

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 763 383**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.05.2016 E 16170167 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2019 EP 3096006**

54 Título: **Sistema y procedimientos para controlar propagación de ruido de aerogeneradores**

30 Prioridad:

**21.05.2015 US 201514718833**

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

**28.05.2020**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)  
1 River Road  
Schenectady, NY 12345 , US**

72 Inventor/es:

**LEE, SEONGKYU**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

**ES 2 763 383 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Sistema y procedimientos para controlar propagación de ruido de aerogeneradores

5 La materia que se describe aquí se refiere, en general, a aerogeneradores y, específicamente, a la propagación de ruido creado por aerogeneradores.

10 Los aerogeneradores generalmente incluyen múltiples palas que se extienden desde un buje central. El buje está acoplado de manera giratoria a una góndola suspendida sobre el suelo por una torre. Generalmente, la góndola alberga un generador eléctrico acoplado al buje y configurado para generar energía eléctrica a medida que el viento acciona las palas para que éstas giren. Las palas del aerogenerador generalmente están diseñadas y fabricadas para transferir de manera eficiente energía eólica en movimiento de rotación, proporcionando así al generador suficiente energía de rotación para la generación de energía. Véase, por ejemplo, EP 2 469 081.

15 Las centrales eólicas generalmente consisten en múltiples aerogeneradores de este tipo distribuidos en una región geográfica determinada. El viento que pasa por la región hace que las palas asociadas a cada aerogenerador giren, generando así energía eléctrica. El ruido generado por un aerogenerador, o un grupo de aerogeneradores, puede propagarse largas distancias, en algunos casos algunos kilómetros. La propagación del sonido puede verse influenciada por condiciones ambientales tales como viento, temperatura, turbulencia atmosférica, el terreno, etc. Debido a normativas locales, la presencia de residentes cercanos u otros factores, un operario puede querer accionar uno o más aerogeneradores de manera que el nivel de ruido en uno o más receptores acústicos permanezca por debajo de un nivel de ruido especificado.

20 A continuación, se resumen ciertas realizaciones de acuerdo con el alcance de las reivindicaciones originales. Estas realizaciones no pretenden limitar el alcance de las reivindicaciones, sino que estas realizaciones sólo pretenden dar un breve resumen de posibles formas de las reivindicaciones. De hecho, las reivindicaciones pueden abarcar una variedad de formas que pueden ser similares o diferentes de las realizaciones que se exponen a continuación.

30 La presente invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

Diversas características, aspectos, y ventajas de la presente invención se entenderán mejor al leer la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos en los que símbolos similares representan elementos similares en todos los dibujos, en los cuales:

35 La figura 1 muestra un sistema de aerogenerador configurado para convertir energía eólica en energía eléctrica de acuerdo con aspectos de la presente descripción;

40 La figura 2A muestra un ajuste de inclinación de una pala de un aerogenerador de acuerdo con aspectos de la presente descripción;

La figura 2B muestra un ajuste de viraje de un sistema de aerogenerador de acuerdo con aspectos de la presente descripción;

45 La figura 3 muestra una central eólica que tiene una pluralidad de los sistemas de aerogeneradores mostrados en la figura 1 de acuerdo con aspectos de la presente descripción;

La figura 4A muestra un sistema de aerogenerador que no utiliza las técnicas descritas para dirigir el flujo de estela de acuerdo con aspectos de la presente descripción;

50 La figura 4B muestra un sistema de aerogenerador que utiliza las técnicas descritas para dirigir el flujo de estela de acuerdo con aspectos de la presente descripción;

55 La figura 5 es una gráfica que muestra del nivel de presión sonora en la dirección de un receptor acústico ilustrado frente a un alcance cuando el flujo de estela y la propagación del sonido están alineados y desalineados de acuerdo con aspectos de la presente descripción; y

La figura 6 es un diagrama de flujo para un proceso para mantener niveles de ruido en una posición determinada controlando los efectos de estela de acuerdo con aspectos de la presente descripción.

60 A continuación, se describirá una o más realizaciones específicas. En un esfuerzo por proporcionar una descripción concisa de estas realizaciones, todas las características de una implementación real pueden no haberse descrito en la memoria. Debe apreciarse que, en el desarrollo de cualquier implementación real, como en cualquier proyecto de ingeniería o diseño, deben tomarse numerosas decisiones específicas de implementación para lograr los objetivos

específicos de los desarrolladores, tal como el cumplimiento de las restricciones relacionadas con el sistema y las relacionadas con el negocio, que pueden variar de una implementación a otra. Además, debe apreciarse que tal esfuerzo de desarrollo podría ser complejo y requerir mucho tiempo, pero sería, sin embargo, una tarea rutinaria de diseño, fabricación, y manufactura para los expertos en la materia que lean esta descripción.

Al introducir elementos de diversas realizaciones de la presente invención, los artículos "un/a(s)", "uno(s)", "el/la(s)/los" y "dicho(s)/dicha(s)" pretenden significar que hay uno o más de los elementos. Los términos "que comprende", "que incluye" y "que presenta" pretenden ser inclusivos y significan que puede haber elementos adicionales además de los elementos indicados. Además, cualquier ejemplo numérico en la siguiente descripción pretende ser no limitativo y, por lo tanto, valores numéricos adicionales, rangos y porcentajes se encuentran dentro del alcance de las realizaciones descritas.

