

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 989 385**

(51) Int. Cl.:

**F03D 7/04** (2006.01)

**F03D 9/48** (2006.01)

(12)

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.05.2020 PCT/DK2020/050156**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **17.12.2020 WO20249173**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.05.2020 E 20730570 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2024 EP 3983672**

---

(54) Título: **Un método para controlar un parque eólico en condiciones de viento turbulento**

(30) Prioridad:

**14.06.2019 DK PA201970374**

(73) Titular/es:

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

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

**26.11.2024**

(72) Inventor/es:

**FRANK, MARCO;  
FRANZ, MICHAEL y  
SCHELCH, GERNOT**

(74) Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 989 385 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

Un método para controlar un parque eólico en condiciones de viento turbulento

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método para controlar turbinas eólicas de un parque eólico que comprende una pluralidad de turbinas eólicas en condiciones de viento turbulento. El método de la invención garantiza que las turbinas eólicas más vulnerables del parque eólico estén protegidas.

10

**10 Antecedentes de la invención**

En un parque eólico, una pluralidad de turbinas eólicas están ubicadas dentro de un área geográfica especificada. En consecuencia, en cualquier dirección de viento dada, algunas de las turbinas eólicas estarán dispuestas delante de algunas de las otras turbinas eólicas, como se observa en la dirección del viento entrante. Las turbinas eólicas dispuestas en la parte frontal pueden denominarse 'turbinas eólicas aguas arriba', mientras que las turbinas eólicas dispuestas detrás de al menos otra turbina eólica pueden denominarse 'turbinas eólicas aguas abajo' con respecto a las turbinas eólicas dispuestas delante de las mismas.

20

Dado que las turbinas eólicas están dispuestas de esta manera, las variaciones en el patrón del viento no alcanzarán las turbinas eólicas simultáneamente. Normalmente, una variación en el patrón de viento alcanzará las turbinas eólicas aguas arriba antes de que llegue a las turbinas eólicas aguas abajo. Por lo tanto, si se detectan variaciones en el patrón de viento en una o más turbinas eólicas aguas arriba, es posible tomar medidas en las turbinas eólicas aguas abajo antes de que las variaciones en el patrón de viento alcancen las turbinas eólicas aguas abajo.

25

Por lo tanto, los documentos US 2004/0258521 A1 y US 2014/0117668 A1 divulgan un sistema de alerta temprana para instalaciones de energía eólica, en el que se transmite información entre instalaciones de energía eólica individuales con respecto a las condiciones ambientales. Las condiciones del viento se miden en una instalación de energía eólica individual por medio de anemómetros u otros sensores, y los resultados de medición también se usan para otras instalaciones de energía eólica que en la dirección del viento están dispuestas detrás de la primera instalación de energía eólica. Si es necesario, por ejemplo, cuando se produce una ráfaga o turbonada, las otras instalaciones de energía eólica pueden implementar un cambio en el ángulo de ajuste de sus palas en un momento que todavía está a tiempo antes de que la ráfaga o turbonada golpee las otras instalaciones de energía eólica, y, a continuación, cuando la ráfaga o turbonada golpea las otras instalaciones de energía eólica, la carga sobre ellas no es tan grande como para que pueda dar lugar a daños.

35

En algunos sitios de parques eólicos, las propiedades del sitio son de tal naturaleza que se introduce turbulencia. Esto podría deberse, por ejemplo, al terreno del sitio, por ejemplo, en forma de colinas y/o valles, y/o podría deberse a objetos colocados en el sitio, tales como edificios, vegetación, etc. En este caso, podría no ser apropiado aplicar mediciones de una turbina eólica aguas arriba para controlar una turbina eólica aguas abajo, es decir, el método descrito en el documento US 2004/0258521 A1 podría ser inapropiado.

40

El documento EP 3 263 889 A1 divulga un sistema y un método para evaluar el rendimiento a nivel de parque de un parque eólico. El método incluye operar el parque eólico en un modo operativo e identificar uno o más pares de turbinas eólicas que tienen interacción de estela y generar un conjunto de datos por pares. Se genera un modelo de estela basándose en el conjunto de datos por pares.

45

S. Cacciola *et al.*: "Wake center position tracking using downstream wind turbine hub loads", Journal of Physics: Conference Series, vol. 753, septiembre de 2016, página 032036, divulga un método para generar un modelo de estela para un parque eólico, teniendo en cuenta la estela creada por las turbinas eólicas del parque eólico.

50

El documento EP 2 940 296 A1 divulga un método y un sistema para optimizar la operación de un parque eólico. El método incluye recibir nuevos valores que corresponden a parámetros de estela para turbinas eólicas en el parque eólico e identificar nuevos conjuntos de turbinas eólicas que interactúan basándose en los mismos. Se desarrolla un modelo de estela predictiva a nivel de parque para los nuevos conjuntos de turbinas eólicas que interactúan.

**Descripción de la invención**

55

Un objeto de las realizaciones de la invención es proporcionar un método para controlar turbinas eólicas de un parque eólico que incluye una o más estructuras de generación de turbulencia, en el que se garantiza la protección de las turbinas eólicas más vulnerables.

La invención proporciona un método para controlar turbinas eólicas de un parque eólico que comprende una pluralidad de turbinas eólicas de acuerdo con la reivindicación 1.

60

Por lo tanto, la invención proporciona un método para controlar turbinas eólicas de un parque eólico. En el presente

contexto, la expresión 'parque eólico' debe interpretarse en el sentido de una pluralidad de turbinas eólicas dispuestas dentro de un área geográfica limitada, y que al menos parcialmente comparten infraestructura, tales como subestaciones, conexión a la red eléctrica, etc.

