

SISTEMA DE PARQUE EÓLICO QUE COMPRENDE UNA CONFIGURACIÓN MEJORADA DE GUÍAS DE VIENTO

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a energía eólica. El solicitante da a conocer cómo parques eólicos de varias turbinas que comprenden dos, tres o más turbinas eólicas pueden aumentar considerablemente su eficiencia de producción mediante la instalación de estructuras (guías de viento) que aumentan el flujo de viento a través de los rotores de las turbinas eólicas, diferenciándose con la técnica anterior al aprovechar la interacción e influencia entre los diferentes elementos del sistema de parque eólico (guías de viento y turbinas eólicas) a través de configuraciones específicas (ubicación relativa y formas) de tales elementos.

El solicitante ya ha dado a conocer antes de esta solicitud realizaciones tecnológicas que consideran la instalación de estructuras autónomas (guías de viento) junto a turbinas eólicas autónomas para mejorar su eficiencia de producción autónoma al optimizar las condiciones del flujo de viento a través del rotor de tal turbina eólica autónoma (véase sección de la técnica anterior).

Sin embargo, al analizar dos o más guías de viento delante de al menos dos turbinas eólicas contiguas que formando una fila y construir las guías de viento considerando ciertos parámetros específicos, aparece un efecto nuevo y no obvio, evaluado a través de herramientas de CFD avanzadas que están calibradas con datos reales de medición experimental y se explicarán con más detalle a lo largo de esta divulgación de invención.

Considerando una guía de viento autónoma delante de una turbina eólica autónoma, predominan dos pérdidas aerodinámicas relacionadas. En primer lugar, el flujo de viento que escapa por los extremos de la guía de viento da como resultado una eficiencia reducida de la guía de viento para acelerar el viento en el rotor de turbina eólica. En segundo lugar, el flujo de viento que se aproxima al rotor de turbina eólica, después de dejar la guía de viento, se alejará cada vez más del área de barrido del rotor de turbina eólica a medida que el flujo de viento se acerca al rotor de turbina eólica (como se muestra en las Figuras 6, 7 y 14), también dando como resultado pérdidas aerodinámicas que reducen el aumento promedio de la velocidad del viento a través del rotor de la turbina eólica provocado por la presencia de la guía de viento.

Para reducir tales pérdidas aerodinámicas, una opción es aumentar la longitud horizontal de la guía de viento. Sin embargo, en una configuración autónoma, un análisis de costo-beneficio del aumento en la longitud horizontal de la guía de viento para aumentar la velocidad promedio del viento a través del rotor de la turbina eólica provocada por el aumento en la longitud horizontal de la guía de viento, la mayoría de las veces muestran el resultado de que la energía adicional ganada por el aumento de la longitud horizontal de la guía de viento dará como resultado un costo de energía más alto que en un caso óptimo donde la guía de viento típicamente tiene una longitud horizontal de 1.2 a 1.6 veces la longitud del diámetro de rotor de la turbina eólica.

Cuando se consideran dos guías de viento contiguas donde sus extremos más cercanos se ubican más cerca que la distancia equivalente a las longitudes de los dos diámetros de rotor de turbinas eólicas contiguas, el estrechamiento del espacio libre entre dichas guías de viento contiguas da como resultado un flujo de viento que diverge considerablemente menos del área de barrido del rotor de la turbina eólica y se escapará considerablemente menos flujo de viento en los extremos de las guías de viento independientes, lo que a su vez dará como resultado menos pérdidas aerodinámicas y mayores aumentos de velocidad del viento a través de las áreas de barrido del rotor de la turbina eólica. Estas diferencias se muestran en las Figuras 14 y 15.

En la presente divulgación de invención, se da a conocer otra modalidad de la invención, donde eliminar parcialmente algunas de las pérdidas aerodinámicas en los extremos de las guías de viento al introducir guías de viento continuas que mejorarán el aumento de velocidad del viento para al menos dos turbinas eólicas contiguas, en comparación con la modalidad descrita anteriormente, donde guías de viento independientes mejoran la velocidad del viento de turbinas eólicas independientes. Este concepto de guía de viento continua también ha demostrado tener un efecto impresionante.

A manera de ejemplo, cálculos de CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) tridimensional para un cierto caso con una turbina eólica de 3 megavatios con un diámetro de rotor de 90 metros de largo y una altura de buje de 80 metros y una guía de viento con una altura vertical de 16 metros y 165 metros de longitud horizontal delante de la misma, ha demostrado que considerando una guía de viento autónoma junto a una turbina eólica autónoma, la energía producida por la turbina eólica aumenta 1298 MWh/año. Considerando una guía de viento continua como se da a conocer en la presente divulgación de invención, se encontró que la energía producida por la turbina eólica aumentará a 3771 MWh/año, que

es casi 3 veces más que para el caso de la turbina eólica autónoma, y el equivalente a un aumento de más de 35% de la producción de energía obtenida por la turbina eólica. Esto se logra sin aumentar el costo de energía, como ocurría cuando se aumentaba la longitud horizontal de la guía de viento delante de una turbina eólica autónoma. Cuando se diseña una nueva disposición de parque eólico junto con una nueva disposición de guía de viento como se da a conocer en la presente divulgación de invención, el aumento en la producción de energía puede lograrse a aproximadamente el mismo costo de guía de viento que para una solución de guía de viento autónoma ya conocida (como se describe a continuación en la sección de la técnica anterior) en una turbina eólica autónoma. Por lo tanto, el costo de energía de la energía renovable generada a partir de turbinas eólicas como se describe en esta divulgación de invención se reduce significativamente.

La presente invención da a conocer sistemas y métodos para mejorar la extracción de energía y/o reducir el costo de un sistema de parque eólico donde las turbinas eólicas y/o guías de viento, se alinean sustancialmente formando una fila y cumplen con las condiciones para reducir las pérdidas aerodinámicas como se describe anteriormente. Es posible obtener tal mejora al ajustar la posición relativa de las turbinas eólicas y las guías de viento dentro de la fila y/o la altura de la turbina eólica y/o la altura de las guías de viento, dependiendo de su posición relativa dentro de la fila. La investigación mediante simulaciones avanzadas de CFD ha indicado que cuando se tiene un sistema de parque eólico que forma una fila de turbinas eólicas y/o una fila de guías de viento, debido a las diferentes formaciones de estelas en diferentes posiciones relativas de las turbinas eólicas dentro de la fila, el costo de energía del sistema de parque eólico puede optimizarse cuando la distancia entre la posición de punta de pala inferior de los rotores de turbina eólica y su borde superior de guía de viento más cercana aumenta al acercarse a las turbinas eólicas en el centro de la fila (es decir, o disminuye al acercarse a los extremos de la fila). Esta posición relativa de la punta de pala inferior de la turbina eólica con respecto a la posición de la guía de viento puede ajustarse ya sea al ajustar la distancia de la turbina eólica en relación con la guía de viento y/o al ajustar la altura de buje de la turbina eólica y/o al ajustar la altura de la guía de viento.

La presente invención también da a conocer sistemas y métodos para aprovechar las guías de viento para mejorar la extracción de energía en más del 40% para la última fila de turbinas eólicas en un parque eólico y/o para reducir la distancia entre la última fila y la penúltima fila y reducir así el terreno necesario para el parque eólico y/o para instalar más turbinas eólicas en la misma parcela de terreno.

La presente divulgación de invención describe con más detalle las realizaciones y métodos que son necesarios para lograr los efectos técnicos ventajosos descritos anteriormente.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La Solicitud de Patente US2020/0300213 A1 de Sonsoles Navarro presenta una guía de viento para acelerar el viento en una turbina eólica y así aumentar la producción de energía de la turbina eólica. La FIGURA 12B muestra un parque eólico con 16 turbinas eólicas con guía de viento delante de cada una de las mismas. En la descripción está escrito: “La FIGURA 12B ilustra una vista superior de una porción de un parque eólico 70 que comprende una pluralidad de turbinas eólicas 40. Una guía de viento 2 se dispone delante de cada turbina eólica 40 con la finalidad de aumentar la eficiencia del parque eólico 70 al reducir el efecto de estela como se explica con referencia a la FIGURA 1A”. Esto es diferente de la presente invención en varios aspectos. La presente invención no está relacionada con la reducción del efecto de estela de las turbinas eólicas vecinas. La presente invención se relaciona con mejorar la eficiencia de las guías de viento al reducir las pérdidas aerodinámicas causadas por el viento que se escapa por los extremos de guías de viento y al forzar que el flujo delante del rotor de turbina eólica sea más bidimensional para evitar las pérdidas aerodinámicas causadas por la divergencia del flujo de viento delante del rotor de turbina eólica. Estos efectos se consiguen, de acuerdo con la presente invención, al diseñar el sistema de parque eólico de modo que el espacio libre horizontal entre los dos extremos más cercanos de las dos guías de viento contiguas sea menor que la suma de la longitud de los diámetros de rotor de las dos turbinas eólicas ubicadas más cerca las dos guías de viento contiguas. Por otra parte, en la Figura 12B en el documento US2020/0300213 A1, el espacio libre mencionado anteriormente parece ser muchas veces mayor que 2 diámetros de rotor y, por lo tanto, los efectos logrados por la presente invención no se lograrán con tal disposición de parque eólico como se describe en el documento US2020/0300213 A1.

OBJETO DE LA INVENCION

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar sistemas y métodos de parque eólico para mejorar significativamente la producción de energía de los parques eólicos al incluir una nueva y mejor configuración de guías de viento para acelerar el viento para al menos algunas de las turbinas eólicas en el parque eólico.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para

reducir el costo nivelado de energía de parques eólicos presentes y futuros.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para reducir el costo total de nuevos parques eólicos con guías de viento al reducir la distancia entre las turbinas eólicas, lo que a su vez reducirá el uso de terrenos y/o aumentará la capacidad total de energía del parque eólico dentro del terreno disponible.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para, en algunos casos, mejorar la producción de energía sólo a partir de la última fila de turbinas eólicas en un parque eólico con varias filas de turbinas eólicas.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para ampliar las ubicaciones potenciales de parques eólicos para incluir ubicaciones con una velocidad de viento media anual más baja y aún así mostrar un buen caso de negocio.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para combinar una configuración de guía de viento más eficiente con medios para mejorar el impacto visual de la guía de viento y del parque eólico en general.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para aprovechar aún más la presencia de la configuración mejorada de guía de viento para soportar paneles solares y así disminuir los costos de la energía híbrida eólica-solar.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para diseñar parques eólicos futuros más eficientes de modo que produzcan más energía y posiblemente tengan más capacidad de energía.

El objeto final de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para generar energía limpia rentable y ayudar a disminuir las emisiones de dióxido de carbono, descarbonizar las actividades económicas e industriales humanas, luchar contra el cambio climático y hacer un mundo más sostenible.

Al menos uno de los objetos anteriores, que será evidente a partir de la siguiente descripción de la presente invención, se logra de acuerdo con un primer aspecto de la presente invención mediante un sistema de parque eólico como se define en la reivindicación 1.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

En un primer aspecto de esta divulgación de invención, se da a conocer un sistema de parque eólico y un método para aumentar la producción de energía de un sistema de parque eólico. El sistema de parque eólico que comprende al menos dos o al menos tres turbinas eólicas contiguas que forman al menos una fila de turbinas eólicas. La o las filas son sustancialmente perpendiculares a la dirección predominante del viento. El sistema de turbina eólica comprende guías de viento para al menos algunas de las turbinas eólicas para bloquear y de este modo guiar el viento delante de las turbinas eólicas. Cada una de las turbinas eólicas comprende una torre y un rotor provisto de varias palas de rotor que definen un área de barrido del rotor cuando el rotor está girando. Las guías de viento se sitúan sobre la tierra, se sitúan en el fondo marino o flotan en la superficie del mar y al menos una de las guías de viento tiene una longitud horizontal y una altura vertical que definirá un área que se encuentra sustancialmente vertical dentro de un intervalo de ± 10 grados. Las guías de viento se disponen y configuran sustancialmente de modo que se orienten al viento sustancialmente en la dirección predominante del viento. Cada una de las guías de viento definirá una longitud horizontal entre sus dos extremos laterales que no es menor que 1 vez la longitud del diámetro de rotor de turbina eólica más cercana. Cada una de las guías de viento también definirá una altura vertical que es constante o variable a lo largo de la longitud horizontal de la guía de viento, pero no menor que 3 metros ni mayor que dos tercios de la altura desde el suelo hasta la punta de pala de turbina eólica más cercana cuando la pala se coloca en su posición más baja. Cada una de las guías de viento también definirá un ancho horizontal que es constante o variable a lo largo de la longitud horizontal de las guías de viento pero siempre menor que 1.5 veces la altura de las guías de viento. Cada una de las guías de viento se dispone y se configura sustancialmente para bloquear y de ese modo guiar el viento a una altitud por debajo del área de barrido del rotor de modo que el viento detrás de las guías de viento tenga otra dirección y velocidad que el viento delante de las guías de viento. Cada una de las guías de viento se dispone y configura sustancialmente para dirigir el viento a un área delante y/o detrás de las áreas de barrido del rotor de turbina eólica de modo que a través de las áreas de barrido del rotor de turbina eólica se aumenta la velocidad del viento. Básicamente entre cada una de las guías de viento puede estar presente un espacio libre, denominado espacio libre horizontal. El espacio libre horizontal entre los dos extremos más cercanos de dos guías de viento contiguas es menor que la suma de las longitudes de los diámetros de rotor de las dos turbinas eólicas colocadas más cerca de las dos guías de viento contiguas.