Algunos sistemas de aerogeneradores o centrales eólicas pueden estar situados cerca de comunidades u otros sitios que son sensibles al ruido. Debido a normativas locales, o a solicitudes de propietarios de terrenos cercanos, el operario de uno o más sistemas de aerogeneradores puede querer accionar los sistemas de aerogeneradores para mantener el nivel de ruido en uno o más receptores acústicos de campo lejano atribuibles a los sistemas de aerogeneradores por debajo de un nivel umbral. Poner en funcionamiento un sistema de aerogeneradores para reducir la cantidad de ruido generado puede resultar en una reducción de la cantidad de energía producida.

La forma en que el sonido se propaga desde un aerogenerador puede verse afectada por condiciones ambientales tales como el viento, la temperatura, la turbulencia atmosférica, el terreno, etc. Además, los aerogeneradores generan flujos de estela en la dirección del viento a medida que las palas de la turbina giran e interactúan con el flujo de aire que pasa. El flujo de estela del aerogenerador también puede influir en la propagación del sonido al variar la velocidad de propagación del sonido. Específicamente, el flujo de estela del aerogenerador puede afectar al perfil vertical del viento lo que, a su vez, afecta a la velocidad a la que viaja el sonido. Generalmente, cuando el flujo de estela y la propagación del ruido están alineados, los niveles de ruido aumentan. Cuando el flujo de estela y la propagación del ruido están desalineados, los niveles de ruido disminuyen. Sin embargo, debe entenderse que se trata de tendencias generales (que se abordarán con más detalle respecto a la figura 5) y que puede haber distancias específicas en direcciones específicas en las que se invierta esta tendencia. En consecuencia, el flujo de estela puede influir en la velocidad a la que se propaga el sonido desde el aerogenerador en una dirección determinada. Debido a que el flujo de estela varía al alejarse del aerogenerador, el efecto del flujo de estela en la propagación del sonido también varía con la distancia desde el aerogenerador. Las técnicas que se describen aquí pueden utilizarse para controlar los efectos de estela de un sistema de aerogeneradores, dando al operario la capacidad de afectar a la propagación del ruido del sistema de aerogenerador en una dirección determinada.

Realizando ajustes de viraje en un aerogenerador, un operario puede "dirigir" el flujo de estela para que afecte a la propagación del ruido. Dichos ajustes de viraje pueden aumentar o disminuir los niveles de ruido atribuibles al aerogenerador en un sitio sensible al ruido determinado, dependiendo de su distancia y dirección desde el aerogenerador. Si el operario realiza ajustes de viraje que alejan el flujo de estela del sitio sensible al ruido, entonces la propagación del sonido a través del flujo de estela en la dirección del sitio sensible al ruido puede reducirse. Después, el operario puede poner en funcionamiento uno o más sistemas de aerogeneradores para que produzcan más energía de la que de otra manera se permitiría, lo que da como resultado unos niveles de ruido en la comunidad cercana o sitio sensible al ruido que son iguales o inferiores a los que de otra manera se darían en sistemas de generación de energía similares sin el beneficio de los enfoques actuales.

La figura 1 es una vista frontal de un sistema de aerogenerador 10 configurado para convertir energía eólica en energía eléctrica. El sistema de aerogenerador 10 incluye una torre 12, una góndola 14 y unas palas 16. Las palas 16 están acopladas a un generador 18 dentro de la góndola 14 por medio de un buje 20 que gira con las palas 16. Las palas 16 están configuradas para convertir el flujo de aire lineal del viento en movimiento de rotación. A medida que las palas 16 giran, el acoplamiento entre el buje 20 y el generador 18 dentro de la góndola 14 acciona en rotación los componentes del generador 18, produciendo así energía eléctrica. Aunque en el sistema de aerogenerador 10 de la presente realización se incluyen tres palas 16, realizaciones alternativas pueden incluir más o menos palas 16.

Cada pala 16 incluye un borde de ataque 22 y un borde trasero 24. El flujo de aire se aplica al borde de ataque 22 y fluye hacia el borde trasero 24. Debido a la forma de las palas 16, las fuerzas aerodinámicas causadas por el flujo de aire inducen las palas 16 a girar, accionando de este modo el generador 18 para producir energía eléctrica. La eficiencia del sistema de aerogenerador 10 depende por lo menos parcialmente de la conversión del flujo de aire lineal en energía de rotación. Por lo tanto, las palas 16 están configuradas generalmente para transferir eficientemente energía eólica en movimiento de rotación. Por ejemplo, la forma de la pala puede seleccionarse para mejorar el flujo de aire sobre la pala 16 de manera que las fuerzas aerodinámicas induzcan a la pala 16 a girar. Además, las palas 16 se fabrican típicamente para que sean sustancialmente lisas, de modo que el aire pase sobre las palas 16 sin interferencia.

El sistema de aerogenerador 10 también puede incluir un controlador 26 para controlar el funcionamiento del sistema de aerogenerador 10. Por ejemplo, el controlador 26 puede controlar la velocidad de rotación (rpm) del sistema de aerogenerador 10, la inclinación de las palas 16, el viraje del sistema de aerogenerador 10, así como otros parámetros de funcionamiento. El controlador 26 puede incluir unos circuitos de control 28, que pueden incluir un procesador 30 y un componente de memoria 32. El procesador puede estar configurado para analizar datos, ejecutar programas, ejecutar instrucciones, optimizar parámetros de funcionamiento del sistema de aerogenerador 10 y controlar los parámetros de funcionamiento del sistema de aerogenerador 10. El componente de memoria 32 puede ser cualquier medio legible por ordenador no transitorio. El componente de memoria puede almacenar datos, instrucciones del procesador, programas, algoritmos de optimización, tablas de búsqueda, modelos y similares, incluyendo instrucciones del procesador para implementar los presentes enfoques que se describen aquí.