- 5 El parque eólico está situado en un sitio que incluye una o más estructuras de generación de turbulencia. En el presente contexto, la expresión 'estructura de generación de turbulencia' debería interpretarse como una estructura que genera turbulencia a medida que el viento pasa a través de la estructura. Por lo tanto, las turbinas eólicas colocadas detrás, o aguas abajo en relación con, una estructura de generación de turbulencia, como se observa en la dirección del viento entrante, experimentarán turbulencia que es introducida por la estructura de generación de turbulencia, mientras que 10 las turbinas eólicas colocadas delante de, o aguas arriba en relación con, la estructura de generación de turbulencia no experimentará tal turbulencia. La estructura de generación de turbulencia podría ser una parte del terreno, tal como una colina o un valle, vegetación, tales como árboles o similares, estructuras hechas por el hombre, tales como edificios, etc., siempre que tenga un tamaño y una forma que dé como resultado la generación de turbulencias cuando 15 el viento pase a través de la estructura.
- 15 En el método de acuerdo con la invención, se detecta inicialmente una dirección del viento en el sitio del parque eólico. Esto puede hacerse por medio de sensores de dirección del viento montados en una o más turbinas eólicas del parque eólico, y/o en mástiles meteorológicos o similares dispuestos en el sitio del parque eólico o en las proximidades del mismo.
- 20 A continuación, se definen una o más turbinas eólicas aguas arriba y una o más turbinas eólicas aguas abajo, basándose en la dirección del viento detectada. En el presente contexto, la expresión 'turbina eólica aguas arriba' debe interpretarse como una turbina eólica que está dispuesta delante de al menos otra turbina eólica, como se observa en la dirección del viento entrante. De forma similar, en el presente contexto, la expresión 'turbina eólica aguas abajo' 25 debe interpretarse como una turbina eólica que está dispuesta detrás de al menos otra turbina eólica, como se observa en la dirección del viento entrante. Por lo tanto, si una turbina eólica dada se indica como una turbina eólica aguas arriba o una turbina eólica aguas abajo con respecto a una o más otras turbinas eólicas depende de la dirección del viento. Debería observarse además que, una turbina eólica dada puede ser una turbina eólica aguas arriba con respecto a una o más turbinas eólicas y simultáneamente ser una turbina eólica aguas abajo con respecto a una o 30 más otras turbinas eólicas.
- 30 A continuación, se determina que se están produciendo condiciones de viento turbulento. Esto se hace basándose en las mediciones realizadas por las turbinas eólicas del parque eólico, es decir, basándose en mediciones realmente realizadas en un número de posiciones dentro del sitio del parque eólico, y basándose en condiciones detectadas por las propias turbinas eólicas. Las mediciones podrían realizarse, por ejemplo, usando sensores adecuados que se usan para medir parámetros relevantes usados para controlar las turbinas eólicas durante la operación normal. Esto se describirá con más detalle más adelante.
- 35 Detectar que se están produciendo condiciones de viento turbulento en el sitio del parque eólico es una indicación de 40 que podrían requerirse medidas para proteger una o más de las turbinas eólicas del parque eólico contra cargas no deseadas provocadas por las condiciones de viento turbulento. Por lo tanto, en respuesta a la determinación de que se están produciendo condiciones de viento turbulento, al menos una de las turbinas eólicas aguas arriba se controla basándose en mediciones realizadas por al menos una turbina eólica que es una turbina eólica aguas abajo con respecto a la turbina eólica aguas arriba.
- 45 Normalmente, se espera que las variaciones en el viento entrante, por ejemplo, turbulencia o ráfagas, alcancen a una turbina eólica aguas arriba antes de alcanzar a una turbina eólica aguas abajo, es decir, una turbina eólica dispuesta detrás de la turbina eólica aguas arriba como se observa en la dirección del viento entrante. En este caso, puede ser ventajoso controlar la turbina eólica aguas abajo basándose en las mediciones realizadas por la turbina eólica aguas 50 arriba, porque de esta manera es posible tener en cuenta variaciones en el viento, que ya se ha detectado en la turbina eólica aguas arriba, al controlar la turbina eólica aguas abajo, antes de que estas variaciones alcancen la turbina eólica aguas abajo.
- 55 Sin embargo, cuando las estructuras de generación de turbulencia están dispuestas en el sitio del parque eólico, la turbulencia adicional que se genera por estas estructuras puede tener el efecto de que las variaciones en el viento entrante alcancen la turbina eólica aguas abajo antes de alcanzar a la turbina eólica aguas arriba. Por lo tanto, es ventajoso controlar la turbina eólica aguas arriba basándose en mediciones realizadas por la turbina eólica aguas abajo. Además, cabe esperar que las turbinas eólicas aguas arriba, en particular, las turbinas dispuestas en el límite del parque eólico, son más vulnerables a las variaciones en el viento entrante, por ejemplo, en forma de ráfaga, ya 60 que no están dispuestas en la estela de las otras turbinas eólicas. Por ejemplo, las turbinas eólicas aguas arriba pueden ser propensas a golpes de torre, es decir, colisiones entre palas de turbina eólica y torres de turbina eólica, en el caso de condiciones de viento a ráfagas. Por lo tanto, es deseable controlar estas turbinas eólicas de una manera que tenga en cuenta tanta información sobre el viento entrante como sea posible, para proteger estas turbinas eólicas en la mayor medida posible, sin tener que reducir su potencia innecesariamente.
- 65 La etapa de controlar al menos una de las turbinas eólicas aguas arriba puede comprender reducir la potencia de la

turbina eólica aguas arriba en el caso de que una velocidad del viento medida por medio de la al menos una turbina eólica aguas abajo supere un primer valor umbral predefinido. De acuerdo con esta realización, las mediciones realizadas en la al menos una turbina eólica aguas abajo incluyen mediciones de la velocidad del viento, que podrían realizarse, por ejemplo, por medio de anemómetros montados en las turbinas eólicas aguas abajo.

5 En el caso de que la velocidad del viento medida por la al menos una turbina eólica aguas abajo supere un primer valor umbral predefinido, esto es una indicación de que la turbina eólica aguas arriba puede estar sometida a altas cargas debido al viento entrante. En consecuencia, cuando tiene lugar esto, la turbina eólica aguas arriba puede reducir su potencia, es decir, puede operarse con una potencia de salida reducida. Esto disminuye las cargas en la turbina eólica aguas arriba y, de esta manera, la protege de impactos de carga excesivos, mientras se mantiene algo de producción de energía de la turbina eólica aguas arriba. El primer valor umbral podría estar, por ejemplo, dentro del intervalo de 15 m/s a 25 m/s, tal como dentro del intervalo de 17 m/s a 22 m/s, tal como aproximadamente 20 m/s.

10 15 Como una alternativa, la turbina eólica aguas arriba puede reducir su potencia si la velocidad del viento medida por al menos una turbina eólica aguas abajo supera la velocidad del viento medida por medio de la turbina eólica aguas arriba en una cierta diferencia de velocidad del viento, por ejemplo, una diferencia de velocidad del viento dentro del intervalo de 5 m/s a 15 m/s, tal como dentro del intervalo de 7 m/s a 12 m/s, tal como aproximadamente 10 m/s.

20 Como alternativa, o, adicionalmente, la etapa de controlar al menos una de las turbinas eólicas aguas arriba puede comprender detener la potencia de la turbina eólica aguas arriba en el caso de que una velocidad del viento medida por medio de la al menos una turbina eólica aguas abajo supere un segundo valor umbral predefinido.

25 30 El segundo valor umbral puede ser mayor que el primer valor umbral. En este caso, la turbina eólica aguas arriba reduce su potencia si la velocidad del viento medida por la turbina eólica aguas abajo supera el primer valor umbral, y se detiene si la velocidad del viento continúa aumentando a un nivel por encima del segundo valor umbral más alto. Detener la turbina eólica aguas arriba proporciona una protección adicional de la turbina eólica aguas arriba, pero esto tiene el coste de que la turbina eólica aguas arriba no produce energía. El segundo valor umbral podría estar, por ejemplo, dentro del intervalo de 23 m/s a 33 m/s, tal como dentro del intervalo de 25 m/s a 30 m/s, tal como aproximadamente 28 m/s.

35 Como una alternativa, la turbina eólica aguas arriba puede detenerse si la velocidad del viento medida por al menos una turbina eólica aguas abajo supera un cierto valor umbral que supera la velocidad del viento medida por medio de la turbina eólica aguas arriba en una cierta diferencia de velocidad del viento, por ejemplo, una diferencia de velocidad del viento dentro del intervalo de 10 m/s a 20 m/s, tal como dentro del intervalo de 12 m/s a 17 m/s, tal como aproximadamente 15 m/s.

40 Para todas las situaciones descritas anteriormente, puede ser un requisito que el valor umbral relevante se haya superado durante un período de tiempo predefinido antes de que la turbina eólica aguas arriba reduzca su potencia o se detenga, para evitar reducir su potencia o detener la turbina eólica aguas arriba si el valor umbral únicamente se supera muy brevemente.

45 La etapa de detectar que se están produciendo condiciones de viento turbulento puede realizarse basándose en mediciones de velocidad del viento realizadas por al menos dos de las turbinas eólicas del parque eólico. Si se producen condiciones de viento turbulento, se puede esperar que la velocidad del viento varíe a través del sitio del parque eólico. En consecuencia, midiendo la velocidad del viento por al menos dos de las turbinas eólicas del parque eólico y, de esta manera, al menos dos posiciones diferentes dentro del sitio del parque eólico, se puede deducir si se están produciendo o no condiciones de viento turbulento.