La guía de viento funciona con un efecto de bloqueo de viento para generar un área de alta presión delante de la guía de viento. Puesto que el viento fluye desde áreas de alta presión hasta áreas de menor presión, una parte sustancial del viento que se aproxima a la

guía de viento se moverá ascendentemente hacia el área de barrido del rotor de turbina eólica, según lo previsto. Los cálculos de CFD han demostrado que este efecto es mucho más eficiente que el de una guía de viento colocada en un ángulo diseñado para conducir el viento ascendentemente. En realidad, se descubrió que una guía de viento con un ángulo de 45 grados con respecto a la horizontal prácticamente no tiene ningún efecto sobre el aumento de la velocidad del viento a través del área de barrido del rotor de turbina eólica.

Como se explicó en la introducción, el estrechamiento del espacio libre entre las guías de viento contiguas da como resultado una configuración de flujo que resulta en menos divergencia de flujo y pérdidas aerodinámicas hacia el final de las guías de viento, lo que resulta en un mayor aumento promedio de la velocidad del viento a través de las áreas de barrido de los rotores de turbina eólica y en consecuencia un mejor rendimiento de energía de las turbinas eólicas.

El caso extremo de esta realización es cuando el espacio libre horizontal entre dos guías de viento contiguas es cero. En este caso, los cálculos de CFD han demostrado de igual manera que el aumento de velocidad del viento a través de las superficies de barrido del rotor de dos, tres o más turbinas eólicas contiguas es significativamente mayor que para la guía de viento autónoma con una turbina eólica autónoma, o en caso de que se separen las guías de viento independientes y contiguas por algún espacio libre entre sus extremos más cercanos. El caso de una guía de viento que influye en al menos dos o tres turbinas eólicas contiguas también es una modalidad preferida de la presente invención, que es casi equivalente a la primera modalidad con espacio libre entre extremos iguales a cero, salvo las implicaciones constructivas de tener sólo una guía de viento en lugar de dos guías de viento independientes.

Sin embargo, no siempre puede extenderse una guía de viento para formar una guía de viento continua e influir en dos, tres o más turbinas eólicas contiguas, debido potencialmente a la orografía específica y a obstáculos en el emplazamiento, y/o para permitir la circulación conveniente de personas, ganado, animales salvajes o servicios agrícolas por las guías de viento.

La presente invención se limita a espacios entre extremos contiguos de guías de viento que van desde cero hasta una longitud equivalente a la suma de la longitud de los dos diámetros de rotor contiguos de turbina eólica debido a que los cálculos de CFD han demostrado una buena mejora en la eficiencia de las guías de viento para este intervalo de espacio libre.

Para todas las simulaciones y cálculos de CFD a lo largo de esta divulgación de invención, se utilizaron las dimensiones principales descritas anteriormente y las siguientes entradas en la configuración de la herramienta Ansys CFD. Se ha utilizado un modelo de turbulencia k-epsilon estándar. Sin embargo, se han establecido parámetros de turbulencia en aquellos presentados por Alinot & Masson, que se utilizan a menudo en la industria de energía eólica y de confiabilidad bien probada para el modelado de CFD de capa límite atmosférica neutra. Para lograr estabilidad en el sentido de la corriente en términos de velocidad del viento y energía cinética de turbulencia, se ha implementado el procedimiento de términos de fuente presentado por Richards & Hoxey. Estos se utilizan para justificar la interacción del flujo con el suelo y la corriente libre superior sobre el dominio simulado y, por lo tanto, para evitar turbulencias en sentido de la corriente y disipación de impulso no deseadas.

Para establecer el dominio, además de las turbulencias y fuentes indicadas anteriormente, se han establecido condiciones de límite para las caras laterales como planos de simetría para poder considerar una gran disposición de turbinas eólicas con un considerable ahorro de recursos de cálculo. La cara inferior es una pared rugosa de acuerdo con la rugosidad estándar del grano de arena con una longitud de rugosidad aerodinámica de 0.0025 metros. El perfil de velocidad de viento de entrada, la energía cinética de turbulencia y la tasa de disipación cinética de turbulencia también se han establecido como se sugiere por Richards & Hoxey. En el caso del perfil de velocidad del viento, un perfil de acuerdo con la rugosidad ya mencionada correspondería a un exponente de cizalladura del viento de 0.1 en la ley exponencial del perfil vertical de viento .

La limitación del tamaño del espacio libre horizontal en esta divulgación de patente es que el espacio libre horizontal entre los dos extremos más cercanos de dos guías de viento contiguas es menor que la suma de la longitud de los diámetros de rotor de las dos turbinas eólicas colocadas más cerca de las dos guías de viento contiguas. Para una sola turbina eólica, el aumento en la producción de energía eólica se calculó ser un 16%. Para la suma de la longitud de los dos diámetros de rotor idénticos, un espacio libre en 2.1 diámetros de rotor dio como resultado un aumento en la producción de energía del 17% y exactamente para la limitación de esta divulgación de invención en 2.0 diámetros de rotor, se encontró que el aumento en la producción de energía era del 19% y sin ningún espacio libre en absoluto y con un número excepcionalmente grande de turbinas eólicas en fila, el resultado fue un aumento en la producción de energía del 43%. Por lo tanto, para una configuración como se utiliza en estos cálculos de CFD y con las dimensiones de entrada como se describe en esta divulgación

de invención, la mejora esperada en la producción de energía se encuentra entre 16 y 43%, donde el 16% describe la turbina eólica única y por lo tanto, el estado actual de la técnica.

Como se describió anteriormente, el espacio libre horizontal entre los dos extremos más cercanos de dos guías de viento contiguas debe ser menor que la suma de la longitud de los diámetros de rotor de las dos turbinas eólicas colocadas más cerca de las dos guías de viento contiguas. Cuanto menor sea el espacio, mayor será la producción de energía adicional de las turbinas eólicas, por lo que, alternativamente, el espacio libre horizontal entre los dos extremos más cercanos de dos guías de viento contiguas también puede ser menor que 0.95, 0.9, 0.85, 0.80, 0.75, 0.70, 0.65, 0.60, 0.55, 0.50, 0.45, 0.40, 0.35, 0.30, 0.25, 0.20, 0.15, 0.10, 0.05 veces la suma de la longitud de los dos diámetros de rotor de las dos turbinas eólicas colocadas más cerca de los dos guías de viento contiguas.

En nuevos parques eólicos en emplazamientos con un sector de dirección predominante del viento, las turbinas eólicas pueden estar colocadas relativamente cerca entre sí. La instalación de una guía de viento continua aprovechará de manera rentable los beneficios de la presente invención ya que la longitud de la guía de viento continua será más corta y, de esta manera, se reducirán sus costos.

Adicionalmente, cuando se aplica una guía de viento larga y continua a varias turbinas eólicas, la eficiencia de la guía de viento será mayor en un intervalo mayor de direcciones del viento. Esto también se ha demostrado con cálculos de CFD avanzados calibrados con datos experimentales reales. También, en muchos casos puede resultar beneficioso diseñar la guía de viento a partir de perfiles de acero similares, por ejemplo, a pilotes de chapa de acero, que son relativamente económicos y fáciles de instalar en muchos tipos de suelo. Una estructura delgada similar a una estructura de pilote de chapa de acero puede ser propensa a vibración con el viento durante ciertas condiciones del viento. Es mucho menos probable que estas vibraciones aparezcan en una estructura excepcionalmente larga, y en caso de que las vibraciones se inicien de cierta manera, toda la estructura puede diseñarse de modo que el deslizamiento en los enclavamientos ayude a amortiguar las vibraciones.

Los cálculos de CFD también han demostrado la importancia del número de turbinas eólicas con guías de viento dentro de una fila de turbinas eólicas. Por ejemplo, en una turbina eólica de rotor de 90 metros con una altura de buje de 80 metros y una guía de viento con una altura vertical de 16 metros y una longitud horizontal de 165 metros, se encontró que el aumento en la producción de energía de la turbina eólica era del 16% al aplicar un perfil de viento vertical con un exponente de cizalladura del viento de 0.1. Para la misma turbina eólica,

misma altura de guía de viento y misma cizalladura del viento pero con 20 unidades de turbinas eólicas de rotor de 90 metros colocadas a una distancia de 165 metros y con una guía de viento continua a 3.3 km, se encontró que el aumento en la producción de energía de las turbinas eólicas fue del 43% para las dos turbinas eólicas en la parte media. Este es un hallazgo increíblemente significativo, ya que la longitud total y presumiblemente también el costo total de las guías eólicas para las 20 turbinas eólicas serían aproximadamente las mismas en los dos casos, mientras que se encontró que el aumento en la producción de energía de las turbinas eólicas era mayor del doble, al menos para las turbinas eólicas más centrales. Al analizar los resultados de los cálculos de CFD, se encontró que dos fenómenos aerodinámicos principales eran los más importantes para explicar este resultado. En primer lugar, la guía de viento en la única turbina eólica tiene una cierta longitud que en este caso es 1.83 veces la longitud del diámetro de rotor de turbina eólica, y una cierta cantidad de viento escapará por los lados de la guía de viento. Esta pérdida aerodinámica podría, en teoría, evitarse al extender la longitud de la guía de viento hasta el infinito y con una guía de viento de 3.3 kilómetros de longitud el resultado será, a partir de un punto de vista aerodinámico, cercano al resultado de una guía de viento infinitamente larga cuando se consideran sólo las dos turbinas eólicas en la parte media de la fila. En segundo lugar, la guía de viento suele estar colocada a una distancia predefinida delante de la turbina eólica, en este caso 80 metros (lo que representa un caso donde la aceleración del viento se produce principalmente delante del rotor de turbina eólica) y, por lo tanto, el flujo de viento por encima de la guía de viento entre la guía de viento y el rotor de turbina eólica se acelera en una distancia horizontal a 80 metros. A medida que este flujo de viento se aproxima al rotor de turbina eólica, divergirá sustancialmente hacia los lados y, de ese modo, una cierta cantidad de viento se escapará y se desperdiciará, ya que se escapa sustancialmente por la periferia del área de barrido del rotor de la turbina eólica. Ambos fenómenos aerodinámicos se mejoran al menos parcialmente mediante la presente invención.

Preferentemente, la guía de viento debe cubrir el área desde el suelo o superficie del mar sin fugas importantes entre la parte inferior de la guía de viento y la superficie del suelo o del mar. Los cálculos de CFD han demostrado una reducción significativa en la eficiencia de guía de viento cuando el área abierta en la parte inferior de la guía de viento es sólo del 5 – 10 % de la altura vertical de la guía de viento. Esto se debe a que se reduce significativamente la alta presión en el área delante de la guía de viento.

Preferentemente, la longitud horizontal de la guía de viento es mayor que el diámetro más cercano del rotor de turbina eólica. Los cálculos de CFD han mostrado buenas eficiencias

cuando la longitud horizontal de la guía de viento tiene entre 1.2 y 1.6 veces el diámetro del rotor de turbina eólica. Esto es para una única turbina eólica con una única guía de viento.

Los cálculos de CFD también han demostrado que el aumento de velocidad del viento a través del área de barrido del rotor de turbina eólica es aproximadamente proporcional a la altura vertical de la guía de viento. Por lo tanto, se ha establecido una limitación de la altura vertical de la guía de viento a 3 metros, aunque alturas más bajas también tendrán un efecto positivo en el aumento de la velocidad del viento a través del área de barrido del rotor de turbina eólica. La limitación de 3 metros se elige principalmente por razones prácticas, ya que no se considera realista lograr un buen caso de negocio con guías de viento más bajas.