El controlador 26 puede incluir una interfaz de operario 34 o comunicarse con la misma. La interfaz de operario 34 puede incluir una pantalla 36 y/o entradas de operario 38. La pantalla puede ser una pantalla LCD, una pantalla de tubo de rayos catódicos o algún otro tipo de pantalla. En algunas realizaciones, la pantalla 36 puede ser una matriz de LEDs. Las entradas de operario 38 pueden incluir botones, mandos, diales y/o un teclado y ratón. En algunas realizaciones, la pantalla 36 y las entradas de operario 38 pueden combinarse en un único elemento (por ejemplo, una pantalla táctil). La interfaz del operario 38 permite al sistema de aerogenerador 10 comunicarse y controlar al operario y al operario comunicarse con el sistema de aerogenerador 10. Aunque los diversos componentes del controlador 26 se muestran dentro de una unidad o carcasa común con fines ilustrativos, en algunas realizaciones, los distintos componentes (tales como, por ejemplo, circuito de control 28, procesador 30, memoria 32, interfaz de operario 34, pantalla 36, entradas de operario 38, circuito de comunicación 40, etc.) pueden estar situados en más de una unidad y/o ubicación.

El controlador 26 también puede incluir unos circuitos de comunicación 40. En algunas realizaciones, los circuitos de comunicación pueden facilitar la comunicación entre el controlador y un operario (por ejemplo, a través de un dispositivo inteligente) mediante comunicación por cable o inalámbrica. En algunas realizaciones, los circuitos de comunicación 40 pueden facilitar la comunicación a través de una conexión inalámbrica o por cable, a través de un puerto 42, con una red 44. En algunas realizaciones, un sistema de control remoto 46 y/o una base de datos 48 pueden estar en comunicación con el controlador 26 a través de la red 44. El sistema de control remoto 46 puede proporcionar a un operario el control de uno o más sistemas de aerogeneradores distribuidos en una o más ubicaciones. La red 44 también puede proporcionar acceso a una o más bases de datos 48. Las bases de datos 48 pueden proporcionar al controlador 26 tablas de búsqueda, modelos de propagación de ruido, modelos meteorológicos, datos meteorológicos, normativas de ruido locales, niveles de ruido umbral deseados y similares.

Las técnicas descritas pueden incluir la gestión de la propagación del ruido ajustando la velocidad de rotación del sistema de aerogenerador 10, la inclinación de la pala 16 y el viraje del sistema aerogenerador. La velocidad de rotación del sistema de aerogenerador 10 es la velocidad a la cual giran las palas 16 y el buje 20 como resultado de la interacción de las palas 16 con el viento. La figura 2A muestra el ajuste de inclinación de la pala 16. Los ajustes de la inclinación de la pala se llevan a cabo girando la pala alrededor del eje de la pala 60 que discurre a lo largo de la misma. La figura 2B muestra el ajuste de viraje del aerogenerador. Un ajuste de viraje se lleva a cabo girando la góndola alrededor del eje de la torre 62 el cual extiende por la altura de la torre 12.

Teniendo presente la descripción anterior de un sistema de aerogenerador 10, la figura 3 es un diagrama esquemático de una multitud de dichos sistemas de aerogeneradores 10 dispuestos para funcionar juntos como parte de una central eólica 80. Las corrientes eléctricas producidas por los sistemas de aerogeneradores 10 de la central eólica 80 se envían a una red de energía eléctrica 82, proporcionando de este modo energía eléctrica a los consumidores conectados a la red 82. Además, pueden disponerse uno o más controladores 26 para controlar y/o monitorizar el funcionamiento de la central eólica 80. Dichos controladores 26 pueden proporcionarse como ordenadores de uso general u específico (u otros sistemas adecuados basados en procesadores) configurados para ejecutar código o rutinas que permitan el control y/o la monitorización de la central eólica 80 en su conjunto y/o de sistemas de aerogeneradores individuales 10 de la central eólica 80. Por ejemplo, en una realización, un controlador 26 (u otro sistema basado en procesadores) puede ejecutar lógica de control para optimizar el rendimiento, la generación de ruido, la propagación de ruido y/o cualquier otra serie de factores, tal como se describe aquí. Las técnicas descritas pueden utilizarse para controlar más de un sistema de aerogenerador 10 (por ejemplo, la central eólica 80) con el fin de controlar la propagación de ruido atribuible a más de un sistema de aerogenerador 10 o central eólica 80 en una ubicación determinada.