50 Por lo tanto, la etapa de detectar que se están produciendo condiciones de viento turbulento puede comprender las etapas de:

- medir la velocidad del viento por medio de una turbina eólica aguas arriba y por medio de una turbina eólica aguas abajo, y
- determinar que se están produciendo condiciones de viento turbulento si la velocidad del viento medida por medio de la turbina eólica aguas abajo supera la velocidad del viento medida por medio de la turbina eólica aguas arriba en una diferencia de velocidad del viento predefinida.

60 65 De acuerdo con esta realización, la velocidad del viento se mide por medio de una turbina eólica aguas arriba y por medio de una turbina eólica aguas abajo, es decir, por al menos dos turbinas eólicas donde una de las turbinas eólicas está dispuesta delante de la otra turbina eólica, como se observa en la dirección del viento entrante. Se comparan las dos mediciones de velocidad del viento, y, si se revela que la velocidad del viento medida por medio de la turbina eólica aguas abajo supera la velocidad del viento medida por medio de la turbina eólica aguas arriba en una diferencia de velocidad del viento predefinida, se determina que se están produciendo condiciones de viento turbulento.

Como se ha descrito anteriormente, cuando se producen condiciones de viento turbulento, se puede esperar que la

velocidad del viento varíe a través del sitio del parque eólico.

Además, la turbulencia puede conducir a que las velocidades del viento medidas en las posiciones aguas abajo sean más altas que la velocidad del viento medida en las posiciones aguas arriba. Por lo tanto, cuando la diferencia entre

5 las velocidades del viento medidas en dos posiciones del sitio del parque eólico supera un valor umbral predefinido, y la velocidad del viento medida en la posición aguas abajo es más alta que la velocidad del viento medida en la posición aguas arriba, esta es una buena indicación de que se están produciendo condiciones de viento turbulento.

10 Al menos una estructura de generación de turbulencia puede formar parte de un terreno del sitio del parque eólico. En este caso, la turbulencia se genera como resultado de las propiedades del terreno en el sitio. La estructura de generación de turbulencia podría ser, en este caso, una colina, un valle y/o cualquier otro tipo de terreno adecuado que dé lugar a turbulencias.

15 En el caso de que la estructura de generación de turbulencia sea una colina, al menos una de las turbinas eólicas aguas arriba puede colocarse en la parte superior de la colina, y al menos una de las turbinas eólicas aguas abajo puede colocarse cuesta abajo con respecto a la turbina eólica aguas arriba. En este caso, se genera turbulencia frente a la colina, como se observa en la dirección del viento entrante. Esto tiene la consecuencia de que una parte del viento entrante que no se atrapa frente a la colina alcanza la turbina eólica aguas abajo antes de que el viento turbulento que se atrapa frente a la colina alcance la turbina eólica aguas arriba. En consecuencia, si se producen variaciones en el viento entrante, tales como ráfagas, esto se detectará por la turbina eólica aguas abajo antes de que las variaciones en el viento alcancen la turbina eólica aguas arriba, colocada en la parte superior de la colina. Por lo tanto, controlando la turbina eólica aguas arriba basándose en las mediciones realizadas por la turbina eólica aguas abajo, la turbina eólica aguas arriba se puede controlar de una manera que tenga en cuenta las variaciones esperadas en el viento entrante y pueden tomarse las medidas apropiadas, tales como la reducción de potencia de la turbina eólica aguas arriba, antes de que las variaciones en el viento entrante alcancen la turbina eólica aguas arriba.

20 De forma similar, en el caso de que la estructura de generación de turbulencia sea un valle, al menos una de las turbinas eólicas aguas arriba puede colocarse inmediatamente detrás del valle, según se observa en la dirección del viento. En este caso, parte de la corriente de viento se atrapa en el valle frente a la turbina eólica aguas arriba, y parte 25 de la corriente de viento pasa por encima del valle, así como la turbina eólica aguas arriba, pero alcanza a la turbina eólica aguas abajo. Como se ha descrito anteriormente, las variaciones en el viento se detectan de esta manera por la turbina eólica aguas abajo antes de que alcancen a la turbina eólica aguas arriba y, por lo tanto, es apropiado controlar la turbina eólica aguas arriba basándose en las mediciones realizadas por la turbina eólica aguas abajo.

30 Como alternativa, o, adicionalmente, al menos una estructura de generación de turbulencia puede ser o formar parte de un objeto colocado en el sitio del parque eólico. Tales objetos podrían ser, por ejemplo, estructuras hechas por el hombre, tales como edificios, vallas, etc. Como alternativa, podrían formar parte de la vegetación en el sitio del parque eólico, por ejemplo, árboles, arbustos, etc.

35 La etapa de controlar al menos una de las turbinas eólicas aguas arriba basándose en la medición realizada por al menos una turbina eólica que es una turbina eólica aguas abajo en relación con la turbina eólica aguas arriba puede realizarse únicamente si la dirección del viento detectada está dentro de un intervalo de dirección predefinido.

40 En algunas regiones, se sabe que se producen condiciones de viento específicas en ciertas circunstancias. Tales 45 condiciones de viento específicas a menudo están relacionadas con una dirección de viento específica. Un ejemplo de tales condiciones de viento específicas es el Bora, que es un viento catabático de norte a noreste en el mar Adriático. Dado que tales condiciones de viento específicas pueden dar lugar a variaciones no deseadas en el patrón de viento, que pueden requerir la protección de las turbinas eólicas aguas arriba de la manera descrita anteriormente, puede ser deseable iniciar las medidas de protección proporcionadas por el método de la invención cuando se detecta 50 que la dirección del viento está dentro de un intervalo de dirección del viento que se sabe que está asociado con las condiciones de viento específicas. En el caso del Bora, esto sería de norte a noreste. Sin embargo, cuando la dirección del viento está dentro de cualquier otro intervalo de dirección del viento, puede no ser necesaria la protección de las turbinas eólicas aguas arriba y, por lo tanto, puede no ser necesario realizar las etapas del método de acuerdo con la invención.

55 Además, en algunos sitios de parques eólicos, las posiciones de las turbinas eólicas pueden ser tales que las turbinas eólicas aguas arriba que necesitan protección únicamente existen en ciertas direcciones del viento. En este caso, también puede ser relevante realizar las etapas del método de acuerdo con la invención cuando la dirección del viento está dentro de un intervalo de dirección del viento correspondiente.

60 Como una alternativa, las etapas del método de acuerdo con la invención pueden realizarse independientemente de la dirección del viento.

65 La etapa de detectar una dirección del viento puede realizarse basándose en mediciones realizadas por las turbinas eólicas del parque eólico. De esta manera, se garantiza que la dirección del viento detectada sea de hecho la dirección del viento que prevalece en el sitio del parque eólico. Como alternativa, o, adicionalmente, la dirección del viento puede

detectarse por medio de un equipo colocado en el exterior, pero en las proximidades del parque eólico, basándose en datos de satélite y/o basándose en mediciones realizadas por equipos, tales como mástiles meteorológicos, colocado en el sitio del parque eólico.

5 El método puede comprender además las etapas de:

- detectar que ya no se producen condiciones de viento turbulento, y
- dejar de controlar la al menos una turbina eólica aguas arriba basándose en mediciones realizadas por la al menos una turbina eólica aguas abajo.

De acuerdo con esta realización, la turbina eólica aguas arriba únicamente se controla basándose en las mediciones realizadas por la al menos una turbina eólica aguas abajo siempre que prevalezcan las condiciones de viento turbulento y, por lo tanto, la turbina eólica aguas arriba necesita protección.