El ancho horizontal de la guía de viento se ha limitado a ser menor que 1.5 veces la altura vertical de las guías de viento. La guía de viento puede construirse de muchas maneras utilizando muchos materiales diferentes. Una opción son pilotes de chapa de acero entrelazados entre sí y apilados parcialmente en el suelo para formar una guía de viento. Otra opción es una estructura de muro de postes de soporte que comprende perfiles de acero de HEB situados en suelo o situados en el lecho marino como estructura de soporte de carga general y con chapas de relleno de cualquier tipo entre los postes de soporte (los perfiles de HEB) para formar una estructura de muro de baja porosidad que sirve de guía de viento. Otra opción es apilar pacas de paja similares a las modernas, también conocidas como pacas grandes, que pesan hasta 500 kg cada una y tienen forma sustancialmente de caja. Estas pilas de pacas de paja ya se encuentran en muchos casos en los campos para su almacenamiento. Una guía de viento de pacas de paja puede tener aproximadamente la misma altura vertical que el ancho horizontal, pero rara vez excede el límite de 1.5 veces como se describió anteriormente. La guía de viento también puede diseñarse parcialmente con materiales de chapa flexible similares a una lona, dando como resultado una relación de ancho horizontal a altura vertical mucho menor que la relación de 1.5 como se describió anteriormente. Las guías de viento hechas a partir de contenedores de transporte son otro ejemplo que sustancialmente estará dentro del límite de relación de 1.5 como se describió anteriormente. Finalmente, los cálculos de CFD han mostrado un buen efecto aerodinámico de las guías de viento dentro del límite de relación de 1.5, y se encontró que cuando se excedía la relación de 1.5 en la parte superior de la guía de viento, la eficiencia de la guía de viento disminuía.

En una modalidad preferida de la invención, al menos una de las guías de viento se coloca a una distancia de la turbina eólica y al menos una de las guías de viento no tiene

contacto físico con la turbina eólica. La distancia puede ser más de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 o 1.5 veces el diámetro de rotor de la turbina eólica más cercana a la guía de viento. Los cálculos de CFD han demostrado las mejores eficiencias de la guía de viento para aumentar la velocidad promedio del viento delante del área de barrido del rotor de turbina eólica cuando la distancia es un poco menor que el diámetro de rotor. Esto es para un parque eólico de área plana y la distancia variará de acuerdo con la topografía y la disponibilidad del terreno. Otros factores también pueden influir en la elección final de la distancia entre la turbina eólica y la guía de viento. Las distancias requeridas para enfrentar riesgos de incendio son un ejemplo. Para una guía de viento con pacas de paja, la distancia de seguridad hasta la turbina eólica debe ser de más de 100 metros debido a las normas contra incendios en Dinamarca, como ejemplo. En algunos casos, puede ser interesante acelerar el viento principalmente detrás de la turbina eólica y en aquellos casos en que la distancia estará en los intervalos más bajos o incluso alineada con la fila de turbinas eólicas.

En una modalidad preferida de la invención, a lo largo de al menos una de las áreas de barrido de los rotores de turbina eólica se reduce la cizalladura vertical del viento y/o se reduce la intensidad de turbulencia de modo que se reduzcan las cargas de fatiga sobre las palas de rotor de turbina eólica. La cizalladura de viento justo delante del área de barrido del rotor de turbina eólica contribuye de manera importante a las cargas de fatiga sobre las palas y, de ese modo, sobre toda la estructura de turbina eólica. La cizalladura del viento a menudo se describe con una fórmula logarítmica o exponencial que describe cómo cambia la velocidad del viento a medida que ascendemos en la capa límite atmosférica. En áreas planas, la cizalladura del viento es casi siempre positiva, lo que significa que la velocidad del viento aumenta a medida que ascendemos. Los cálculos de CFD han demostrado que un exponente de cizalladura de viento positivo de 0.1 en la corriente libre delante del área de barrido del rotor de turbina eólica cambiará a 0.05 después de instalar una guía de viento orientada verticalmente. Esto se debe al hecho de que la guía de viento aumenta principalmente la velocidad del viento en la parte inferior del área de barrido del rotor de turbina eólica y aumenta menos la velocidad del viento en la parte superior. En principio, la guía de viento generará una cizalladura de viento ligeramente negativo que, cuando se suma a la cizalladura de viento positivo original, da como resultado una reducción de cizalladura de viento y, de ese modo, de las cargas de fatiga cíclica sobre las palas de turbina eólica. Los mismos cálculos de CFD han mostrado una reducción en la intensidad de turbulencia que se debe principalmente al aumento de velocidad del viento combinado con evitar agregar más turbulencias al flujo. La turbulencia puede ser aproximadamente la misma con y sin la guía de viento, pero como la velocidad del viento aumenta, la intensidad de la turbulencia se reduce. Además, una

reducción en la intensidad de turbulencia disminuirá las cargas de fatiga al comparar las cargas de fatiga a la misma velocidad del viento a través del área de barrido del rotor de turbina eólica. Por lo tanto, se reduce el daño por fatiga por kilovatio hora generado por la turbina eólica.

En una modalidad preferida de la invención, la distancia entre cualquiera de las torres de las turbinas eólicas contiguas en el sistema de parque eólico es mayor que 1.0 y menor que 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 9.5 ó 10 diámetros de rotor de turbina eólica y en una modalidad preferida alternativa similar de la invención, el sistema de parque eólico comprende turbinas eólicas donde la distancia entre al menos dos de las turbinas eólicas en el sistema de parque eólico tienen menos de 1.1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 9.5 ó 10 veces la longitud de los diámetros de rotor de turbina eólica. En los parques eólicos actuales de una sola fila con una fuerte dirección predominante del viento, la distancia entre las turbinas eólicas suele ser de aproximadamente dos diámetros de rotor. En los raros casos en que la dirección del viento es sustancialmente paralela a la fila de turbinas eólicas, lo más probable es que las turbinas eólicas se paren para evitar que las turbinas eólicas operen en la fuerte estela producida por las turbinas eólicas delante de las mismas cuando se considera la dirección real del viento. A medida que disminuye el predominio en la dirección del viento, la distancia entre las turbinas eólicas individuales tiende a aumentar para mejorar la eficiencia del parque, ya que las turbinas eólicas experimentarán un flujo de estela de las turbinas eólicas vecinas cada vez con más frecuencia. La presente invención es más eficaz cuando la guía de viento continua cubre más de una o dos turbinas eólicas. Para limitar los costos de la guía de viento, una pequeña distancia entre las turbinas eólicas suele ser la mejor solución. Por otro lado, para parques eólicos existentes con una distancia relativamente grande entre las turbinas eólicas, la presente invención también puede resultar beneficiosa en muchos casos.

En una modalidad preferida de la invención, el sistema de parque eólico comprende al menos dos filas de turbinas eólicas, tales filas siendo sustancialmente perpendiculares a la dirección predominante del viento y ubicadas sustancialmente una fila detrás de otra fila considerando la dirección predominante del viento. Las guías de viento se ubican únicamente en la última de al menos dos filas de turbinas eólicas del sistema de parque eólico. La última fila se ubica sustancialmente a sotavento con respecto a la o las otras filas de turbinas eólicas en el sistema de parque eólico. En una modalidad preferida similar de la invención, el sistema de parque eólico comprende al menos dos filas de turbinas eólicas sustancialmente paralelas entre sí y ubicadas sustancialmente una detrás de otra, de preferencia pero no

necesariamente, considerando el sector de dirección predominante del viento, donde las guías de viento se ubican sólo en la última fila de turbinas eólicas en el sistema de parque eólico, dicha fila se ubica a sotavento con respecto a las otras filas de turbinas eólicas en el parque eólico, de preferencia pero no necesariamente, considerando el sector de dirección predominante del viento. Los cálculos de CFD de parques eólicos de varias filas han mostrado resultados sorprendentemente buenos cuando las guías de viento se colocan delante de las turbinas eólicas en la última fila, de modo que el viento se verá influenciado por una o más turbinas eólicas antes de que llegue a las turbinas eólicas con la o las guías de viento en la última fila. Especialmente cuando se colocan una o dos filas de turbinas eólicas con guías de viento delante de la última fila de turbinas eólicas, el efecto es sorprendentemente bueno. Los cálculos de CFD han demostrado que la aceleración del viento alrededor de la parte inferior de los rotores de turbina eólica en la o las primeras filas, causada por la inducción que es causada por las turbinas eólicas en operación que extraen energía del viento en las primeras filas, es el principal motivo de la mayor aceleración por parte de la guía de viento ubicada en la última fila. Las guías de viento simplemente experimentan una mayor velocidad del viento delante de las mismas, causada por la inducción de las turbinas eólicas ubicadas a barlovento. En una solución preferida de la invención, este efecto de aceleración inducido por la turbina eólica frontal se combina con el efecto que se origina a partir de un diseño y colocación de una guía de viento de acuerdo con el primer aspecto de esta invención, donde el espacio libre horizontal entre los dos extremos más cercanos de dos guías de viento contiguas es menor que la suma de la longitud de los diámetros de rotor de las dos turbinas eólicas colocadas más cerca de las dos guías de viento contiguas. El caso extremo en el que el espacio libre horizontal es cero, el cual es aerodinámicamente equivalente a una guía de viento continua, también es una solución preferida cuando se combina con su ubicación en la última fila de una disposición de turbinas de varias filas.

En una modalidad preferida de la invención, la distancia promedio entre la fila de turbinas eólicas con las guías de viento y la fila de turbinas eólicas colocadas a barlovento considerando la dirección predominante del viento es al menos 10% o 20% o 30% o 40% o 50 % o 60% o 70% o 80% menor que la distancia más baja entre cualquier otra fila consecutiva en el sistema de parque eólico. De este modo se consigue una reducción significativa del área de terreno necesaria para el sistema de parque eólico. En un plano de diseño tradicional de parques eólicos, la distancia entre filas a menudo es determinada por la tasa de recuperación de las estelas y, de este modo, se optimiza la eficiencia de todo el parque eólico para lograr el menor costo de energía posible. En una zona relativamente plana, esta optimización a menudo termina en distancias entre turbinas eólicas de 5 a 10 diámetros de rotor. El

funcionamiento de una turbina eólica puede explicarse mediante la Ley de Betz, donde la presencia de la turbina eólica da como resultado una reducción de la velocidad del viento a $2/3$ con respecto a la velocidad del viento libre. Se ha descubierto que esta reducción de velocidad del viento en la estela justo detrás del área de barrido del rotor también influye en la velocidad del viento debajo y en el área de barrido del rotor. Puesto que la turbina eólica bloquea parcialmente el viento, parte del viento intentará escapar al exterior alrededor del área de barrido del rotor. Por lo tanto, al instalar una guía de viento en la última fila, las turbinas colocadas delante de la guía de viento ya habrán aumentado la velocidad del viento justo delante de la guía de viento, lo que dará como resultado un mejor efecto de la guía de viento. Se encuentra que este efecto contrarresta más la mejor eficiencia del parque con una mayor distancia entre las turbinas eólicas y, por lo tanto, la última fila con guías de viento puede instalarse mucho más cerca de la fila delante de la misma que en los casos tradicionales donde no se utilizan guías de viento. Exactamente cuánto pueda reducirse la distancia entre las dos filas dependerá de las condiciones del emplazamiento, los tamaños de turbinas eólicas y las producciones de energía máximas, la configuración de guías de viento y las condiciones del viento en el emplazamiento.

En una modalidad preferida de la invención, el sistema de parque eólico comprende sólo una fila de turbinas eólicas con una o más guías de viento. En los emplazamientos con una dirección predominante del viento muy fuerte, el parque eólico a menudo sólo consta de una fila de turbinas eólicas y dichas turbinas suelen estar ubicadas cerca unas de otras. Las distancias entre 1.3 y 2 diámetros de rotor son comunes en esos parques eólicos. Por lo tanto, la modalidad preferida es para esos parques eólicos ya que tanto el predominio de la dirección del viento como la pequeña distancia entre las turbinas eólicas son ventajosas, principalmente debido a la longitud horizontal necesaria limitada de las guías de viento. En caso de que cada turbina eólica tenga una guía de viento separada, también será ventajoso, ya que la eficiencia de guías de viento aumenta tan pronto como el espacio libre horizontal entre los dos extremos más cercanos de dos guías de viento contiguas es menor que la suma de las longitudes de los diámetros de rotor de las dos turbinas eólicas ubicadas más cerca de las dos guías de viento contiguas.