La figura 4A muestra un sistema de aerogenerador 10, o central eólica 80, que no ha implementado las técnicas descritas para afectar a la propagación del sonido desalineando el flujo de estela con la propagación del ruido en la dirección de un sitio sensible al ruido 104. En la figura 4A, el aire 100 va hacia el sistema de aerogenerador 10, o la central eólica 80, e interactúa con las palas 16, haciendo que las palas 16 giren. Las palas 16 que se mueven a través del aire 100 pueden generar un flujo de estela 101 y ruido 102, que se propagan alejándose del sistema de

aerogenerador 10. En algunas realizaciones, el sonido 102 puede propagarse hacia uno o más sitios sensibles al ruido 104, tales como una o más comunidades cercanas. Cuando el flujo de estela 100 y la propagación de ruido 102 están alineados en la dirección del sitio sensible al ruido 104, el sonido puede propagarse con el flujo de estela. Debe entenderse que dichos sitios sensibles al ruido 104 pueden representar cualquier ubicación o área geográfica que pueda ser sensible al ruido, incluyendo una o más entidades residenciales, comerciales o industriales, o regiones (tales como, por ejemplo, viviendas, negocios, etc.), así como sitios sensibles con el medio ambiente. Por ejemplo, dicho sitio 104 o entidad puede incluir un lugar donde viva una o más personas, una escuela, una oficina, un parque, un rancho, una granja, una reserva natural, etc. En algunas realizaciones, uno o más receptores acústicos 106 pueden estar dispuestos en los sitios sensibles 104 o cerca de los mismos para controlar los niveles de ruido en el sitio 104. Aunque la figura 4A muestra un único sitio 104 en forma de vivienda, debe entenderse que, en algunas realizaciones, el sistema de aerogenerador 10, o la central eólica 80, puede estar situado cerca de múltiples sitios sensibles 104. Como tales, las presentes técnicas pueden utilizarse para controlar el flujo de estela 101 para controlar los niveles de ruido debido al sistema de aerogenerador 10 en múltiples sitios próximos.

La figura 4A muestra que el sitio sensible 104 se encuentra situado aproximadamente a 1500 m del sistema de aerogenerador 10. Sin embargo, debe entenderse que esta distancia es simplemente un ejemplo y pretende comunicar que las técnicas que se describen están relacionadas con la propagación del sonido de campo lejano. En general, el alcance de campo lejano es la distancia desde el sistema de aerogenerador 10 en el que los efectos ambientales (tales como, por ejemplo, viento, temperatura, atmósfera) tienen un efecto no despreciable en la propagación del sonido. Para el campo cercano, los efectos ambientales son insignificantes. Aunque existen muchas maneras diferentes de determinar dónde comienza el alcance de campo lejano, por simplicidad, se supone que el alcance de campo lejano comienza aproximadamente entre 450 y 500 metros del sistema de aerogenerador más cercano. La figura 4B muestra un sistema de aerogenerador 10, o central eólica 80, que implementa las técnicas de gestión de estela que se describen para desalinear el flujo de estela y la propagación del sonido 102 en la dirección del sitio sensible 104. Tal como se describirá con más detalle más adelante, el controlador 26 del sistema de aerogenerador 10 puede ajustar una o más de las velocidades de rotación (rpm) del sistema de aerogenerador 10, el viraje del sistema de aerogenerador 10, o la inclinación de las palas 16 para gestionar los efectos de estela y desalinear el flujo de estela 101 y la propagación del sonido. Normativas locales o deseos de los residentes en el sitio 104 pueden requerir que los niveles de ruido en el sitio debido al sistema de aerogenerador 10 o la central eólica 80 se mantengan por debajo de un nivel umbral. En la realización mostrada en la figura 4A, en la que el flujo de estela 101 y la propagación de ruido 102 están alineados en la dirección del sitio 104, puede utilizarse una operación de ruido reducido (NRO) para reducir el ruido general producido por el sistema de aerogenerador 10. Las técnicas de NRO típicamente incluyen ajustar la inclinación de la pala 16 o la velocidad de rotación del sistema de aerogenerador 10. Las técnicas de NRO pueden reducir la cantidad de energía generada por el sistema de aerogenerador 10.

Ajustando el viraje del sistema de aerogenerador 10, además de la velocidad de rotación y la inclinación de la pala, para desalinear la propagación de ruido 102 y el flujo de estela 101 en la dirección del sitio 104, tal como se muestra en la figura 4B, el controlador 26 puede ajustar la configuración del sistema de aerogenerador 10 para reducir los niveles de ruido en el sitio 104 en comparación con la situación en la figura 4A o generar más ruido (y más potencia) de lo que sería permisible en la situación mostrada en la figura 4A, y todavía cumplir con normativas locales. El controlador 26 en el ejemplo mostrado en la figura 4B puede entonces dirigir el flujo de estela 101 de manera que esté desalineado con la propagación de ruido 102 en la dirección del sitio sensible al ruido 104, dando como resultado que el nivel de ruido detectado en el receptor acústico 106 sea igual o menor que el ruido detectado en el ejemplo mostrado en la figura 4A. Como tales, las técnicas descritas pueden permitir que el sistema de aerogenerador 10 genere más potencia sin un aumento del ruido detectado por los sitios sensibles cercanos 104.