#### **15 Breve descripción de los dibujos**

La invención se describirá ahora con más detalle con referencia a los dibujos adjuntos en los que

20 La Figura 1 es una vista superior de un parque eólico que comprende turbinas eólicas que se controlan de acuerdo con un método de acuerdo con una primera realización de la invención,

La Figura 2 es una vista lateral del parque eólico de la Figura 1,

25 La Figura 3 ilustra un parque eólico que comprende turbinas eólicas que se controlan de acuerdo con un método de acuerdo con una segunda realización de la invención,

La Figura 4 ilustra un parque eólico que comprende turbinas eólicas que se controlan de acuerdo con un método de acuerdo con una tercera realización de la invención,

30 La Figura 5 ilustra un parque eólico que comprende turbinas eólicas que se controlan de acuerdo con un método de acuerdo con una cuarta realización de la invención, y

35 La Figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método para controlar turbinas eólicas de un parque eólico de acuerdo con una realización de la invención.

#### **Descripción detallada de los dibujos**

40 La Figura 1 es una vista superior de un parque eólico 1 que comprende una pluralidad de turbinas eólicas 2. El parque eólico 1 se coloca en un sitio donde el terreno define una estructura de generación de turbulencia en forma de una colina 3. La dirección actual del viento se ilustra mediante las flechas 4.

45 Tres de las turbinas eólicas 2a se colocan a lo largo de un límite del parque eólico 1 que se enfrenta al viento entrante 4. Por lo tanto, estas turbinas eólicas 2a dispuestas aguas arriba con respecto a, es decir, frente a, las otras turbinas eólicas 2b, 2c del parque eólico 1, como se observa en la dirección del viento entrante 4. Por lo tanto, estas turbinas eólicas 2a se denominarán en lo sucesivo como 'turbinas eólicas aguas arriba' 2a.

50 Cinco de las turbinas eólicas 2b están colocadas de tal manera que están directamente detrás de una de las turbinas eólicas aguas arriba 2a, como se observa en la dirección del viento entrante 4. Por lo tanto, cada una de estas turbinas eólicas 2b está dispuesta aguas abajo con respecto a una de las turbinas eólicas aguas arriba 2a, como se observa en la dirección del viento entrante 4. En consecuencia, estas turbinas eólicas 2b se denominarán en lo sucesivo como 'turbinas eólicas aguas abajo' 2b. Las flechas 5 indican cómo las turbinas eólicas aguas arriba 2a y las turbinas eólicas aguas abajo 2b están relacionadas entre sí.

55 Las turbinas eólicas restantes 2c del parque eólico 1 se colocan de tal manera que no están ni directamente delante de, ni directamente detrás de cualquiera de las otras turbinas eólicas 2 y, por lo tanto, no se usan cuando se realiza el método de acuerdo con la invención que se describirá más adelante.

60 Las turbinas eólicas aguas arriba 2a están todas situadas en las proximidades y detrás de la colina 3, como se observa en la dirección del viento entrante 4. En consecuencia, las turbinas eólicas aguas arriba 2a se ven todas afectadas por la turbulencia generada por la colina 3. En consecuencia, cuando se determina que la dirección del viento 4 es como se muestra en la Figura 1, las turbinas eólicas aguas arriba 2a pueden necesitar protección contra efectos adversos, por ejemplo, causados por variaciones en el patrón del viento.

65 Por lo tanto, cuando se ha detectado la dirección del viento 4 y se ha determinado cuál de las turbinas eólicas 2 debe indicarse como turbinas eólicas aguas arriba 2a y cuál debe indicarse como turbinas eólicas aguas abajo 2b, las

turbinas eólicas 2 del parque eólico 1 realizan mediciones relevantes. Estas mediciones podrían incluir, por ejemplo, la velocidad del viento, la dirección del viento, la temperatura, etc.

Basándose en las mediciones realizadas por las turbinas eólicas 2, se puede detectar que se están produciendo condiciones de viento turbulento. Por ejemplo, si una velocidad del viento medida por una o más turbinas eólicas aguas abajo 2b supera una velocidad del viento medida por medio de una turbina eólica aguas arriba correspondiente en una diferencia de velocidad del viento predefinida, esto puede ser una indicación de que se están produciendo condiciones de viento turbulento en el sitio del parque eólico 1 y que, por lo tanto, puede haber una necesidad de proteger las turbinas eólicas aguas arriba 2a.

Para proteger las turbinas eólicas aguas arriba 2a, cada una de las turbinas eólicas aguas arriba 2a se controla basándose en mediciones realizadas por al menos una de las turbinas eólicas aguas abajo 2b relacionadas con las mismas. Esto se describirá con mayor detalle a continuación con referencia a la Figura 2.

La Figura 2 es una vista lateral del parque eólico 1 de la Figura 1, que muestra una turbina eólica aguas arriba 2a, una turbina eólica aguas abajo 2b y una turbina eólica 2c que no está designada como una turbina eólica aguas arriba ni como una turbina eólica aguas abajo. Puede observarse que, la turbina eólica aguas arriba 2a está colocada cerca de la colina 3 e inmediatamente adyacente a un valle 6 colocado entre la colina 3 y una colina más pequeña 7 en la que está colocada la turbina eólica aguas arriba 2a. Puede observarse que, el terreno que incluye las colinas 3, 7 y el valle 6 genera turbulencia en la región inmediatamente en frente de la turbina eólica aguas arriba 2a, como se observa en la dirección del viento entrante 4.

La turbina eólica aguas abajo 2b está dispuesta más cuesta abajo que la turbina eólica aguas arriba 2a. Esto tiene la consecuencia de que la parte de la corriente de aire que no se vuelve turbulenta debido al terreno pasa por encima de la turbina eólica aguas arriba 2a, pero alcanza la turbina eólica aguas abajo 2b. El resultado es que cualquier variación en el patrón de viento de la corriente de viento entrante, por ejemplo, en forma de ráfagas, turbulencia o un rápido aumento en la velocidad del viento, alcanza a la turbina eólica aguas abajo 2b antes de alcanzar a la turbina eólica aguas arriba 2a, a pesar del hecho de que la turbina eólica aguas arriba 2a está dispuesta delante de la turbina eólica aguas abajo 2b, como se observa en la dirección del viento 4. Por lo tanto, controlando la turbina eólica aguas arriba 2a basándose en las mediciones realizadas por la turbina eólica aguas abajo 2b, es posible tener en cuenta tales variaciones en el patrón de viento mientras se controla la turbina eólica aguas arriba 2a, antes de que las variaciones alcancen la turbina eólica aguas arriba 2a. De este modo, la turbina eólica aguas arriba 2a está protegida.

La Figura 3 también ilustra un parque eólico 1 que comprende una pluralidad de turbinas eólicas 2. El terreno en el sitio del parque eólico 1 de la Figura 3 difiere del sitio del parque eólico 1 de las Figuras 1 y 2 en que la colina de generación de turbulencia 3 dispuesta cerca del límite del parque eólico 1 tiene una extensión menor que la colina 3 ilustrada en las Figuras 1 y 2.

Una turbina eólica aguas arriba 2a se coloca en una colina más pequeña 7 y detrás de la colina de generación de turbulencia más alta 3. De esta manera, la turbina eólica aguas arriba 2a se ve afectada por la turbulencia generada por la colina 3. Una turbina eólica aguas abajo 2b se coloca de tal manera que no está detrás de la colina 3, como se observa en la dirección del viento entrante 4. En consecuencia, el viento que alcanza a la turbina eólica aguas abajo 2b no se ve afectado por la colina 3. La turbina eólica aguas abajo 2b además no está colocada directamente detrás de la turbina eólica aguas arriba 2a como se observa en la dirección del viento 4. Sin embargo, sigue siendo relevante controlar la turbina eólica aguas arriba 2a basándose en las mediciones realizadas por la turbina eólica aguas abajo 2b, debido a que las variaciones en el patrón de viento del viento entrante 4 alcanzarán la turbina eólica aguas abajo 2b antes de llegar a la turbina eólica aguas arriba 2a, debido a que la parte no afectada de la corriente de viento alcanza la turbina eólica aguas abajo 2b, mientras que la parte de la corriente de viento que se ha visto afectada por el terreno alcanza la turbina eólica aguas arriba 2a. Esto es similar a la situación ilustrada en las Figuras 1 y 2.