En una modalidad preferida de la invención, el espacio libre horizontal entre los dos extremos más cercanos de dos guías de viento contiguas es sustancialmente de cero metros, formando una guía de viento sustancialmente o al menos parcialmente continua para más de una turbina eólica. En otra modalidad preferida similar de la invención, el sistema de parque eólico comprende una guía de viento ubicada delante de al menos dos turbinas eólicas

contiguas. Como se explicó anteriormente, las guías de viento reducen sustancialmente sus pérdidas aerodinámicas principalmente debido a la divergencia del flujo de viento y el escape del viento en los extremos de la guía de viento en comparación con el caso en el que una guía de viento autónoma se ubica en turbina eólica autónoma.

En una modalidad preferida de la invención, el sistema de parque eólico comprende al menos 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300 turbinas eólicas en cada fila. Los dos fenómenos aerodinámicos principales que provocan una guía de viento más eficiente de acuerdo con la presente invención son, como se describió anteriormente, reducir el flujo de viento que se escapa en los extremos de la guía de viento y la divergencia reducida del flujo de viento en el área entre el guía de viento y el rotor de turbina eólica. Ambos fenómenos de pérdida aerodinámica mejorarán a medida que la longitud de guía de viento se amplíe y cubra más y más turbinas eólicas. El óptimo absoluto se conseguiría en una fila infinita de turbinas eólicas, dando como resultado un flujo totalmente bidimensional sin pérdidas aerodinámicas provocadas por los fenómenos aerodinámicos descritos anteriormente. Esto no es posible en la práctica, pero con un número excepcionalmente grande de turbinas eólicas en una fila y con una guía de viento muy larga, los resultados de CFD son muy cercanos a los resultados de CFD bidimensionales. Los resultados de CFD mostraron además que, para al menos 10 turbinas eólicas en una fila con una guía de viento continua, la eficiencia está bastante cerca del máximo posible y, por lo tanto, al menos 10 turbinas eólicas con una guía de viento continua son una configuración preferida ventajosa adicional.

En una modalidad preferida de la invención, el sistema de parque eólico comprende al menos dos guías de viento con alturas verticales sustancialmente diferentes de modo que la altura vertical sea la más alta y más cercana a los extremos de la fila de turbinas eólicas y la altura vertical sea la más baja y más cercana al centro de la fila de turbinas eólicas. En una modalidad preferida similar de la invención, el sistema de parque eólico comprende guías de viento con diferentes alturas verticales. De preferencia, estas alturas de las guías de viento dependen de su posición relativa en una fila de turbinas eólicas, y de preferencia tienen menos altura en las guías de viento más cercanas a las turbinas eólicas ubicadas en el centro de la fila que la altura de las guías de viento más cercanas a las turbinas eólicas ubicadas cerca de los dos extremos de la fila. De preferencia, el sistema de parque eólico comprende al menos 3 turbinas eólicas y guías de viento discretas, y la altura de las guías de viento se ajusta para mejorar el costo del sistema de parque eólico. En un sistema de parque eólico que comprende al menos 3 turbinas eólicas que se alinean sustancialmente para formar una fila y guías de

viento discretas que cumplen con las condiciones descritas anteriormente para reducir las pérdidas aerodinámicas, disminuir la altura de las guías de viento en el centro ahorrará los costos de material y la producción de energía de las turbinas eólicas no se reducirá drásticamente. Simulaciones de CFD avanzadas han indicado que al tener una configuración de turbinas eólicas formando una fila, las turbinas eólicas extraerán energía similar debido al aumento de velocidad del viento gracias a las guías de viento, si la distancia entre (a) la punta de pala inferior de las turbinas eólicas más cercanas al centro de la fila y (b) los bordes superiores de sus guías de viento más cercanas, son mayores que la distancia entre (a) la punta de pala inferior de las turbinas eólicas más cercanas a los extremos de la fila y (b) los bordes superiores de sus guías de viento más cercanas. Es posible ajustar estas distancias al colocar guías de viento más cortas en el centro de la fila y guías de viento más altas hacia los extremos de la fila. Las distancias reales de la configuración variarán dependiendo de los parámetros dimensionales de las turbinas eólicas específicas y de las guías de viento, pero lo que se ha encontrado a partir de la investigación y análisis de la estela de las guías de viento en las diferentes ubicaciones dentro de la fila de turbinas eólicas, es que la altura más óptima para las guías de viento de las turbinas eólicas cuando se aproxima al centro de la fila es menor que la altura óptima de las guías de viento cerca de los extremos de la fila, como se muestra en la Figura 12.

Otra modalidad de la invención es similar a la anterior pero en este caso el sistema de parque eólico comprende al menos 3 turbinas eólicas y una guía de viento continua, y un ajuste de la altura de las guías de viento para mejorar el costo del sistema de parque eólico. En un sistema de parque eólico que comprende al menos 3 turbinas eólicas que se alinean sustancialmente para formar una fila y guías de viento discretas que cumplen con las condiciones descritas anteriormente para reducir las pérdidas aerodinámicas, disminuir la altura de las guías de viento en el centro ahorrará los costos de material y la producción de energía de las turbinas eólicas no se reducirá drásticamente. Simulaciones de CFD avanzadas han indicado que al tener una configuración de turbinas eólicas formando una fila, las turbinas eólicas extraerán cantidades de energía similares debido al aumento de velocidad del viento causado por las guías de viento, si la distancia entre (a) la punta de pala inferior de las turbinas eólicas más cercanas al centro de la fila y (b) los bordes superiores de sus guías de viento más cercanas, son mayores que la distancia entre (a) la punta de pala inferior de las turbinas eólicas más cercanas a los extremos de la fila y (b) los bordes superiores de sus guías de viento más cercanas. Ajustar estas distancias para que la guía de viento sea más corta en el centro de la fila y más alta hacia los extremos de la fila es una buena opción. Las distancias reales de la configuración variarán dependiendo de los parámetros dimensionales

de las turbinas eólicas específicas y de las guías de viento, pero lo que se ha encontrado a partir de la investigación y análisis de la estela de las guías de viento en las diferentes ubicaciones dentro de la fila de turbinas eólicas, es que la altura más óptima de las guías de viento de las turbinas eólicas cuando se aproxima al centro de la fila es menor que para las guías de viento cercanas a los extremos de la fila, como se muestra en la Figura 13.

En una modalidad preferida de la invención, el sistema de parque eólico se configura de manera que la distancia entre la posición más baja de las puntas de palas de rotor de cada rotor de turbina eólica y los bordes superiores de su guía de viento más cercana sea diferente dependiendo de la posición relativa de las turbinas eólicas en la fila de turbinas eólicas con una o más guías de viento. En una modalidad preferida similar de la invención, la distancia entre la posición más baja de las puntas de palas de rotor de turbina eólica de cada rotor de turbina eólica y los bordes superiores de sus guías de viento más próximas es menor más cerca de los extremos de la fila de turbinas eólicas con una o más guías de viento y es más alta más cerca del centro de la fila de turbinas eólicas con una o más guías de viento.

En otras palabras, se prefiere tener una distancia mayor para las turbinas eólicas ubicadas en el centro de la fila que para las turbinas eólicas ubicadas más cerca de los dos extremos de la fila. El sistema de parque eólico comprende al menos 3 turbinas eólicas y guías de viento que están sustancialmente alineadas para formar una fila y cumple con las condiciones divulgadas previamente para reducir las pérdidas aerodinámicas. Para optimizar la energía extraída por el sistema de parque eólico, una solución preferida es ajustar la ubicación relativa de tales turbinas eólicas respecto a las guías de viento. Simulaciones de CFD avanzadas han indicado que cuando se tiene una configuración de guías de viento formando una fila, se logra una mayor aceleración del viento, cuando esta distancia definida anteriormente es mayor para las turbinas eólicas ubicadas cerca del centro de la fila, y la distancia es menor para las turbinas eólicas ubicadas más cerca de los extremos de la fila. Las distancias reales de la configuración variarán dependiendo de los parámetros dimensionales de las turbinas eólicas específicas y de las guías de viento, pero la investigación y análisis de las estelas detrás de las guías de viento en las diferentes ubicaciones dentro de la fila han demostrado que la ubicación más óptima para los rotores de las turbinas eólicas al aproximarse al centro de la fila se aleja más de su guía de viento más cercana que las turbinas eólicas cercanas a los extremos de la fila como se indica en las Figuras 8 y 9.

Otra modalidad de la divulgación de invención es similar a la anterior pero en este caso, las posiciones de las turbinas eólicas son fijas y por lo tanto ajustar la posición relativa de las guías de viento dará como resultado sustancialmente la misma solución óptima. En un sistema de parque eólico que comprende al menos 3 turbinas eólicas sustancialmente alineadas para formar una fila y con guías de viento discretas que cumplen con las condiciones previamente descritas para reducir las pérdidas aerodinámicas, es preferible aumentar la energía extraída del sistema de parque eólico al ajustar la ubicación relativa de tales guías de viento respecto a las turbinas eólicas. Simulaciones de CFD avanzadas han indicado que al tener una configuración de turbinas eólicas formando una fila, las turbinas eólicas extraerán más energía debido al aumento de velocidad del viento causado por las guías de viento, si la distancia entre (a) la punta de pala inferior de las turbinas eólicas más cercanas al centro de la fila y (b) sus guías de viento más cercanas, el o los bordes superiores son mayores que la distancia entre (a) la punta de pala inferior de las turbinas eólicas más cercanas a los extremos de la fila y (b) sus bordes superiores de guías de viento más cercanos. Las distancias reales de la configuración variarán dependiendo de los parámetros dimensionales de las turbinas eólicas específicas y de las guías de viento, pero se ha descubierto a partir de la investigación y análisis de la estela de las guías de viento en las diferentes ubicaciones dentro de la fila de turbinas eólicas, que la ubicación más óptima para los rotores de las turbinas eólicas al aproximarse al centro de la fila está más alejada de su guía de viento más cercana, y que las turbinas eólicas cercanas a los extremos de la fila como se indica en la Figura 10.

Otra modalidad de la invención es similar a la anterior pero en este caso las posiciones de las turbinas eólicas son fijas y se ajusta la forma de una guía de viento continua. En un sistema de parque eólico que comprende al menos 3 turbinas eólicas que se alinean sustancialmente para formar una fila y una guía de viento continua que cumple con las condiciones divulgadas previamente para reducir las pérdidas aerodinámicas, es preferible aumentar la energía extraída por el sistema de parque eólico al ajustar la forma de las guías de viento continuas. Simulaciones de CFD avanzadas han indicado que al tener una configuración de turbinas eólicas formando una fila, las turbinas eólicas extraerán más energía debido al aumento de velocidad del viento causado por la guía de viento continua, si la guía de viento continua tiene una forma aproximada de arco como se indica en la Figura 11, que se caracteriza básicamente por el hecho de que la distancia entre (a) la punta de pala inferior de los rotores de turbina eólica más cercana al centro de la fila y (b) la parte más cercana del borde superior de las guías de viento continuas es mayor que la distancia entre (a) la punta de pala inferior de las turbinas eólicas más cercanas a los extremos de la fila y (b) su parte más cercana del borde superior de guía de viento continua. Los parámetros reales de la

configuración variarán dependiendo de los parámetros dimensionales de las turbinas eólicas específicas y de las guías de viento, pero lo que se ha encontrado a partir de la investigación y análisis de la estela de las guías de viento en las diferentes ubicaciones dentro de la fila de turbinas eólicas es que la ubicación más óptima para los rotores de las turbinas eólicas cuando se aproximan al centro de la fila está más alejada de la parte más cercana de la guía de viento continua que las turbinas eólicas cercanas a los extremos de la fila.

En una modalidad preferida de la invención, el espacio libre horizontal entre dos guías de viento contiguas o un espacio libre horizontal dentro de una guía de viento se ubica donde se ubica una carretera, un río o un camino para que personas, animales, vehículos, grúas, embarcaciones, barcos, camiones, y cualesquier bienes pasen por el espacio libre para el transporte por carretera o río. En caso de que la carretera de acceso a la turbina eólica esté ubicada en o cerca de donde se ubica la dirección predominante del viento a barlovento con respecto a la turbina eólica, puede ser necesario tener tal espacio libre horizontal para liberar el acceso a la turbina eólica. En caso de que una guía de viento continua muy larga cubra muchas turbinas eólicas, también es probable que haya una carretera, un río o un camino donde se instale la guía de viento, lo que resulta en la necesidad de tener un espacio libre horizontal. En caso de que la guía de viento bloquee el acceso entre dos campos, también es necesario disponer de un espacio libre horizontal para que el agricultor y su maquinaria puedan pasar de un campo a otro.