La figura 5 muestra una gráfica de muestra 130 del nivel de presión sonora (SPL) en la dirección de un receptor acústico cuando el flujo de estela está alineado con la propagación del sonido y cuando el flujo de estela está desalineado con la propagación del sonido. El eje x 132 representa el alcance, en metros, del sistema de aerogenerador 10. El eje y representa el SPL en decibelios ponderados A (dBA). La curva 136 muestra el SPL cuando el flujo de estela y la propagación del sonido están desalineados, tal como se muestra en la figura 4B. La curva 137 muestra el SPL cuando el flujo de estela y la propagación del sonido están alineados, tal como se muestra en la figura 4A. Las curvas 136 y 137 son el SPL en dBA en el rango determinado desde el sistema de aerogenerador 10, en la dirección de interés (por ejemplo, la dirección desde el sistema de aerogenerador 10 hacia el sitio 104 o los receptores acústicos 106). Hay que tener en cuenta que, entre 0 y 1500 m, el SPL generalmente es más bajo cuando el flujo de estela y la propagación del sonido están desalineados. Entre aproximadamente 1500 m y 2500 m, el SPL de la curva 137 (flujo de estela y propagación del sonido alineados) es menor que el SPL de la curva 136 (flujo de estela y propagación del sonido desalineados). Por consiguiente, en el ejemplo específico de la figura 5, un sitio sensible al ruido 104 situado entre 1500 m y 2500 m del sistema de aerogenerador 10 probablemente experimentará niveles de ruido más bajos cuando el flujo de estela y la propagación del sonido están alineados. La distancia a la que se produce esta variación, es decir, la distancia en la dirección del viento descendente a la que el efecto de un flujo de estela alineado sobre los niveles de ruido en el sitio 104 varía respecto

al estado desalineado, se denomina punto de inflexión 138. Si el punto de interés (receptor acústico 106 o sitio 104) se encuentra antes del punto de inflexión, el ajuste de viraje o la reducción de modos de NRO pueden ser útiles para controlar la propagación del sonido. Si el punto de interés (receptor acústico 106 o sitio sensible al ruido 104) se encuentra después del punto de inflexión, un aumento de los modos de NRO puede ser útil para aumentar la potencia de salida del aerogenerador sin dejar de cumplir las normativas de ruido.

La figura 6 es un diagrama de flujo de un proceso 160 para mantener los niveles de ruido en una ubicación determinada mediante el control de los efectos de estela de uno o más sistemas de aerogeneradores 10. En algún momento antes de implementar las técnicas descritas, se generan o se actualizan tablas de búsqueda o modelos para los perfiles de estela y la propagación del sonido. Esto puede realizarse en cualquier momento antes de intentar controlar la propagación del ruido de un determinado sistema de aerogenerador 10 (por ejemplo, horas, días, semanas, meses o años antes de intentar controlar la propagación del ruido de un determinado sistema de aerogenerador 10). La una o más tablas o modelos de búsqueda pueden almacenarse localmente o remotamente desde un sistema de aerogenerador determinado, tal como en la memoria 32 del controlador 26, por el sistema de control remoto 46 o la base de datos 48. La una o más tablas de búsqueda o los modelos pueden actualizarse manualmente, remotamente o mediante actualización de software.

En el bloque 162, se rellenan o se actualizan una o más tablas o modelos de búsqueda que predicen perfiles de estela en función de unas condiciones climáticas determinadas. En algunas realizaciones, las condiciones climáticas pueden incluir cizalladura del viento, velocidad del viento, temperatura, humedad, presión barométrica, cualquier combinación de las mismas, u otras condiciones climáticas. Las tablas o modelos de búsqueda pueden completarse utilizando datos determinados experimentalmente, por modelo, una mezcla de ambos, o de alguna otra manera. Por ejemplo, dada la distancia y la dirección de un receptor acústico, así como las condiciones climáticas locales, una tabla de búsqueda o modelo puede generar una estimación de los perfiles de estela para diversas condiciones climáticas.

En el bloque 164, se rellenan o se actualizan una o más tablas o modelos de búsqueda que predicen la propagación del sonido en función de los perfiles de estela determinados. Por ejemplo, dados los perfiles de estela que se obtienen de las tablas de búsqueda o modelos en el bloque 162, la frecuencia y la dirección de los sitios sensibles 104 o el receptor acústico 106 de interés, la tabla de búsqueda puede generar una ecuación, tabla o gráfica del SPL respecto a la distancia, similar a la gráfica mostrada en la figura 5. En algunas realizaciones, puede utilizarse una sola tabla de búsqueda o modelo para predecir tanto perfiles de estela como de propagación del sonido en base a datos meteorológicos, combinando efectivamente los bloques 162 y 164 en un solo bloque.

En el bloque 166, el proceso 160 obtiene datos meteorológicos actuales o pronosticados, que pueden ser indicativos de una o más condiciones climáticas de alrededor del sistema de aerogenerador 10. A los datos meteorológicos puede accederse desde el sistema de control remoto 46, desde la base de datos 48, o extraerse de Internet a través de la red 44. Los datos meteorológicos pueden actualizarse periódicamente y, por lo tanto, pueden obtenerse mediante el proceso 160 una vez por minuto, una vez cada 5 minutos, una vez cada 15 minutos, una vez cada 30 minutos, una vez cada hora, una vez cada 2 horas, o 2, 4, 6, 8 o 10 veces al día, o cualquier intervalo de tiempo mayor, menor o entre los intervalos indicados. Alternativamente, los datos meteorológicos también pueden obtenerse al recibir una instrucción de actualización manual, por ejemplo, cuando lo indique un operario. En algunas realizaciones, el proceso 160 puede configurarse para obtener datos meteorológicos con más frecuencia cuando el clima esté sujeto a cambios repentinos (por ejemplo, cuando se pronostica que por el sistema de aerogenerador 10 pasará un frente). Los datos meteorológicos pueden incluir cizalladura del viento, velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, humedad, presión barométrica o cualquier otra información meteorológica.

