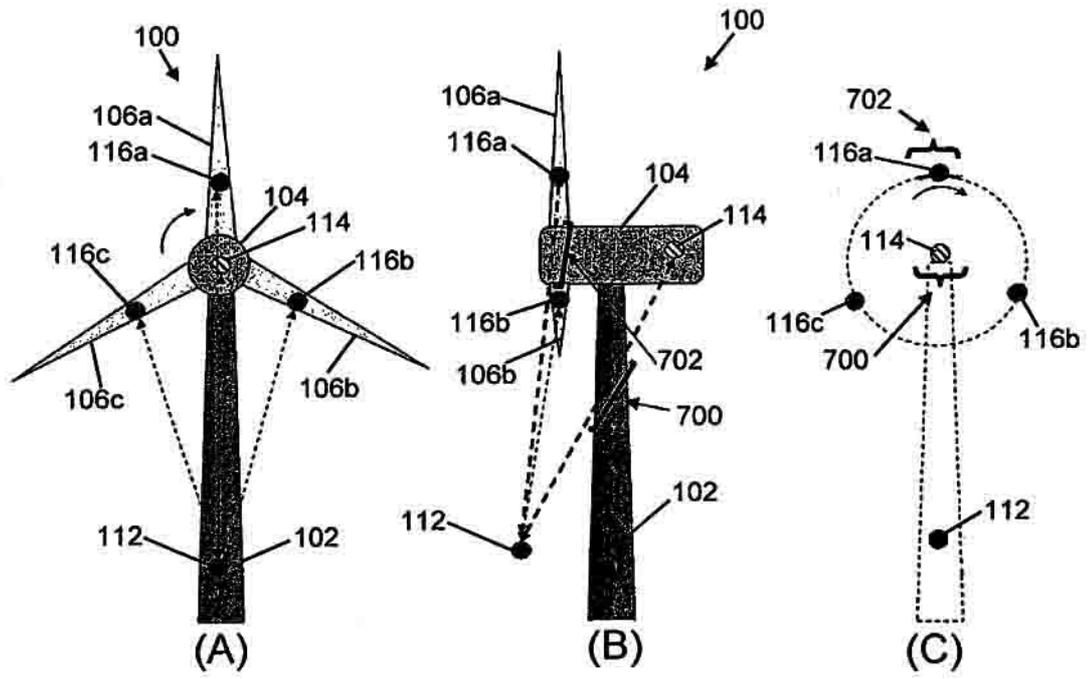


Figura 7

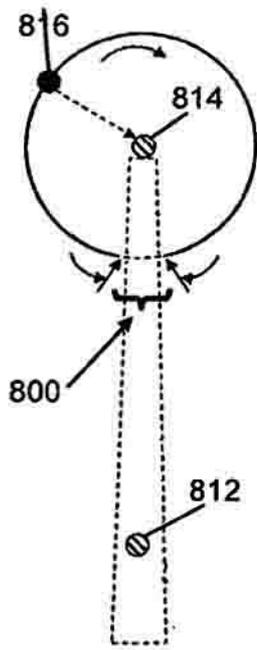


Figura 8

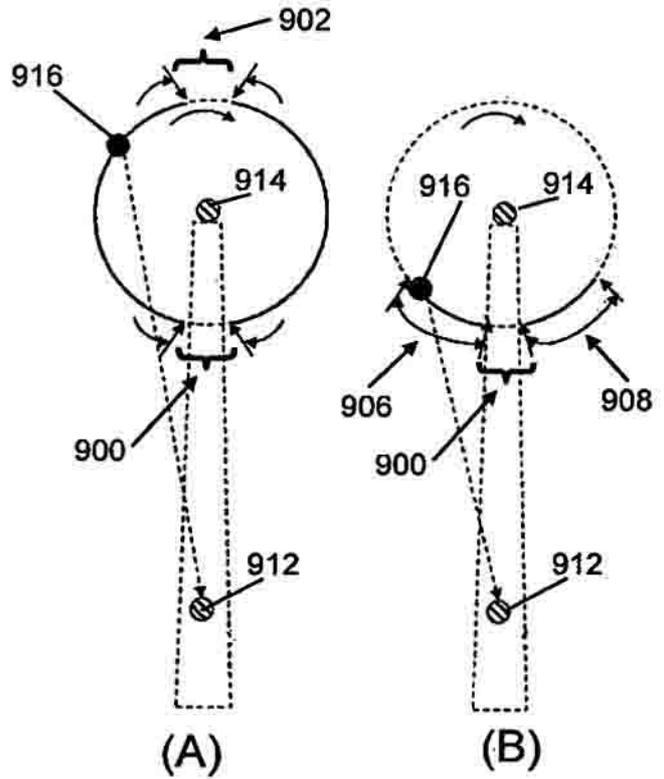


Figura 9

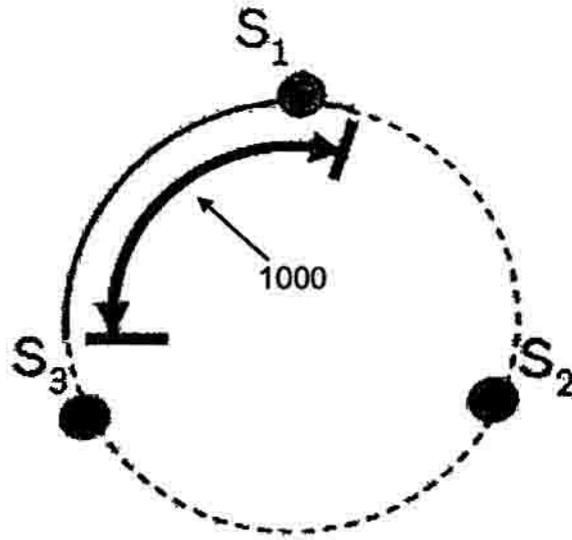


Figura 10

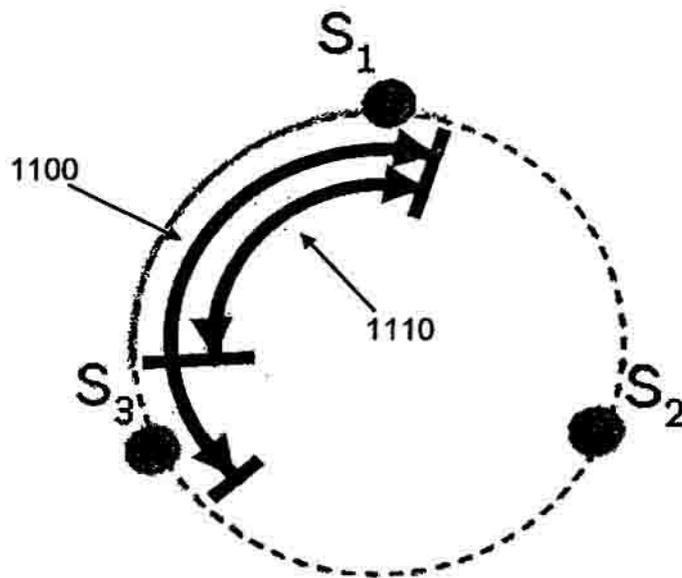


Figura 11