En una modalidad preferida de la invención, el espacio libre horizontal entre las dos guías de viento contiguas o un espacio libre horizontal dentro de una guía de viento comprende medios para abrir y cerrar el espacio libre horizontal ya sea manual o automáticamente. En otra modalidad de la invención, el espacio libre horizontal entre esas dos guías de viento contiguas para no bloquear dicho libre acceso se cubre con una lona desmontable o extraíble o cualquier otro material flexible para permitir temporalmente dicho libre acceso. Un pequeño espacio libre horizontal de unos pocos metros puede no dar como resultado una reducción significativa en la eficiencia de guía de viento, pero independientemente del tamaño, un espacio libre horizontal cerrado probablemente dará como resultado una mejor eficiencia de la guía de viento.

En una modalidad preferida de la invención, se instalan una o más guías de viento delante de las turbinas eólicas existentes, después de lo cual estas turbinas eólicas existentes se reemplazan al menos parcialmente por nuevas turbinas eólicas que después de esto aprovecharán las mismas una o más guías de viento existentes. Cada vez se están equipando

con nuevos equipos más parques eólicos, lo que significa que se eliminan las turbinas eólicas antiguas, más pequeñas e ineficientes, y se instalan nuevas turbinas eólicas, más grandes y más eficientes, sustancialmente en el mismo lugar. En esos casos, las guías de viento pueden disponerse y configurarse de manera que tanto las turbinas eólicas antiguas como las nuevas turbinas eólicas se beneficien significativamente del efecto de aceleración del viento provocado por la presencia de las guías de viento. De esta manera, puede ser factible instalar guías de viento en parques eólicos existentes con sólo unos pocos años más de vida útil, ya que las mismas guías de viento pueden utilizarse para las nuevas turbinas eólicas. Esto puede verse como un medio para aumentar el mercado potencial total para guías de viento.

En una modalidad preferida de la invención, al menos partes de al menos algunas de las guías de viento tienen una porosidad mayor que 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 por ciento. El porcentaje de porosidad significa el porcentaje del área superficial de la guía de viento o de una parte de la guía de viento que no está cubierta con un material sustancialmente hermético, lo que significa el porcentaje del área por la que puede pasar el aire. En esta divulgación de invención, los espacios libres entre las guías de viento no se consideran parte de la porosidad. Una guía de viento porosa podría comprender árboles, árboles de bambú, árboles de hoja perenne, plantas, estar revestida con agujeros, chapas de relleno con distancias entre las mismas en un muro de postes de soporte, pilas de contenedores de transporte con distancias entre las partes superior e inferior de los contenedores de transporte, una tela perforada o una lona perforada, o cualquier otro medio para dejar pasar un poco de aire a través de la guía de viento. Las ventajas de utilizar una guía de viento porosa son, por ejemplo, limitar las cargas de viento, especialmente cargas de viento extremas, sobre la guía de viento, limitar la recirculación de la estela detrás de la guía de viento que se genera por la presencia de la guía de viento o reducir la efectos negativos del desplazamiento de arena o desplazamiento de nieve. En principio, una guía de viento porosa puede funcionar de la misma manera que una valla para arena o una valla para nieve, lo que significa reducir la velocidad del viento detrás de la guía de viento y, de ese modo, aumentar la cantidad de arena o nieve que se recogerá detrás de la guía de viento. Finalmente, una guía de viento porosa puede, en algunas circunstancias, ser más eficiente para acelerar el viento, reducir la cizalladura del viento o reducir la intensidad de turbulencia en el área de barrido del rotor de turbina eólica.

En una modalidad preferida de la invención, el sistema de parque eólico además comprende un área para cultivar o una instalación agrivoltaica para cultivar y generar energía fotovoltaica que se beneficia del efecto cortavientos del sistema de parque eólico. Los beneficios del cortavientos en la agricultura ya son conocidos y aplicados en todo

el mundo para reducir la evapotranspiración (es decir, la pérdida de agua que se produce por los procesos de evaporación y transpiración. La evaporación ocurre cuando el agua se convierte en vapor en las superficies del suelo o de las plantas. La transpiración se refiere al agua que se pierde a través de las hojas de las plantas). La velocidad del viento típicamente aumenta la evapotranspiración, especialmente en ambientes muy áridos. Reducir artificialmente la velocidad del viento con un cortavientos también reduce la evapotranspiración, aumentando la eficiencia de los recursos hídricos disponibles, lo que es especialmente relevante en ambientes áridos. Adicionalmente, el cortavientos también reduce el riesgo de dañar los cultivos debido a vientos de alta velocidad, especialmente en ambientes desérticos (por ejemplo: debido a tormentas de arena o desplazamientos de arena).

Los sistemas de parque eólico descritos en la presente solicitud combinan el efecto cortavientos del sistema de guía de viento con el efecto de estela de las turbinas, dando como resultado un sistema altamente eficiente para captar energía eólica como se explicó anteriormente y con un efecto cortavientos mayor que considerando un sistema de cortavientos solo.

Los problemas del cultivar cultivos en ambientes áridos son fundamentalmente dos: el exceso de calor y la escasez de agua. La presente invención del sistema de parque eólico puede hacer mucho más eficiente el uso del agua gracias a la reducción de las velocidades del viento y la reducción derivada de la evapotranspiración, como se ha explicado anteriormente. Pero sería deseable combinar nuestra invención con una solución para reducir el exceso de calor. La combinación de nuestro sistema de parque eólico con la instalación de tecnología agrivoltaica (Paneles solares fotovoltaicos dispuestos de manera que permita el cultivo de cultivos debajo de las estructuras que sostienen los paneles PV) reduce sustancialmente el calor.

El sistema de parque eólico descrito en la presente solicitud, potencialmente complementado por el sistema agrivoltaico, es una fuente de electricidad muy eficiente. Esta electricidad puede utilizarse para alimentar infraestructura hídrica (por ejemplo: sistemas de desalinización, bombas y válvulas para transportar agua a los nodos de consumo, bombas para extraer agua de acuíferos subterráneos, etc.), aligerando parcialmente el alto costo operativo de la gestión de recursos hídricos.

En una modalidad preferida de la invención, se divulga un método para ampliar un parque eólico existente con una fila adicional de turbinas eólicas con guías de viento. La distancia media entre la nueva fila adicional de turbinas eólicas con las guías de viento y la

fila existente anterior de turbinas eólicas colocadas a barlovento considerando la dirección predominante del viento es menor que 90% o 80% o 70% o 60% o 50% o 40% o el 30% de la distancia entre cualquier otra fila consecutiva en el sistema de parque eólico y, de ese modo, se reduce significativamente el área de terreno adicional necesaria para ampliar el parque eólico existente.

En una modalidad preferida de la invención, se divulga un método para colocar turbinas eólicas en un diseño de parque eólico. El diseño considera al menos dos filas de turbinas eólicas colocadas entre sí a barlovento de acuerdo con la dirección predominante del viento. La fila de turbinas eólicas más a sotavento comprende guías de viento y de acuerdo con este método, al menos algunas de las turbinas eólicas en cada una de las filas consecutivas se colocan muy cerca una de otra (las torres de turbinas de las turbinas contiguas en la fila se colocan a una distancia menor que 3 veces el diámetro medio del rotor de tales turbinas contiguas) minimizando el efecto de las estelas de turbinas anteriores en la fila a sotavento gracias al efecto optimizante del flujo de viento de las guías de viento.

En otra modalidad preferida de la invención, se da a conocer un sistema de parque eólico que comprende al menos dos turbinas eólicas vecinas que forman al menos una fila de turbinas eólicas que, de preferencia pero no necesariamente, es sustancialmente perpendicular al sector de dirección predominante del viento (entendido como el sector de dirección del viento de 90° que concentra más del 60% del potencial de energía eólica anual) y al menos dos guías de viento para guiar el viento delante de cada una de al menos dos turbinas eólicas vecinas desde una primera dirección hasta una segunda dirección de modo que el flujo de viento sea acelerado delante y/o detrás del rotor de cada turbina. Las turbinas eólicas vecinas comprenden una torre y un rotor provisto de varias palas de rotor que definen un área de barrido del rotor. Las guías de viento comprenden una guía de viento con una longitud horizontal, al menos una altura vertical, un ancho horizontal y con al menos dos extremos, dispuestas y configuradas para recibir viento desde una altitud por debajo del área de barrido del rotor y para dirigir el viento de manera que el viento que sale de la guía de viento tenga otra dirección distinta del viento recibido por la guía de viento. Las guías de viento se disponen y configuran para dirigir el viento a un área delante y/o detrás del área de barrido de los rotores de turbina eólica de manera que a través de tal área de barrido de los rotores se aumente la velocidad del viento. Adicionalmente, el espacio libre horizontal entre los dos extremos más cercanos de dos guías de viento contiguas es menor que la suma de la longitud de los diámetros de rotor de las dos turbinas eólicas colocadas más cerca de las dos guías de viento contiguas. En este caso, cálculos de CFD avanzados calibrados con datos

experimentales reales han demostrado que la velocidad media del viento a través de los rotores aumenta sustancialmente en comparación con el caso ya conocido en el que una turbina eólica autónoma y una guía de viento autónoma, u otro caso ya conocido en el que el espacio libre entre las dos guías de viento contiguas es mayor que la suma antes mencionada de dos diámetros de rotor.

En otra modalidad preferida de la invención, el sistema de parque eólico comprende al menos una guía de viento situada en suelo o situada en lecho marino y sustancialmente vertical dentro de un intervalo de ± 10 grados. Una guía de viento situada en suelo o situada en lecho marino cubrirá sustancialmente un área desde la superficie del suelo o del mar y ascendentemente. También, los cálculos de CFD han demostrado la mejor eficiencia de la guía de viento cuando se orienta cerca de la vertical, al menos en un terreno relativamente plano. Los conceptos estructurales similares a pilotes de chapa de acero, paredes de postes de soporte y apilamiento de contenedores de transporte son más fáciles de instalar verticalmente y, puesto que la carga de viento de diseño en las estructuras de las paredes es la misma para todas las direcciones del viento, no pueden lograrse ahorros significativos en la estructura al inclinar la estructura. Una gran estructura de celosía en forma de A es una opción y esa es la razón principal para elegir una solución preferida con limitación a la estructura vertical a ± 10 grados.

En otra modalidad preferida de la invención, el sistema de parque eólico comprende al menos una guía de viento que tiene una altura vertical entre un tercio y dos tercios de la distancia entre el suelo o la superficie del mar y la altura más baja de punta de pala de los rotores de turbina eólica. Los cálculos de CFD han mostrado detalles sobre la altura de la estela detrás de la guía de viento. Esta altura de estela es importante debido a que si el flujo de estela ingresa al área de barrido del rotor, las palas sufrirán más cargas de fatiga debido al cambio repentino en la velocidad del viento y debido al aumento de turbulencia en el flujo de estela. En los cálculos de una turbina eólica de rotor autónoma de 90 metros de largo con una guía de viento de 16 metros de alto y 165 metros de largo, la altura máxima fue $16/(80-45) = 0.46$, lo que indica que la altura de la guía de viento es casi la mitad de la distancia entre el suelo y la altura más baja de punta de pala de los rotores de turbina eólica.

Sin embargo, en guías de viento largas y continuas, los cálculos de CFD han determinado que la formación de estela detrás de la guía de viento y, de ese modo, la altura de estela, varían considerablemente desde el centro hasta los extremos de dicha guía de viento. Para 5 turbinas eólicas con una guía de viento continua, la altura de estela es

significativamente mayor en el centro que hacia los extremos de las guías de viento. Esta altura de estela reducida podrá aprovecharse al aumentar la altura de la guía de viento en ciertas áreas de la guía de viento, reduciéndola en otras o ubicando las turbinas eólicas en una ubicación óptima y con un rotor a la altura óptima para beneficiarse tanto como sea posible del efecto de aceleración que resulta de la formación específica de estelas en cada área de la guía de viento continua.

El motivo detrás de la limitación superior de la altura de guía de viento a dos tercios de la distancia entre el suelo y la altura más baja de punta de pala de las turbinas eólicas es, en primer lugar, controlar el costo de la guía de viento, ya que aumenta considerablemente con la altura debido al aumento de cargas de viento que debe soportar la estructura y, en segundo lugar, evitar que la estela de la guía de viento entre en el área de barrido de la turbina eólica, lo que daría como resultado un aumento de cargas en la turbina eólica.