En el bloque 168, el proceso 160 estima los perfiles de estela del aire 100 después de interactuar con las palas 16 del sistema de aerogenerador 10. En algunas realizaciones, los datos meteorológicos obtenidos por el proceso 160 en el bloque 166 se conectan a una o más tablas de búsquedas en el bloque 162 utilizando datos experimentales, modelos o algún otro procedimiento. En otras realizaciones, los datos meteorológicos obtenidos por el proceso 160 en el bloque 166 se introducen en uno o más modelos para estimar los perfiles de estela. En algunas realizaciones, el modelo o la tabla de búsqueda pueden basarse únicamente en datos meteorológicos. En otras realizaciones, el modelo o la tabla de búsqueda pueden tener en cuenta la velocidad de rotación (rpm) del sistema de aerogenerador 10, la inclinación de las palas, u otros parámetros operativos del sistema de aerogenerador 10. Por ejemplo, dada la distancia y dirección de un receptor acústico, así como las condiciones climáticas locales, la tabla de búsqueda o el modelo pueden generar una estimación de los perfiles de estela.

En el bloque 170, los perfiles de estela derivados en el bloque 168 se utilizan para estimar la propagación del sonido del sistema de aerogenerador 10. Tal como se ha mencionado anteriormente, en algunas realizaciones, los perfiles de estela y la propagación del sonido pueden estimarse utilizando una sola tabla de búsqueda o modelo, combinando efectivamente los bloques 168 y 170. En algunas realizaciones, el bloque 170 puede producir un mapa o predicción bidimensional o tridimensional para determinar cómo se propaga el sonido del sistema de

aerogenerador desde el sistema aerogenerador. En otras realizaciones, el bloque 170 puede sólo considerar la propagación del sonido en uno o más receptores acústicos 106, sitios sensibles 104 u otros puntos de interés. Por ejemplo, dada la salida de los perfiles de estela de las tablas de búsqueda o modelos en el bloque 162, así como la dirección del sitio 104 o el receptor acústico 106 de interés, la tabla de búsqueda puede generar una ecuación, tabla o gráfica del SPL respecto a la distancia, similar a la gráfica mostrada en la figura 5.

En el bloque 172, el proceso 160 determina el punto de inflexión de ruido 138. Tal como se ha descrito respecto a la figura 5, el punto de inflexión 138 puede determinarse examinando el SPL en una dirección determinada (por ejemplo, la dirección del sitio 104 o los receptores acústicos 106) a unas distancias de campo lejano del sistema de aerogenerador 10, o comparando niveles de ruido cuando el flujo de estela y la propagación del sonido están alineados y desalineados. Tal como puede apreciarse en la figura 5, el punto de inflexión es la distancia en la dirección del viento descendente en la que el efecto del flujo de estela alineado sobre los niveles de ruido en el sitio 104 varía respecto al flujo de estela desalineado. En el bloque 172, el proceso 160 determina el alcance en que se produce el punto de inflexión 138.

En la decisión 174, el proceso 160 determina si el receptor acústico 106 o el sitio 104 de interés se encuentra dentro del alcance del punto de inflexión 138. Es decir, si el punto de inflexión 138 ocurre a una distancia conocida del sistema de aerogenerador 10, ¿el receptor acústico 106 o el sitio de interés 104 se encuentra en esa distancia o fuera de esa distancia? Si el receptor acústico 106 o el sitio de interés 104 se encuentra dentro del punto de inflexión 138, el proceso 160 pasa al bloque 176, en el que el proceso 160 dirige el flujo de estela con ajustes de viraje y/o reduce los modos de NRO. En algunas realizaciones, el ajuste de viraje puede ser en incrementos de 0,1 grados, 0,5 grados, 1 grados, 2 grados, 5 grados, o 10 grados, o cualquier otro incremento. Al realizar ajustes de viraje en el sistema de aerogenerador 10, el proceso 160 puede ajustar el ángulo en el que el viento 100 incide en las palas 16, lo que, a su vez, afecta a los perfiles de estela. Por lo tanto, al realizar ajustes de viraje en el sistema de aerogenerador 10, el proceso 160 o el controlador 26 pueden desalinearse el flujo de estela y la propagación del ruido en la dirección del sitio 104 o el receptor acústico de interés, lo que puede reducir el nivel de ruido. En algunas realizaciones, el bloque 176 puede incluir la acción de que el procesador que genere o modifique una señal de viraje, una señal de rpm o una señal de inclinación de la pala.

Si, por otra parte, el receptor acústico 106 o el sitio 104 de interés se encuentra fuera de la distancia del punto de inflexión 138, el proceso 160 pasa al bloque 178 y aumenta los modos de operación de ruido reducido (NRO) para aumentar la potencia del sistema de aerogenerador mientras los niveles de ruido en el receptor acústico 106 o el sitio de interés 104 se mantienen por debajo de los niveles requeridos. Aumentar los modos de NRO puede incluir ajustes en la velocidad de rotación (rpm) del sistema de aerogenerador 10 y el ángulo de inclinación de las palas 16. En algunas realizaciones, el bloque 178 puede incluir la acción de que el procesador 30 genere o modifique una señal de rpm o una señal de inclinación de la pala.