La Figura 4 también ilustra un parque eólico 1 que comprende una pluralidad de turbinas eólicas 2. Se muestra una turbina eólica aguas arriba 2a, una turbina eólica aguas abajo 2b y diez turbinas eólicas 2c que no están designadas como turbinas eólicas aguas arriba ni como turbinas eólicas aguas abajo. En el sitio del parque eólico 1 de la Figura 4 no hay colinas ni valles. En su lugar, se coloca dentro del sitio un número de estructuras de generación de turbulencia en forma de una pluralidad de árboles 8.

La turbina eólica aguas arriba 2a se coloca inmediatamente detrás de los árboles 8, como se observa en la dirección del viento entrante 4, y la turbina eólica aguas arriba 2a se ve afectada, por lo tanto, por la turbulencia generada por los árboles 8.

La turbina eólica aguas abajo 2b se coloca directamente detrás de la turbina eólica aguas arriba 2a, como se observa en la dirección del viento 4. Sin embargo, la distancia entre la turbina eólica aguas arriba 2a y la turbina eólica aguas abajo 2b es tan larga que la turbina eólica aguas abajo 2b no se ve afectada por la turbulencia generada por los árboles 8. De manera similar a la situación descrita anteriormente con referencia a las Figuras 1 y 2, las variaciones en el patrón de viento del viento entrante 4 alcanzarán de esta manera la turbina eólica aguas abajo 2b antes de llegar a la turbina eólica aguas arriba 2a. En consecuencia, es relevante controlar la turbina eólica aguas arriba 2a basándose

en las mediciones realizadas por la turbina eólica aguas abajo 2b.

La Figura 5 también ilustra un parque eólico 1 que comprende una pluralidad de turbinas eólicas 2. Se muestran dos turbinas eólicas aguas arriba 2a, cuatro turbinas eólicas aguas abajo 2b y ocho turbinas eólicas 2c que no están designadas como turbinas eólicas aguas arriba ni como turbinas eólicas aguas abajo. En el sitio del parque eólico 1 de la Figura 5 no hay colinas ni valles, ni árboles. En su lugar, se coloca un número de estructuras de generación de turbulencias hechas por el hombre en forma de edificios 9 dentro del sitio.

Las turbinas eólicas aguas arriba 2a se colocan inmediatamente detrás de los edificios 9, como se observa en la dirección del viento entrante 4, y las turbinas eólicas aguas arriba 2a se ven afectadas, por lo tanto, por la turbulencia generada por los edificios 9.

De manera similar a la situación descrita anteriormente con referencia a la Figura 4, las turbinas eólicas aguas abajo 2b se colocan detrás de las turbinas eólicas aguas arriba 2a, a una distancia que sea suficiente para garantizar que las turbinas eólicas aguas abajo 2b no se vean afectadas por la turbulencia generada por los edificios 9. De esta manera, las variaciones en el patrón de viento del viento entrante 4 alcanzarán las turbinas eólicas aguas abajo 2b antes de alcanzar las turbinas eólicas aguas arriba 2a y, por lo tanto, es relevante controlar las turbinas eólicas aguas arriba 2a basándose en las mediciones realizadas por las turbinas eólicas aguas abajo 2b.

La Figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método para controlar turbinas eólicas de un parque eólico de acuerdo con una realización de la invención.

El proceso se inicia en la etapa 10. En la etapa 11 se detecta una dirección del viento que prevalece en el sitio del parque eólico. Esto podría hacerse, por ejemplo, basándose en mediciones realizadas por una o más de las turbinas eólicas del parque eólico y/o basándose en mediciones realizadas por equipos separados, por ejemplo, montados en un mástil metálico, colocados dentro del sitio del parque eólico o fuera, pero en las proximidades del sitio del parque eólico. Como alternativa, o, adicionalmente, la dirección del viento puede detectarse basándose en datos de satélite.

En la etapa 12, se identifican una o más turbinas eólicas aguas arriba y una o más turbinas eólicas aguas abajo, basándose en la dirección del viento detectada. Las turbinas eólicas aguas arriba son turbinas eólicas que se colocan delante de una o más de las otras turbinas eólicas del parque eólico, según se observa en la dirección del viento. De forma similar, las turbinas eólicas aguas abajo son turbinas eólicas que se colocan detrás de una o más de las otras turbinas eólicas del parque eólico, según se observa en la dirección del viento. Además, pueden definirse las relaciones entre las turbinas eólicas aguas arriba y las turbinas eólicas aguas abajo, es decir, se puede determinar cuáles de las turbinas eólicas aguas abajo están 'aguas abajo' con respecto a una turbina eólica aguas arriba dada, etc.

En la etapa 13, se investiga si se están produciendo o no condiciones de viento turbulento en el sitio del parque eólico. Esto se hace basándose en las mediciones realizadas por las turbinas eólicas del parque eólico, por ejemplo, mediciones de la velocidad del viento realizadas por las turbinas eólicas individuales del parque eólico. En consecuencia, la investigación con respecto a si se están produciendo o no condiciones de viento turbulento en el sitio del parque eólico se realiza basándose en mediciones realizadas en diversas posiciones dentro del sitio del parque eólico, es decir, se basa en valores medidos reales obtenidos en el sitio y, de esta manera, refleja con precisión las condiciones en el sitio.

Por ejemplo, la etapa de investigar si se están produciendo o no condiciones de viento turbulento en el sitio del parque eólico, por ejemplo, puede incluir medir la velocidad del viento por medio de al menos una turbina eólica aguas arriba y por medio de al menos una turbina eólica aguas abajo, y comparar estas velocidades de viento medidas. En el caso de que la velocidad del viento medida por medio de la turbina eólica aguas abajo supere la velocidad del viento medida por medio de la turbina eólica aguas arriba en una diferencia de velocidad del viento predefinida, esto es una indicación de que se está produciendo turbulencia en el sitio del parque eólico. Por otro lado, siempre que la velocidad del viento medida por medio de la turbina eólica aguas arriba supere la velocidad del viento medida por medio de la turbina eólica aguas abajo, o la diferencia de velocidad del viento entre las dos velocidades del viento medidas sea menor que la diferencia de velocidad del viento predefinida, esto es una indicación de que no se está produciendo turbulencia en el sitio del parque eólico. En consecuencia, las velocidades del viento medidas proporcionan una base apropiada para determinar si se están produciendo o no condiciones de viento turbulento en el sitio del parque eólico.

En el caso de que la etapa 13 revele que no se están produciendo condiciones de viento turbulento en el sitio del parque eólico, las turbinas eólicas del parque eólico se controlan de manera normal, es decir, cada turbina eólica se controla basándose en mediciones realizadas por la propia turbina eólica. Además, el proceso vuelve a la etapa 11 para la monitorización continua de la dirección del viento.

En el caso de que la etapa 13 revele que se están produciendo condiciones de viento turbulento en el sitio del parque eólico, el proceso se reenvía a la etapa 14. En la etapa 14, la turbina eólica aguas arriba se controla basándose en mediciones realizadas por al menos una turbina eólica que es una turbina eólica aguas abajo con respecto a la misma.

## ES 2 989 385 T3

Además, el proceso vuelve a la etapa 11 para la monitorización continua de la dirección del viento.

## REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar turbinas eólicas (2) de un parque eólico (1) que comprende una pluralidad de turbinas eólicas (2), estando el parque eólico (1) colocado en un sitio que incluye una o más estructuras de generación de turbulencia (3, 6, 7, 8, 9), donde la turbulencia generada por la una o más estructuras de generación de turbulencia (3, 6, 7, 8, 9) tiene el efecto de que las variaciones en un patrón de viento del viento entrante alcanzan una turbina eólica (2b) en una posición aguas abajo antes de alcanzar una turbina eólica (2a) en una posición aguas arriba, como se observa en una dirección (4) del viento entrante, comprendiendo el método las etapas de:
- 5      - detectar una dirección del viento (4) en el sitio del parque eólico (1),  
       - identificar una o más turbinas eólicas aguas arriba (2a) y una o más turbinas eólicas aguas abajo (2b), basándose en la dirección del viento detectada, donde cada una de las turbinas eólicas aguas arriba (2a) está dispuesta delante de una o más de las turbinas eólicas aguas abajo (2b), como se observa en la dirección del viento (4),  
 10     - detectar que se están produciendo las condiciones de viento turbulento, generadas por la una o más estructuras de generación de turbulencia (3, 6, 7, 8, 9), basándose en mediciones realizadas por las turbinas eólicas (2) del parque eólico (1), y  
 15     - en respuesta a la determinación de que se están produciendo condiciones de viento turbulento, controlar al menos una de las turbinas eólicas aguas arriba (2a) basándose en mediciones realizadas por al menos una turbina eólica que es una turbina eólica aguas abajo (2b) con respecto a la turbina eólica aguas arriba (2a).
- 20     2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la etapa de controlar al menos una de las turbinas eólicas aguas arriba (2a) comprende reducir la potencia de la turbina eólica aguas arriba (2a) en el caso de que una velocidad del viento medida por medio de la al menos una turbina eólica aguas abajo (2b) supere un primer valor umbral predefinido.
- 25     3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde la etapa de controlar al menos una de las turbinas eólicas aguas arriba (2a) comprende detener la potencia de la turbina eólica aguas arriba (2a) en el caso de que una velocidad del viento medida por medio de la al menos una turbina eólica aguas abajo (2b) supere un segundo valor umbral predefinido.
- 30     4. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa de detectar que se están produciendo condiciones de viento turbulento se realiza basándose en mediciones de velocidad del viento realizadas por al menos dos de las turbinas eólicas (2) del parque eólico (1).
- 35     5. Un método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde la etapa de detectar que se están produciendo condiciones de viento turbulento comprende las etapas de:
- 40        - medir la velocidad del viento por medio de una turbina eólica aguas arriba (2a) y por medio de una turbina eólica aguas abajo (2b), y  
       - determinar que se están produciendo condiciones de viento turbulento si la velocidad del viento medida por medio de la turbina eólica aguas abajo (2b) supera la velocidad del viento medida por medio de la turbina eólica aguas arriba (2a) en una diferencia de velocidad del viento predefinida.
- 45     6. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos una estructura de generación de turbulencia (3, 6, 7) forma parte de un terreno del sitio del parque eólico.
- 50     7. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos una estructura de generación de turbulencia (8, 9) es o forma parte de un objeto colocado en el sitio del parque eólico.
- 55     8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa de controlar al menos una de las turbinas eólicas aguas arriba (2a) basándose en mediciones realizadas por al menos una turbina eólica que es una turbina eólica aguas abajo (2b) en relación con la turbina eólica aguas arriba (2a) se realiza únicamente si la dirección del viento detectada (4) está dentro de un intervalo de dirección de viento predefinido.
- 60     9. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa de detectar una dirección del viento (4) se realiza basándose en mediciones realizadas por las turbinas eólicas (2) del parque eólico (1).
- 65     10. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, las etapas de:  
           - detectar que ya no se producen condiciones de viento turbulento, y

## ES 2 989 385 T3

- dejar de controlar la al menos una turbina eólica aguas arriba (2a) basándose en mediciones realizadas por la al menos una turbina eólica aguas abajo (2b).