En otra modalidad preferida de la invención, el sistema de parque eólico comprende sólo una fila de al menos dos turbinas eólicas y, a) al menos dos guías de viento en una fila de turbinas eólicas donde el espacio libre horizontal entre los dos extremos más cercanos de dos guías de viento contiguas es menor que la suma de la longitud de los diámetros de rotor de las dos turbinas eólicas colocadas más cerca de las dos guías de viento contiguas, o b) al menos una guía de viento continua cubre al menos dos de las turbinas eólicas.

En otra modalidad preferida de la invención, la o las guías de viento además incorporan paneles solares para permitir la producción de generación de energía híbrida eólica-solar. Los paneles solares ocupan áreas muy grandes de terreno que en muchos casos podrían haberse utilizado para otros fines. Las disposiciones de paneles solares verticales o estructuras altas construidas únicamente para aprovechar la energía solar generalmente no son viables, ya que estas estructuras deben diseñarse para soportar cargas de viento bastante grandes y, desde el punto de vista de rentabilidad, es mucho mejor construir parques solares horizontalmente, pero no de forma vertical. La guía de viento, sin embargo, se diseña para ser rentable gracias a su objetivo principal de aumentar la producción de energía eólica a partir de los parques eólicos. Sin embargo, agregar paneles solares puede aumentar aún más la eficiencia de la instalación. Hoy en día, la mayoría de los parques solares comprenden paneles solares montados sobre una estructura de soporte simple y colocados en un ángulo optimizado para la altura solar o con sistemas de colocación ajustables del panel solar para siempre, al menos parcialmente, orientarse hacia el sol. En el hemisferio norte, los paneles solares deberían estar de preferencia orientados al sur. Todo lo contrario en el hemisferio sur. En caso de que

la guía de viento quede orientada en dirección sureste y suroeste (o de noreste a noroeste) sería posible instalar los paneles solares directamente sobre la guía de viento y lograr una buena eficiencia casi todo el día. Pueden utilizarse ambos lados de la guía de viento para instalar paneles solares, por lo que esta solución será buena para la mayoría de los emplazamientos donde la dirección predominante del viento se encuentra entre noreste y noroeste y también para direcciones predominantes del viento de sureste a suroeste. Cuando la guía de viento se coloca para direcciones predominantes del viento de noreste a sureste (o de suroeste a noreste), la guía de viento puede crear sombras – al menos durante algunas partes del día. Esto tendrá un impacto negativo, pero aún así puede proporcionar un caso de negocio razonable. Otra ventaja de la generación de energía híbrida eólica-solar es la mayor eficiencia de la conexión a la red, ya que las dos instalaciones pueden suministrar energía a la misma red. Esto también puede ser ventajoso cuando las dos unidades de generación de energía pueden combinarse y el servicio en cada una de las dos unidades de generación de energía puede realizarse de preferencia cuando la otra puede reemplazar la pérdida de producción debido al tiempo de inactividad de servicio de la otra.

En otra modalidad preferida de la invención, las guías de viento comprenden dispositivos de mejora de impacto visual o medios para mejorar el impacto visual provocado por las guías de viento. Para reducir el impacto visual de la guía de viento podrán utilizarse enredaderas o flores artificiales o naturales o cualquier otra vegetación. En una solución preferida para una guía de viento excepcionalmente larga, cubrirla con plantas verdes puede tener un impacto significativo de modo que el observador experimente la guía de viento como una ligera elevación del horizonte y nunca piense en ella como una estructura hecha por el hombre. Los extremos de la guía de viento excepcionalmente larga pueden ser ahusados en una forma adaptada a los alrededores, o pueden plantarse árboles en los extremos para proteger el cambio abrupto de altura. Otra ventaja de la guía de viento excepcionalmente larga es el hecho de que es fácil instalar un sistema de riego automático con sólo un tubo de agua excepcionalmente largo. También, es una ventaja significativa tener enredaderas a lo largo de toda la superficie de la guía de viento, ya que puede interrumpir ligeramente el flujo de viento y, por lo tanto, evitar o reducir el riesgo de vibraciones inducidas por el viento en la estructura de guía de viento. Finalmente, las guías de viento pueden comprender árboles o incluso consistir únicamente en árboles para formar la guía de viento completa.

En otra modalidad de la invención, la guía de viento se coloca en una turbina eólica, donde la salida de energía máxima de la turbina eólica es mayor que 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000,

11000, 12000, 13000, 14000, 15000, 16000, 17000, 18000, 19 000, 20000, 21000, 22000, 23000, 24000 o 25000 kilovatios.

En otra modalidad de la invención, la guía de viento se coloca en una turbina eólica, donde el diámetro de rotor de la turbina eólica es mayor que 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290 o 300 metros.

Otra modalidad preferida de la invención divulga un método para aumentar la producción de energía a partir de un sistema de parque eólico. El sistema de parque eólico que comprende al menos dos turbinas eólicas vecinas que forman al menos una fila de turbinas eólicas que, de preferencia pero no necesariamente, es sustancialmente perpendicular a la dirección más predominante del viento y al menos dos guías de viento para guiar el viento delante de cada una de las al menos dos turbinas eólicas vecinas desde una primera dirección hasta una segunda dirección. Las turbinas eólicas vecinas comprenden una torre y un rotor provisto de varias palas de rotor que definen un área de barrido del rotor. Las guías de viento comprenden una guía de viento con una longitud horizontal, al menos una altura vertical, un ancho horizontal y con al menos dos extremos, dispuestas y configuradas para recibir viento desde una altitud por debajo del área de barrido del rotor y para dirigir el viento de manera que el viento que sale de la guía de viento tenga otra dirección distinta del viento recibido por la guía de viento. Las guías de viento se disponen y configuran para dirigir el viento a un área delante y/o detrás del área de barrido de los rotores de turbina eólica de una manera que a través del área de barrido de dichos rotores se aumenta la velocidad del viento y el espacio libre horizontal entre los dos extremos más cercanos de dos guías de viento contiguas es menor que la suma de la longitud de los diámetros de rotor de las dos turbinas eólicas colocadas más cerca de las dos guías de viento contiguas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FIGURAS

La invención se entenderá mejor con la lectura de la siguiente descripción, dada únicamente a manera de ejemplos no limitantes y con referencia a los dibujos, en los que:

La Figura 1 muestra una vista frontal en perspectiva de un sistema de parque eólico con espacios libres entre las guías de viento.

La Figura 2 muestra una vista frontal en perspectiva de un sistema de parque eólico con una guía de viento continua para cubrir todas las turbinas eólicas.

La Figura 3 muestra una vista lateral de una turbina eólica y una guía de viento situada en suelo.

La Figura 4 muestra una vista frontal en perspectiva de un sistema de parque eólico con 3 filas de turbinas eólicas y una guía de viento continua que cubre la última fila.

La Figura 5 muestra una vista frontal en perspectiva de un sistema de parque eólico con dos guías de viento que cubren cada una de las tres turbinas eólicas.

La Figura 6 muestra una vista frontal en perspectiva de una turbina eólica con una guía de viento y corrientes sin turbulencia que muestran el patrón de flujo del viento.

La Figura 7 muestra una vista frontal de un área de barrido del rotor de turbina eólica con una guía de viento y corrientes sin turbulencia que muestran el patrón de flujo del viento.

La Figura 8 muestra una vista superior de un sistema de parque eólico con 7 turbinas eólicas y 7 guías de viento.

La Figura 9 muestra una vista superior de un sistema de parque eólico con 7 turbinas eólicas y una guía de viento.

La Figura 10 muestra una vista superior de un sistema de parque eólico con 7 turbinas eólicas y 7 guías de viento.

La Figura 11 muestra una vista superior de un sistema de parque eólico con 7 turbinas eólicas y 1 guía de viento.

La Figura 12 muestra una vista frontal de un sistema de parque eólico con 7 turbinas eólicas y 7 guías de viento.

La Figura 13 muestra una vista frontal de un sistema de parque eólico con 7 turbinas eólicas y 1 guía de viento.

La Figura 14 muestra una vista superior de un área de barrido del rotor de turbina eólica con una guía de viento y corrientes sin turbulencia que muestran el patrón de flujo.

La Figura 15 muestra una vista superior de un área de barrido del rotor de turbina eólica y 2 medias partes de un área de barrido del rotor de turbina eólica y una guía de viento en toda su longitud y 2 medias guías de viento y corrientes sin turbulencia que muestran el patrón de flujo.

La Figura 16 muestra una vista lateral de una turbina eólica y una guía de viento y líneas de contorno que ilustran la velocidad del viento.

La Figura 17 muestra una vista lateral de una turbina eólica y una guía de viento y líneas de contorno que ilustran la velocidad del viento.

Lista de números de posiciones

- 1 Turbina Eólica
- 2 Pala de Turbina Eólica
- 3 Torre
- 4 Área de Barrido del Rotor
- 5 Dirección del Viento
- 6 Guía de Viento
- 7 Tierra
- D Diámetro de Rotor
- G Espacio Libre Entre los Dos Extremos Más Cercanos de Dos Guías de Viento Contiguas
- h Distancia Entre la Tierra y la Altura Más Baja de la Punta de Pala de los Rotores de Turbina Eólica
- vh Altura Vertical de la Guía de Viento. Medida como la Distancia Entre la Parte Superior de la Guía de Viento y la Superficie de la Tierra o del Mar.
- d Distancia Entre la Posición de la Punta de Pala Más Baja del Rotor de Turbina Eólica y el Borde Superior de la Guía de Viento Más Cercana
- d1 Proyección en el plano horizontal de la distancia Entre la Posición de las Puntas de Pala Más Bajas de los Rotores de Turbina Eólica y el Borde Superior de las Guías de Viento Más Cercanas
- d2 Proyección en el plano horizontal de la distancia Entre la Posición de las Puntas

de Pala Más Bajas de los Rotores de Turbina Eólica y el Borde Superior de las Guías de Viento Más Cercanas

d3 Proyección en el plano horizontal de la distancia Entre la Posición de las Puntas de Pala Más Bajas de los Rotores de Turbina Eólica y el Borde Superior de las Guías de Viento Más Cercanas

d4 Proyección en el plano horizontal de la distancia Entre la Posición de las Puntas de Pala Más Bajas de los Rotores de Turbina Eólica y el Borde Superior de las Guías de Viento Más Cercanas

d5 Proyección en el plano horizontal de la distancia Entre la Posición de las Puntas de Pala Más Bajas de los Rotores de Turbina Eólica y el Borde Superior de las Guías de Viento Más Cercanas

d6 Proyección en el plano horizontal de la distancia Entre la Posición de las Puntas de Pala Más Bajas de los Rotores de Turbina Eólica y el Borde Superior de las Guías de Viento Más Cercanas

d7 Proyección en el plano horizontal de la distancia Entre la Posición de las Puntas de Pala Más Bajas de los Rotores de Turbina Eólica y el Borde Superior de las Guías de Viento Más Cercanas

h1 Altura Vertical de una Guía de Viento

h2 Altura Vertical de una Guía de Viento

h3 Altura Vertical de una Guía de Viento

h4 Altura Vertical de una Guía de Viento

h5 Altura Vertical de una Guía de Viento

h6 Altura Vertical de una Guía de Viento

h7 Altura Vertical de una Guía de Viento

h8 Altura Vertical de una Guía de Viento

h9 Altura Vertical de una Guía de Viento

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

En la Figura 1 se muestra una vista frontal en perspectiva de un sistema de parque eólico con 6 turbinas eólicas (1) y 6 guías de viento (6) con espacios horizontales (G) entre cada una de las guías de viento (6). Los espacios libres horizontales (G) son, de acuerdo con la invención, menores que la suma de las longitudes de los diámetros de rotor (D) de las dos turbinas eólicas colocadas más cerca de las dos guías de viento contiguas. En el dibujo, todas las turbinas eólicas tienen diámetros de rotor (D) idénticos, por lo que en este caso, los espacios libres horizontales tienen menos de 2 veces el diámetro de rotor (D) de una turbina eólica (1). La dirección del viento se muestra con 3 flechas que apuntan en la dirección en la que fluye el viento.

En la Figura 2 se muestra una vista frontal en perspectiva de un sistema de parque eólico con 6 turbinas eólicas (1) y una guía de viento continua (6) para cubrir las 6 turbinas eólicas. No hay espacios libres horizontales entre las guías de viento ni los espacios libres horizontales son cero. De acuerdo con la invención, los espacios libres horizontales son menores que la suma de las longitudes de los diámetros de rotor de las dos turbinas eólicas ubicadas más cerca de las dos guías de viento contiguas. En este caso, los espacios libres horizontales son cero, por lo que este caso está cubierto por la divulgación de invención, ya que cero es menos de 2 veces el diámetro de rotor de una de las turbinas eólicas idénticas.