Por ejemplo, supóngase que un sistema de aerogenerador 10 se encuentra situado a 1500 metros de una ciudad con unas normativas de ruido que requieren que el ruido audible del sistema de aerogenerador 10 en un receptor acústico 106 dado no supere los 30 dBA. Sin realizar ajustes de viraje, el operario de la turbina probablemente ajustaría los modos de NRO, lo que limitaría el ruido (y probablemente la potencia) producido por el sistema aerogenerador, sin ninguna capacidad para dirigir el flujo de estela y desalinearse el flujo de estela y la propagación del sonido, de modo que el receptor acústico que se encuentra en la ciudad mida menos de 30 dBA. Sin embargo, utilizando ajustes de viraje para dirigir el flujo de estela, el operario puede poner en funcionamiento la turbina para producir más ruido (y probablemente más potencia), y después desalinearse el flujo de estela y la propagación de ruido, de modo que el nivel de ruido en el receptor acústico relevante 106 atribuible al aerogenerador sea inferior a 30 dBA. En tal realización, por ejemplo, una ubicación similar a 1500 metros de distancia en la dirección en la que el flujo de estela y la propagación del sonido están alineados, puede experimentar un nivel de sonido de 60 dBA. Debido a que no hay sensibilidad al sonido en esta ubicación, no es un problema para el operario del sistema de aerogenerador 10. En consecuencia, la combinación de realizar ajustes de viraje y ajustar los modos de NRO permite que un operario ponga en funcionamiento uno o más sistemas de aerogeneradores 10 para producir más ruido y probablemente más potencia de la que de otra forma se permitiría, y después dirigir el ruido lejos de la zona sensible.

Con el receptor acústico 106 o el sitio de interés 104 situado antes o después del punto de inflexión 138, el proceso pasa a la decisión 180 y estima los niveles de ruido en uno o más receptores acústicos 106 o sitios de interés 104. Si los niveles de ruido estimados se encuentran por debajo de los niveles umbral, el proceso 160 pone en funcionamiento el sistema de aerogenerador 10 de acuerdo con los parámetros determinados en el bloque 176 o 178 hasta que haya nuevos datos meteorológicos disponibles o hasta que sea hora de obtener nuevos datos meteorológicos. En algunas realizaciones, si los niveles de ruido estimados no se encuentran por debajo de los niveles umbral, el proceso 160 puede optimizarse volviendo al bloque 174. El proceso 160 puede configurarse para volver al bloque 174 para reoptimización siempre que se necesite una reoptimización, o si sólo son necesarios pequeños ajustes en el sistema de aerogenerador 10.

5 En algunas realizaciones, si los niveles de ruido estimados se encuentran por encima de los niveles umbral, el proceso 160 vuelve a optimizarse volviendo al bloque 168 donde los perfiles de estela se recalculan en función de los nuevos parámetros de funcionamiento determinados en los bloques 176 y 178. Algunas realizaciones pueden configurarse para reoptimizar volviendo al bloque 168 cada vez a través del proceso 160. Otras realizaciones pueden volver al bloque 168 cuando el bloque 176 o el bloque 178 dan como resultado cambios sustanciales (por ejemplo, por encima de un umbral) en la velocidad de rotación, inclinación de la pala, o viraje. El proceso 160 puede entonces proceder a recalcularse la propagación del sonido (bloque 170), determinar el punto de inflexión del ruido (bloque 172) y realizar ajustes en el sistema de aerogenerador (bloques 176 y 178). El proceso 160 vuelve a calcular si los niveles de ruido estimados en uno o más receptores acústicos 106 o sitios de interés 104 se encuentran por debajo de los niveles umbral. Si los niveles de ruido estimados no se encuentran por debajo de los niveles umbral, el proceso 160 puede volver a pasar por el proceso de optimización. Si los niveles de ruido estimados se encuentran por debajo de los niveles umbral, el proceso 160 pone en funcionamiento el sistema de aerogenerador 10 de acuerdo con los parámetros determinados en los bloques 176 y 178 hasta que haya nuevos datos meteorológicos disponibles o hasta que sea hora de obtener nuevos datos meteorológicos.

20 Para mayor claridad, la figura 6 muestra una realización para dirigir el flujo de estela de un único sistema de aerogenerador en relación con la propagación del sonido en la dirección de un único sitio sensible al ruido 104 o receptor acústico 106. Sin embargo, debe entenderse que pueden utilizarse las mismas técnicas para controlar más de un sistema de aerogenerador 10 (por ejemplo, una central eólica) y/o dirigir flujos de estela para alinear o desalinearse el flujo de estela respecto a la propagación del sonido en la dirección de múltiples sitios sensibles al ruido 104 o receptores acústicos 106.

25 Las técnicas descritas aquí pueden utilizarse para dirigir u orientar los flujos de estela de uno o más sistemas de aerogeneradores para afectar a la propagación del ruido en la dirección de comunidades o sitios cercanos que son sensibles al ruido. Utilizando estas técnicas, un operario de uno o más sistemas de aerogeneradores puede poner en funcionamiento uno o más sistemas de aerogeneradores para generar más ruido (y probablemente más potencia) de lo que de otra manera sería posible, y después reducir el ruido en la comunidad o sitio sensible al ruido tal que el ruido atribuible a uno o más sistemas de aerogeneradores, tal como lo percibe la comunidad, no aumente.

30 Esta descripción escrita utiliza ejemplos para describir la invención, incluyendo el modo preferido, y también para permitir que cualquier persona experta en la materia ponga en práctica la invención, incluyendo la fabricación y uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incluido. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones.