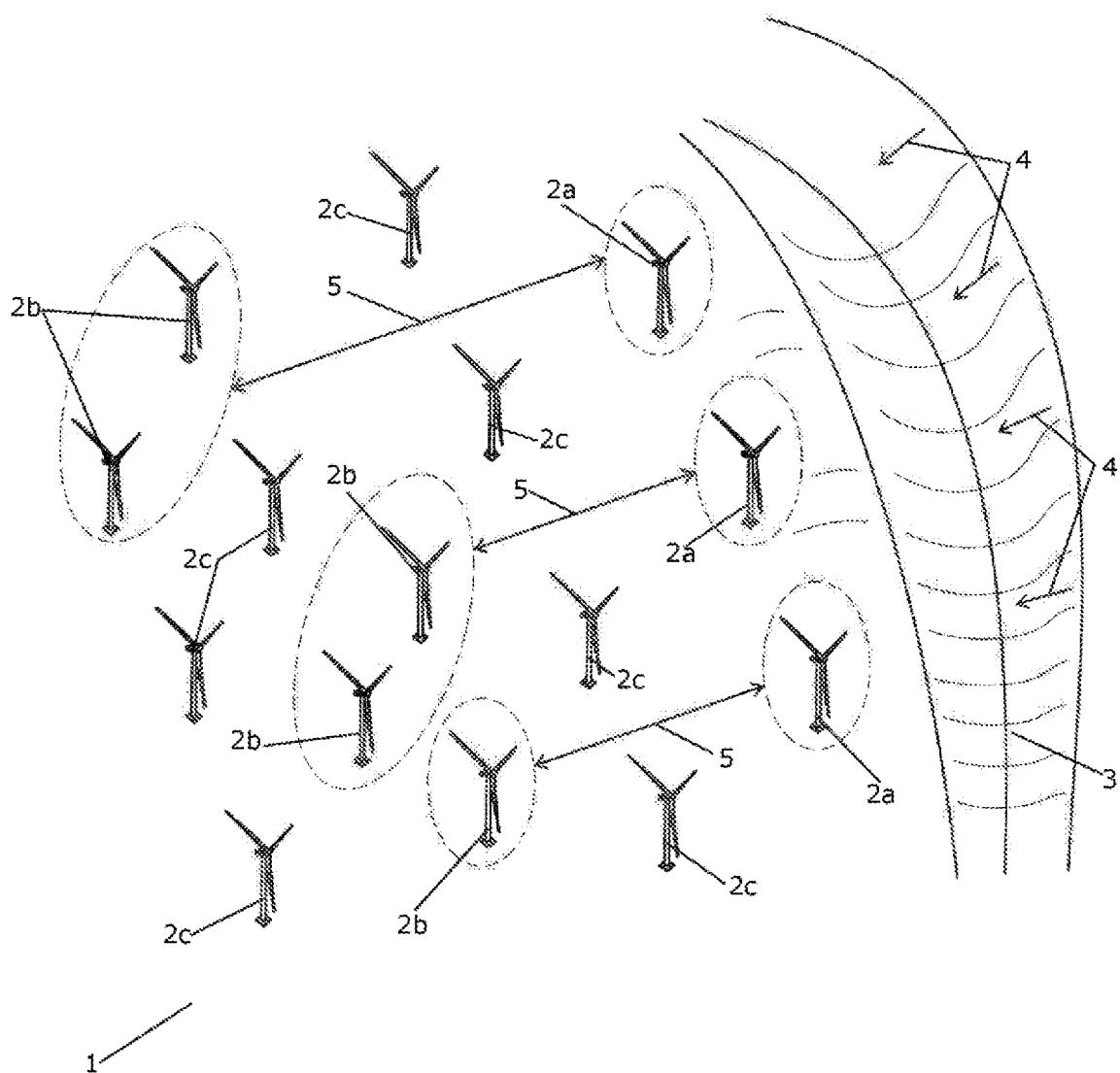


Fig. 1

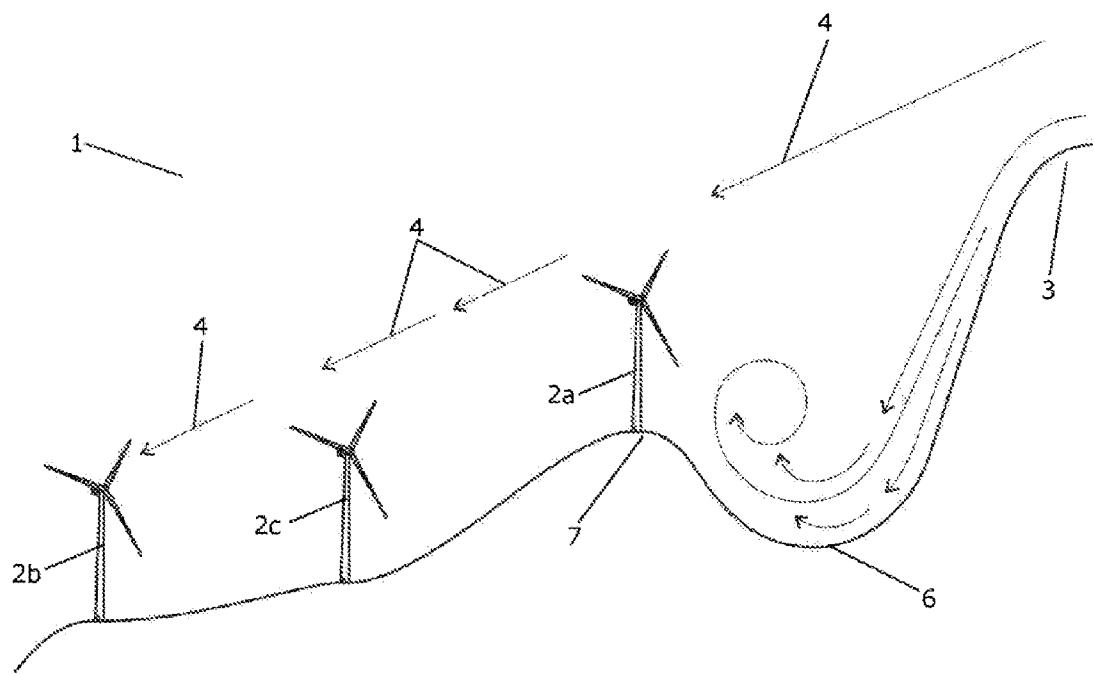


Fig. 2

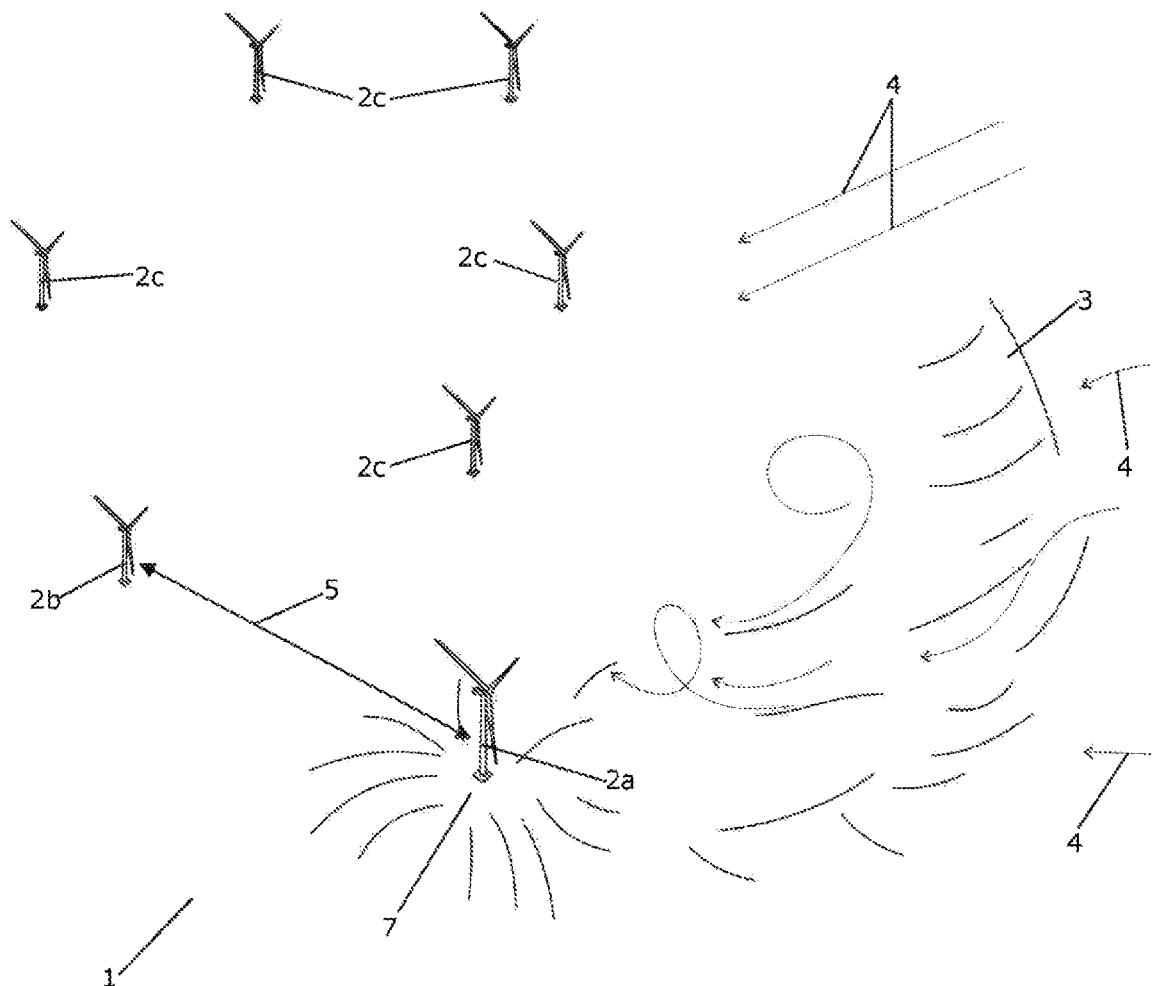


Fig. 3