En la Figura 3 se muestra una vista lateral de una turbina eólica (1) y una guía de viento situada en suelo (6). La guía de viento (6) también podría estar situada en el fondo marino o flotando en la superficie del mar y está orientada sustancial y verticalmente, aunque también podría estar en ángulo de hasta 10 grados en cada lado. La guía de viento podría tener, de acuerdo con la divulgación de invención, una altura vertical (vh) que se encuentra entre un tercio y dos tercios de la distancia entre el suelo, el fondo marino o la superficie del mar y la altura más baja de la punta de pala de los rotores de turbina eólica. La distancia (d) entre la posición de la punta de pala inferior y el borde superior de la guía de viento también se muestra en la figura, ya que esta distancia se utiliza en las Figuras 8 – 13. La altura más baja de la punta de palas de los rotores de turbina eólica significa el punto más bajo del área de barrido del rotor de turbina eólica y, por lo tanto, la posición vertical más baja que adoptarán las puntas de palas cuando el rotor de turbina eólica esté girando. La guía de viento, en la Figura 3, se coloca a cierta distancia delante de la turbina eólica (la dirección del viento es de derecha a izquierda y no se muestra en la Figura 3) pero también podría estar alineada con la torre de turbina eólica y de ese modo acelerar sustancialmente el viento detrás del área de

barrido del rotor y de ese modo acelerar sustancialmente el viento a través del rotor de turbina eólica para aumentar la producción de energía de la turbina eólica.

En la Figura 4 se muestra una vista frontal en perspectiva de un sistema de parque eólico con 3 filas de 6 turbinas eólicas (1) en cada fila y una guía de viento continua (6) que cubre la última fila estando la fila a sotavento en relación con las otras dos filas en el parque eólico. Esto es de acuerdo con esta divulgación de invención, donde el sistema de parque eólico comprende al menos dos filas de turbinas eólicas sustancialmente paralelas entre sí y ubicadas sustancialmente una detrás de otra considerando la dirección predominante del viento, donde las guías de viento se ubican sólo en la última fila de turbinas eólicas en el sistema de parque eólico, tal fila se ubica a sotavento con respecto a las otras filas de turbinas eólicas en el parque eólico considerando la dirección predominante del viento. Los cálculos de CFD de la configuración mostrada en la Figura 4 han mostrado resultados sorprendentemente buenos ya que el flujo de viento se verá influenciado por una o dos turbinas eólicas antes de que llegue a las turbinas eólicas con la guía de viento en la última fila. Los cálculos de CFD también han demostrado que, la aceleración del viento alrededor de la parte inferior de rotores de turbina eólica en las 2 primeras filas causada por la inducción causada por las turbinas eólicas en operación que extraen energía del viento en las primeras filas, es la razón principal de la mayor aceleración de la guía de viento ubicada en la última fila en comparación con un caso en el que las turbinas eólicas con la guía de viento estaban en un parque eólico de una sola fila. Este efecto de aceleración inducido por la turbina eólica frontal se combina con el efecto procedente de una guía de viento.

En la Figura 5 se muestra una vista frontal en perspectiva de un sistema de parque eólico con 6 turbinas eólicas (1) y dos guías de viento (6) cubriendo cada una tres turbinas eólicas. Esto es de acuerdo con la divulgación de invención donde al menos dos guías de viento contiguas se conectan a través de sus extremos más cercanos para formar una guía de viento sustancialmente continua. Cuanto mayor sea el número de turbinas eólicas que comparten una guía de viento continua, mejor será el efecto de aumentar el efecto de aceleración del viento en comparación con una sola turbina eólica con una guía de viento. Cuando 3 o más turbinas eólicas comparten una guía de viento continua, este efecto es significativo. También, podría haber razones para diseñar guías de viento excepcionalmente largas con espacios libres para que agricultores locales, animales o personal y equipos de servicio para turbinas eólicas pasen fácilmente al otro lado de la guía de viento y podrían haber casos donde las carreteras atravesasen un parque eólico con guías de viento.

En la Figura 6 se muestra una vista frontal en perspectiva de una turbina eólica (1) con una guía de viento (6) y corrientes sin turbulencia que muestran el patrón de flujo del viento. Como se describió previamente, la solución con una sola turbina eólica con una sola guía de viento muestra sustancialmente dos pérdidas aerodinámicas importantes, donde la Figura 6 muestra una de las mismas. Se muestra cómo una cantidad considerable de flujo de viento se escapa por los dos extremos de la guía de viento y, por lo tanto, pierde flujo de viento que, de acuerdo con la presente divulgación de invención, puede reducirse y mejorarse de esta manera el aumento de velocidad del viento para dos o más turbinas eólicas contiguas.

En la Figura 7 se muestra una vista frontal del área de barrido del rotor de turbina eólica (4) con una guía de viento (6) y corrientes sin turbulencia que muestran los patrones de flujo del viento. Como se describió previamente, la solución con una sola turbina eólica con una sola guía de viento muestra sustancialmente dos pérdidas aerodinámicas importantes, donde la Figura 7 muestra una de las mismas. Se muestra que el viento que sale de la guía de viento diverge hacia los dos lados delante del área de barrido del rotor. Esta divergencia del flujo da como resultado una velocidad reducida del viento que pasa a través del rotor en comparación con un flujo donde hay poca o ninguna divergencia del flujo de viento delante del área de barrido del rotor de turbina eólica. En caso de que 9 turbinas eólicas contiguas compartan la misma guía de viento continua, esta divergencia de flujo será pequeña y la eficiencia de la guía de viento para acelerar el viento mejorará de acuerdo con la presente divulgación de invención. En el caso de un número infinito de turbinas eólicas que comparten la misma guía de viento continua, el flujo de viento sería bidimensional y no habría divergencia de flujo.

En la Figura 8 se muestra una vista superior de un sistema de parque eólico con 7 turbinas eólicas representado por la proyección en el plano horizontal del área de barrido del rotor (4) y 7 guías de viento (6) con un espacio libre (G) entre las mismas y el sistema de parque eólico tiene una disposición especial. Esta disposición es de acuerdo con la divulgación de la presente invención donde la distancia entre la posición de las puntas de pala del rotor de turbina eólica más bajas de los rotores de turbina eólica y los bordes superiores de las guías de viento más cercanas son diferentes dependiendo de la posición relativa de las turbinas eólicas en una fila de turbinas eólicas con una o más guías de viento. En la Figura 8, las proyecciones en el plano horizontal de dichas distancias se denominan d_1 a d_7 y, en una solución preferida, como se muestra en la Figura 8, $d_1 \leq d_2 \leq d_3 \leq d_4$ y $d_4 \geq d_5 \geq d_6 \geq d_7$, ya que los cálculos de CFD han demostrado que esto es una solución óptima para un sistema de parque eólico situado en un área plana con baja rugosidad superficial.

En la Figura 9 se muestra una vista superior de un sistema de parque eólico con 7 turbinas eólicas representadas por la proyección en el plano horizontal del área de barrido del rotor (4) y una guía de viento continua (6) que cubre las 7 turbinas eólicas en una disposición especial. Esta disposición es de acuerdo con la divulgación de la presente invención donde la distancia entre la posición de las puntas de pala del rotor de turbina eólica más bajas de los rotores de turbina eólica y los bordes superiores de las guías de viento más cercanas son diferentes dependiendo de la posición relativa de las turbinas eólicas en una fila de turbinas eólicas con una o más guías de viento. En la Figura 9, las proyecciones en el plano horizontal de dichas distancias se denominan d_1 a d_7 y, en una solución preferida, como se muestra en la Figura 9, $d_1 \leq d_2 \leq d_3 \leq d_4$ y $d_4 \geq d_5 \geq d_6 \geq d_7$, ya que los cálculos de CFD han demostrado que esto es una solución óptima para un sistema de parque eólico situado en un área plana con baja rugosidad superficial.

En la Figura 10 se muestra una vista superior de un sistema de parque eólico con 7 turbinas eólicas representado por la proyección en el plano horizontal del área de barrido del rotor (4) y 7 guías de viento (6) con un espacio libre (G) entre las mismas. La disposición es típica de un parque eólico existente, donde las turbinas eólicas se sitúan en una fila formando una línea recta y donde las guías de viento no se sitúan en una línea recta. Esta disposición es de acuerdo con la divulgación de la presente invención donde la distancia entre la posición de las puntas de pala del rotor de turbina eólica más bajas de los rotores de turbina eólica y los bordes superiores de las guías de viento más cercanas son diferentes dependiendo de la posición relativa de las turbinas eólicas en una fila de turbinas eólicas con una o más guías de viento. En la Figura 10, las proyecciones en el plano horizontal de dichas distancias se denominan d_1 a d_7 y, en una solución preferida, como se muestra en la Figura 10, $d_1 \leq d_2 \leq d_3 \leq d_4$ y $d_4 \geq d_5 \geq d_6 \geq d_7$, ya que los cálculos de CFD han demostrado que esto es una solución óptima para un sistema de parque eólico situado en un área plana con baja rugosidad superficial.

En la Figura 11 se muestra una vista superior de un sistema de parque eólico con 7 turbinas eólicas representadas por la proyección en el plano horizontal del área de barrido del rotor (4) y 1 guía de viento (6). La disposición es típica de un parque eólico existente, donde las turbinas eólicas se sitúan en una fila formando una línea recta. La guía de viento está curvada para optimizar la posición de la guía de viento con respecto a la posición de las turbinas eólicas. Esta disposición es de acuerdo con la divulgación de la presente invención donde la distancia entre la posición de las puntas de pala del rotor de turbina eólica más bajas de los rotores de turbina eólica y los bordes superiores de las guías de viento más cercanas

son diferentes dependiendo de la posición relativa de las turbinas eólicas en una fila de turbinas eólicas con una o más guías de viento. En la Figura 11, las proyecciones en el plano horizontal de dichas distancias se denominan d_1 a d_7 y, en una solución preferida, como se muestra en la Figura 11, $d_1 \leq d_2 \leq d_3 \leq d_4$ y $d_4 \geq d_5 \geq d_6 \geq d_7$, ya que los cálculos de CFD han demostrado que esto es una solución óptima para un sistema de parque eólico situado en un área plana con baja rugosidad superficial.

En la Figura 12 se muestra una vista frontal de un sistema de parque eólico con 7 turbinas eólicas representadas por su área de barrido del rotor (4) y la torre (3) y 7 guías de viento (6) colocadas con un espacio libre (G) entre las mismas y delante de las turbinas eólicas. Esta disposición es de acuerdo con la divulgación de la presente invención donde el sistema de parque eólico comprende guías de viento con diferentes alturas verticales. En la Figura 12, estas alturas verticales se denominan h_1 a h_7 y en una solución preferida como se muestra en la Figura 12, $h_1 \geq h_2 \geq h_3 \geq h_4$ y $h_4 \leq h_5 \leq h_6 \leq h_7$, ya que los cálculos de CFD han demostrado que esta es una solución óptima para un sistema de parque eólico situado en un área plana con baja rugosidad superficial.

En la Figura 13 se muestra una vista frontal de un sistema de parque eólico con 7 turbinas eólicas representadas por el área de barrido del rotor (4) y la torre (3) y 1 guía de viento continua (6) que cubre las 7 turbinas eólicas. Esta disposición es de acuerdo con la divulgación de la presente invención donde el sistema de parque eólico comprende guías de viento con diferentes alturas verticales. En la Figura 13, estas alturas verticales son alturas verticales locales en diferentes posiciones de la guía de viento continua y las alturas se denominan h_1 a h_9 y en una solución preferida como se muestra en la Figura 13, $h_1 \geq h_2 \geq h_3 \geq h_4 \geq h_5$ y $h_5 \leq h_6 \leq h_7 \leq h_8 \leq h_9$, ya que los cálculos de CFD han demostrado que esta es una solución óptima para un sistema de parque eólico situado en un área plana con baja rugosidad superficial.