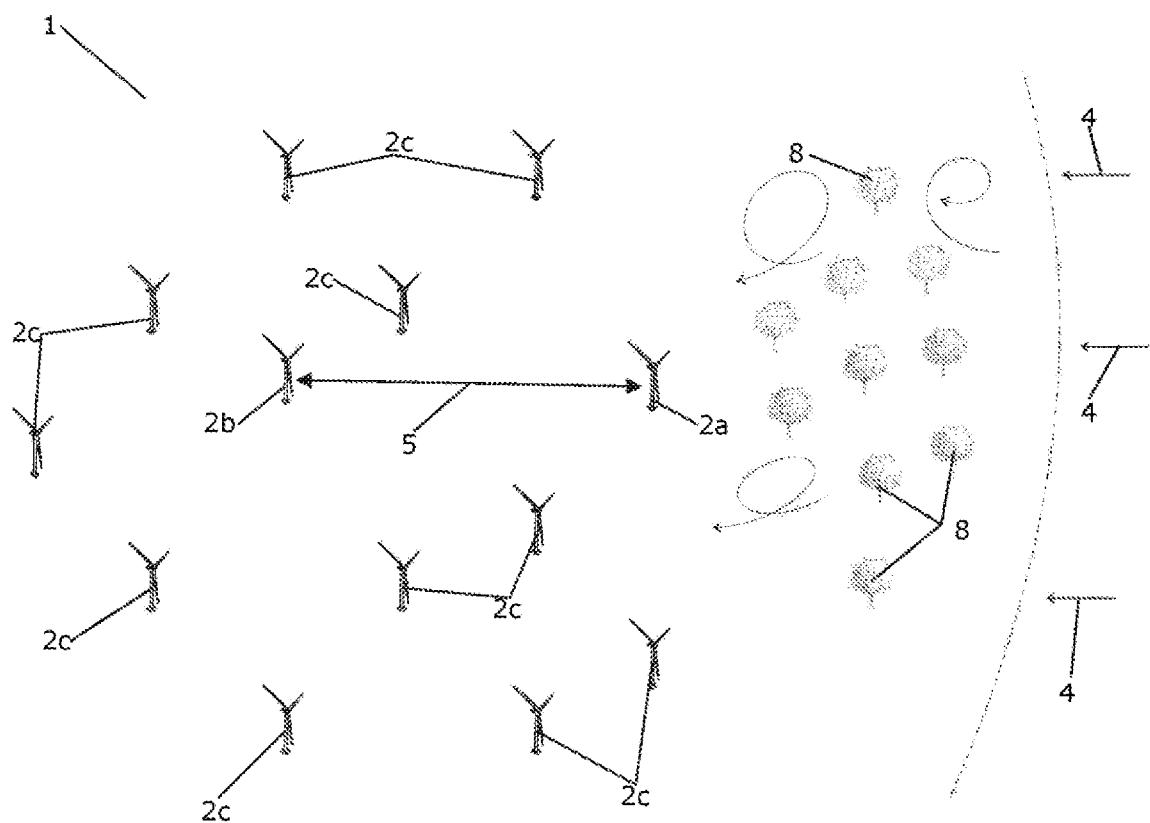


Fig. 4

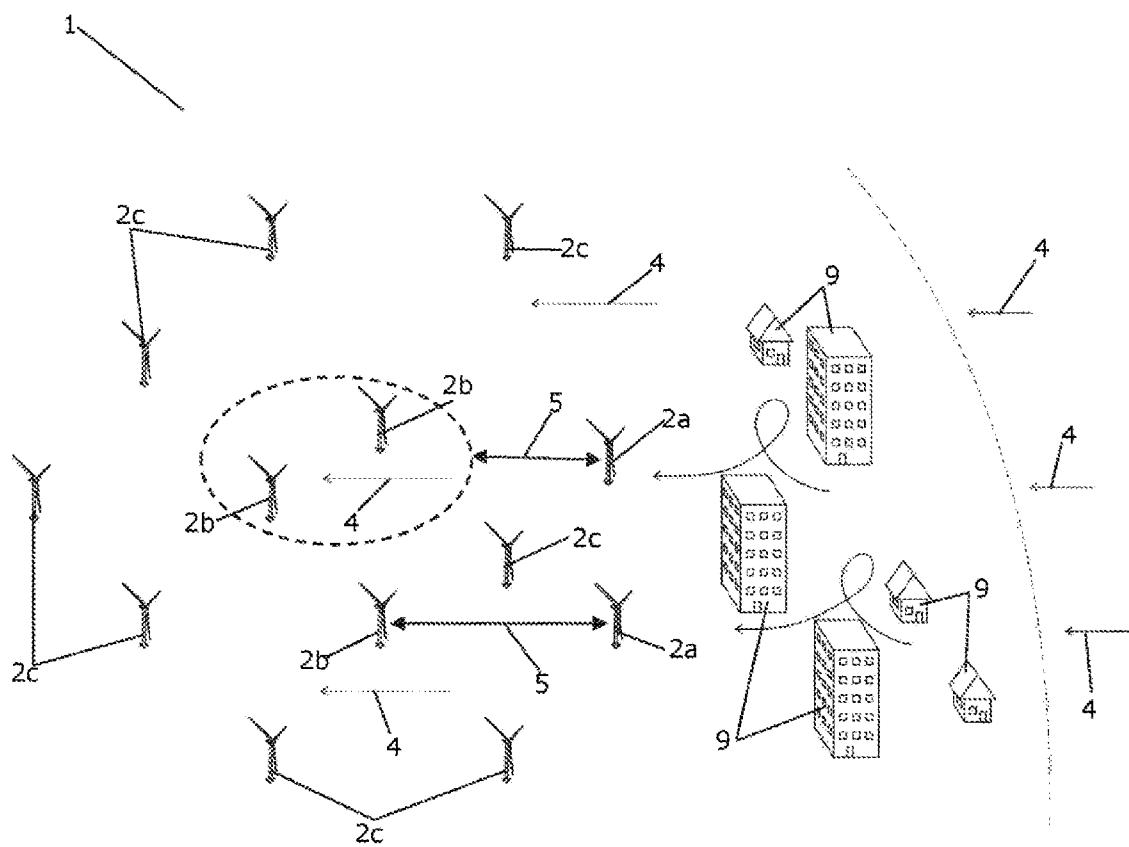


Fig. 5

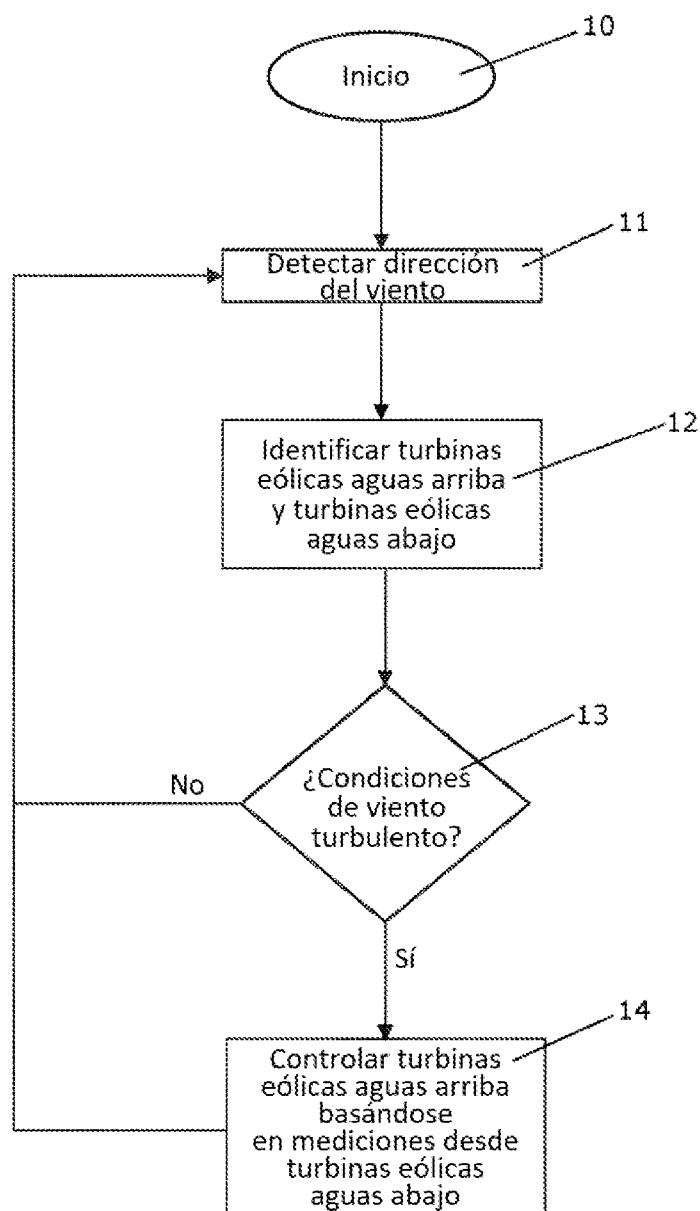


Fig. 6