En la Figura 14 se muestra una vista superior del área de barrido del rotor de turbina eólica (4) con una guía de viento (6) y corrientes sin turbulencia que muestran el patrón de flujo. El flujo de viento (5) comienza desde el lado izquierdo y fluye hacia el lado derecho y la posición de altura inicial para las corrientes sin turbulencia en el lado izquierdo alejado es de 8 metros de altura sobre la superficie del suelo o del mar. Delante del área de barrido del rotor de turbina eólica se encuentra una guía de viento de 165 metros de largo y 16 metros de altura. En este cálculo de CFD, la función de disco actuador queda desactivada, por lo que el flujo no se ve influenciado por la inducción causada por el rotor de turbina eólica y el área de

barrido del rotor de turbina eólica de 90 metros de diámetro, por lo tanto, sólo se incluye en la figura para mostrar la posición donde puede ubicarse el rotor de turbina eólica. En caso de que se incluyera el disco actuador para modelar la inducción del rotor de turbina eólica, la divergencia horizontal del flujo justo delante del área de barrido del rotor de turbina eólica habría mostrado una divergencia mayor del flujo de viento. Esta divergencia es una de las dos pérdidas aerodinámicas que son excepcionalmente grandes para una sola turbina eólica con una sola guía de viento, como se muestra en la Figura 14. La otra pérdida aerodinámica excepcionalmente grande es causada por el flujo de viento que se escapa por los dos extremos de la guía de viento. Las corrientes sin turbulencia detrás de los dos extremos de la guía de viento están muy espaciadas, lo que indica una velocidad de viento relativamente alta, lo que indica una pérdida aerodinámica relativamente grande, ya que el flujo de viento que escapa por los extremos de la guía de viento no se aprovechará para acelerar el flujo del viento a la altura del rotor de turbina eólica y por lo tanto, debe considerarse como una pérdida aerodinámica total. La opción principal en la presente divulgación de invención es reducir estas dos pérdidas aerodinámicas y mejorar así la eficiencia de la guía de viento.

La Figura 15 muestra una vista superior de un área de barrido del rotor de turbina eólica (4) y 2 medias partes de un área de barrido del rotor de turbina eólica (4) y una guía de viento (6) en toda su longitud y 2 medias guías de viento (6) y corrientes sin turbulencia que muestran el patrón de flujo. El flujo de viento (5) comienza desde el lado izquierdo y fluye hacia el lado derecho y la posición de altura inicial para las corrientes sin turbulencia en el lado izquierdo alejado es de 8 metros de altura sobre la superficie del suelo o del mar. Una guía de viento de 165 metros de largo y 16 metros de altura se coloca delante del área de barrido del rotor de turbina eólica en el centro de la Figura 15. Los espacios libres horizontales (G) entre los extremos más cercanos de dos guías de viento contiguas tienen 15 metros. En el cálculo de CFD se simularon 9 turbinas eólicas idénticas con 9 guías de viento idénticas. En la Figura 15 sólo se muestran la turbina eólica central con su guía de viento y dos medias partes de las turbinas eólicas con sus sistemas de guías de viento. En este cálculo de CFD, la función de disco actuador queda desactivada, por lo que el flujo no se ve influenciado por la inducción causada por los rotores de turbina eólica y el área de barrido del rotor de turbina eólica de 90 metros de diámetro, por lo tanto, sólo se incluyen en la figura para mostrar la posición donde pueden ubicarse los rotores de turbina eólica. Al comparar el patrón de flujo entre la Figura 14 y la Figura 15, es obvio que tanto la divergencia de flujo del viento como el flujo del viento que escapa en los extremos de la guía de viento es mucho menor en el caso que muestra la guía de viento ubicada en el centro de 9 guías de viento como se muestra en la Figura 15. Por lo tanto, es obvio que la pérdida aerodinámica total es mucho mayor para

una sola guía de viento que para una fila de 9 guías de viento con dimensiones como las descritas anteriormente, cuando las guías de viento se colocan con un espacio libre horizontal de 15 metros entre las mismas. La opción principal en la presente divulgación de invención es reducir las pérdidas aerodinámicas y mejorar así la eficiencia de la guía de viento.

En la Figura 16 se muestra una vista lateral de una turbina eólica representada por su área de barrido del rotor (4) y una guía de viento (6) y líneas de contorno que ilustran la velocidad del viento. El flujo de viento (5) proviene del lado izquierdo y fluye hacia el lado derecho en la Figura 16. Delante del área de barrido del rotor de turbina eólica se encuentra una guía de viento de 165 metros de largo y 16 metros de altura. En este cálculo de CFD, la función de disco actuador queda desactivada, por lo que el flujo no se ve influenciado por la inducción causada por el rotor de turbina eólica y el área de barrido del rotor de turbina eólica de 90 metros de diámetro, por lo tanto, sólo se incluye en la figura para mostrar la posición donde puede ubicarse el rotor de turbina eólica. Las líneas de contorno muestran el componente horizontal de la velocidad del viento y puede verse que en la estela detrás de la guía de viento, el flujo de viento es negativo, lo que indica que el flujo de viento fluye de derecha a izquierda en la figura. Por ejemplo, la línea de contorno 1 muestra una velocidad del viento a -2.5 m/s. La línea de contorno 7 muestra la línea donde la velocidad del viento es de 9.5 m/s. Por encima de esta línea, la velocidad del viento es superior a 9.5 m/s. La influencia de la guía de viento tiene un efecto positivo en la velocidad del viento, tanto desde arriba, donde la línea de contorno de 9.5 m desciende hasta el área de barrido del rotor, como desde la línea de contorno de 7.5 m/s que asciende hasta el área de barrido del rotor.

En la Figura 17 se muestra una vista lateral de una turbina eólica representada por su área de barrido del rotor (4) y una guía de viento (6) y líneas de contorno que ilustran la velocidad del viento. El flujo de viento proviene del lado izquierdo y fluye hacia el lado derecho en la Figura 17. Delante del área de barrido del rotor de turbina eólica se encuentra una guía de viento de 165 metros de largo y 16 metros de altura. En este cálculo de CFD, la función de disco actuador queda desactivada, por lo que el flujo no se ve influenciado por la inducción causada por el rotor de turbina eólica y el área de barrido del rotor de turbina eólica de 90 metros de diámetro, por lo tanto, sólo se incluye en la figura para mostrar la posición donde puede ubicarse el rotor de turbina eólica. Las líneas de contorno muestran la componente horizontal de la velocidad del viento similar a las mostradas en la Figura 16. Los datos de entrada para el cálculo de CFD son idénticos a los datos de entrada utilizados para calcular el resultado mostrado en la Figura 15. La Figura 17 muestra los resultados cuando se incluyen 9 turbinas eólicas y 9 guías de viento con un espacio libre de 15 metros entre los dos extremos

contiguos de las guías de viento. En la Figura 17, la velocidad horizontal del viento es mucho mayor en el área de barrido del rotor de turbina eólica que en el caso de una sola turbina eólica mostrada en la Figura 16. La línea de contorno de 9.5 m/s cubre casi toda el área de barrido del rotor de turbina eólica, mientras que en la Figura 16 sólo cubre menos de la mitad del área de barrido del rotor de turbina eólica.

Elementos

1. Un sistema de parque eólico que comprende al menos dos turbinas eólicas vecinas que forman al menos una fila de turbinas eólicas que es sustancialmente perpendicular a la dirección más predominante del viento y al menos dos guías de viento para guiar el viento delante de cada una de al menos dos turbinas eólicas vecinas desde una primera dirección hasta una segunda dirección;

las turbinas eólicas vecinas comprenden una torre y un rotor provisto de varias palas de rotor que definen un área de barrido del rotor;

las guías de viento comprenden una guía de viento con una longitud horizontal, al menos una altura vertical, un ancho horizontal y con al menos dos extremos, dispuestas y configuradas para recibir viento desde una altitud por debajo del área de barrido del rotor y para dirigir el viento de manera que el viento que sale de la guía de viento tenga otra dirección distinta del viento recibido por la guía de viento;

las guías de viento se disponen y configuran para dirigir el viento a un área delante y/o detrás del área de barrido de los rotores de turbina eólica de una manera que a través del área de barrido de dichos rotores se aumenta la velocidad del viento, **caracterizado porque** el espacio libre horizontal entre los dos extremos más cercanos de dos guías de viento contiguas es menor que la suma de la longitud de los diámetros de rotor de las dos turbinas eólicas colocadas más cerca de las dos guías de viento contiguas.

2. El sistema de parque eólico de acuerdo con el punto 1, **caracterizado porque** al menos dos guías de viento contiguas se conectan a través de sus extremos más cercanos para formar una guía de viento sustancialmente continua.

3. El sistema de parque eólico de acuerdo con cualquiera de los puntos 1-2, **caracterizado porque** las guías de viento se sitúan en suelo o sitúan en el lecho marino y están sustancialmente verticales dentro de un intervalo de +/- 10 grados.

4. El sistema de parque eólico de acuerdo con cualquiera de los puntos 1-3, **caracterizado porque** las guías de viento tienen una altura vertical entre un tercio y dos tercios de la distancia entre el suelo o la superficie del mar y la altura más baja de punta de pala del rotor de turbina eólica.

5. El sistema de parque eólico de acuerdo con cualquiera de los puntos 1-4, **caracterizado porque** la distancia entre al menos dos de las turbinas eólicas en dicho sistema de parque eólico tiene menos de 1.1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 9.5 o 10 diámetros de rotor de turbina eólica.

6. El sistema de parque eólico de acuerdo con cualquiera de los puntos 1-5, **caracterizado porque** dicho sistema de parque eólico comprende al menos dos filas de turbinas eólicas sustancialmente paralelas entre sí y ubicadas sustancialmente una detrás de la otra considerando la dirección predominante del viento, donde las guías de viento se ubican sólo en la última fila de turbinas eólicas en el sistema de parque eólico, dicha fila se ubica a sotavento con respecto a las otras filas de turbinas eólicas en el parque eólico considerando la dirección predominante del viento.

7. El sistema de parque eólico de acuerdo con cualquiera de los puntos 1-5, **caracterizado porque** dicho sistema de parque eólico comprende sólo una fila de turbinas eólicas y sólo una guía de viento que cubre al menos dos de las turbinas eólicas en una fila de turbinas eólicas.

8. El sistema de parque eólico de acuerdo con cualquiera de los puntos 1-7, **caracterizado porque** dicho sistema de parque eólico comprende al menos 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300, 350, 400, 450 o 500 turbinas eólicas.

9. El sistema de parque eólico de acuerdo con cualquiera de los puntos 1-8, **caracterizado porque** el sistema de parque eólico comprende guías de viento con diferentes alturas verticales.

10. El sistema de parque eólico de acuerdo con cualquiera de los puntos 1-9, **caracterizado porque** la distancia entre la posición de las puntas de palas de rotor de turbina eólica más bajas de los rotores de turbina eólica y los bordes superiores de las guías de viento más cercanas son diferentes dependiendo de la posición relativa de las turbinas eólicas en una fila de turbinas eólicas con una o más guías de viento.

11. El sistema de parque eólico de acuerdo con cualquiera de los puntos 1-10, **caracterizado porque** la o las guías de viento además incorporan paneles solares para permitir la producción de generación de energía híbrida eólica-solar.

12. El sistema de parque eólico de acuerdo con cualquiera de los puntos 1-11, **caracterizado porque** la o las guías de viento comprenden dispositivos de mejora del impacto visual o medios para mejorar el impacto visual causado por la o las guías de viento.

13. Un método para aumentar la producción de energía de un sistema de parque eólico que comprende al menos dos turbinas eólicas vecinas que forman al menos una fila de turbinas eólicas que es sustancialmente perpendicular a la dirección más predominante del viento y al menos dos guías de viento para guiar el viento delante de cada una de al menos dos turbinas eólicas vecinas desde una primera dirección hasta una segunda dirección;

las turbinas eólicas vecinas comprenden una torre y un rotor provisto de varias palas de rotor que definen un área de barrido del rotor;

las guías de viento comprenden una guía de viento con una longitud horizontal, al menos una altura vertical, un ancho horizontal y con al menos dos extremos, dispuestas y configuradas para recibir viento desde una altitud por debajo del área de barrido del rotor y para dirigir el viento de manera que el viento que sale de la guía de viento tenga otra dirección distinta del viento recibido por la guía de viento;

las guías de viento se disponen y configuran para dirigir el viento a un área delante y/o detrás del área de barrido de los rotores de turbina eólica de una manera que a través del área de barrido de dichos rotores se aumenta la velocidad del viento, **caracterizada porque** el espacio libre horizontal entre los dos extremos más cercanos de dos guías de viento contiguas es menor que la suma de la longitud de los diámetros de rotor de las dos turbinas eólicas colocadas más cerca de las dos guías de viento contiguas.