35

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento (160) de control de un aerogenerador (10), que comprende:
- 5           obtener (166) datos meteorológicos indicativos de una o más condiciones climáticas en el aerogenerador (10);  
 estimar (168) perfiles de estela en base a los datos meteorológicos obtenidos;  
 estimar (170) propagación del sonido en una dirección de un receptor acústico (106) en base a los perfiles de  
 estela estimados;  
 10          identificar (172) un punto de inflexión (138) en la propagación del sonido estimada, en el que el punto de inflexión  
 (138) se encuentra a una distancia en la dirección del receptor acústico (106) en el que un nivel de ruido se  
 vuelve más bajo cuando los perfiles de estela están alineados con la propagación del sonido que cuando los  
 perfiles de estela están desalineados con la propagación del sonido;  
 optimizar el funcionamiento del aerogenerador (10), que comprende:
- 15           ajustar (182) una señal de viraje si el receptor acústico (106) se encuentra antes del punto de inflexión (138),  
 en el que la señal de viraje controla el viraje de una góndola (14) respecto a una torre (12); y  
 aumentar un modo de funcionamiento de ruido reducido (NRO) si el receptor acústico (106) se encuentra  
 después del punto de inflexión (138);
- 20           estimar el nivel de ruido en el receptor acústico (106); y  
 reoptimizar el funcionamiento del aerogenerador (10) si el nivel de ruido estimado en el receptor acústico (106)  
 supera un nivel de ruido umbral.
2. Procedimiento (160) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que la estimación (168) de  
 25          perfiles de estela se realiza utilizando una primera tabla de búsqueda, y la estimación (170) de la propagación del  
 sonido se realiza utilizando una segunda tabla de búsqueda.
3. Procedimiento (160) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de  
 que comprende, además:
- 30           generar una señal de inclinación de la pala, en el que la señal de inclinación de la pala controla la inclinación de  
 una pluralidad de palas (16) del aerogenerador (10);  
 generar una señal de rpm, en el que la señal de rpm controla una velocidad de rotación de la pluralidad de palas  
 (16) alrededor de un buje (20); y  
 35          ajustar una o ambas señales de inclinación de la pala y la señal de rpm si el nivel de ruido estimado en el sitio  
 sensible al ruido supera el nivel de ruido umbral.
4. Procedimiento (160) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de  
 que los datos meteorológicos comprenden cizalladura del viento.
- 40          5. Procedimiento (160) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de  
 que comprende:
- 45           reducir un modo de operación de ruido reducido (NRO) si el sitio sensible al ruido se encuentra antes del punto  
 de inflexión (138); y  
 aumentar el modo de NRO si el sitio sensible al ruido se encuentra después del punto de inflexión (138).
6. Procedimiento (160) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de  
 que el sitio sensible al ruido comprende uno o más receptores acústicos (106) configurados para detectar el nivel de  
 50          ruido en el sitio sensible al ruido.
7. Procedimiento (160) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de  
 que la optimización del funcionamiento del aerogenerador (10) comprende uno o ambos de:
- 55           ajustar una señal de inclinación de la pala, en el que la señal de inclinación de la pala controla la inclinación de  
 una pluralidad de palas del aerogenerador (10); y  
 ajustar una señal de rpm, en el que la señal de rpm controla una velocidad de rotación de la pluralidad de palas  
 alrededor de un buje.
- 60          8. Procedimiento (160) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de  
 que optimizar el funcionamiento del aerogenerador (10) comprende reducir el modo de NRO si el receptor acústico  
 se encuentra antes del punto de inflexión y aumentar el modo de NRO si el receptor acústico se encuentra después  
 del punto de inflexión.

9. Procedimiento (160) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de los datos meteorológicos comprenden perfil de temperaturas.
- 5 10. Procedimiento (160) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el ajuste de la señal de viraje está configurado para dirigir el flujo de estela alejándose del receptor acústico.
11. Sistema de control (26) para un aerogenerador (10), que comprende:
- 10 circuitos de comunicación (40), conectados de manera comunicativa a una red (44), configurados para obtener datos meteorológicos indicativos de una o más condiciones climáticas en el aerogenerador (10); y un procesador (30) configurado para implementar el procedimiento (160) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 15 12. Sistema de control (26) de la reivindicación 11, caracterizado por el hecho de que el procesador (30) está configurado para:
- 20 generar una señal de inclinación de la pala, en el que la señal de la inclinación de la pala controla la inclinación de una pluralidad de palas (16) del aerogenerador (10);  
generar una señal de rpm, en el que la señal de rpm controla una velocidad de rotación de la pluralidad de palas alrededor de un buje (20); y  
modificar una o ambas señales de inclinación de la pala o la señal de rpm si el nivel de ruido en el receptor acústico (106) supera el nivel de ruido umbral.
- 25 13. Sistema de control (26) de acuerdo con la reivindicación 11 o la reivindicación 12, caracterizado por el hecho de que el procesador (30) está configurado para:
- 30 identificar el punto de inflexión (138) en la propagación del sonido de campo lejano estimada; y  
aumentar el modo de operación de ruido reducido (NRO) si el receptor acústico (106) se encuentra después del punto de inflexión.
14. Sistema de control (26) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, caracterizado por el hecho de que la estimación de perfiles de estela y la propagación del sonido de campo lejano incluye el uso de una o más tablas de búsqueda.
- 35 15. Sistema de control (26) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, caracterizado por el hecho de que el receptor acústico (106) se encuentra dispuesto dentro o cerca de una comunidad.
- 40 16. Sistema de control (26) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, caracterizado por el hecho de que el nivel umbral de ruido está determinado por una o más normativas de la comunidad.
17. Sistema de control (26) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, caracterizado por el hecho de que la modificación de la señal de ajuste de viraje está configurada para dirigir el flujo de estela alejándose del receptor acústico (106).
- 45

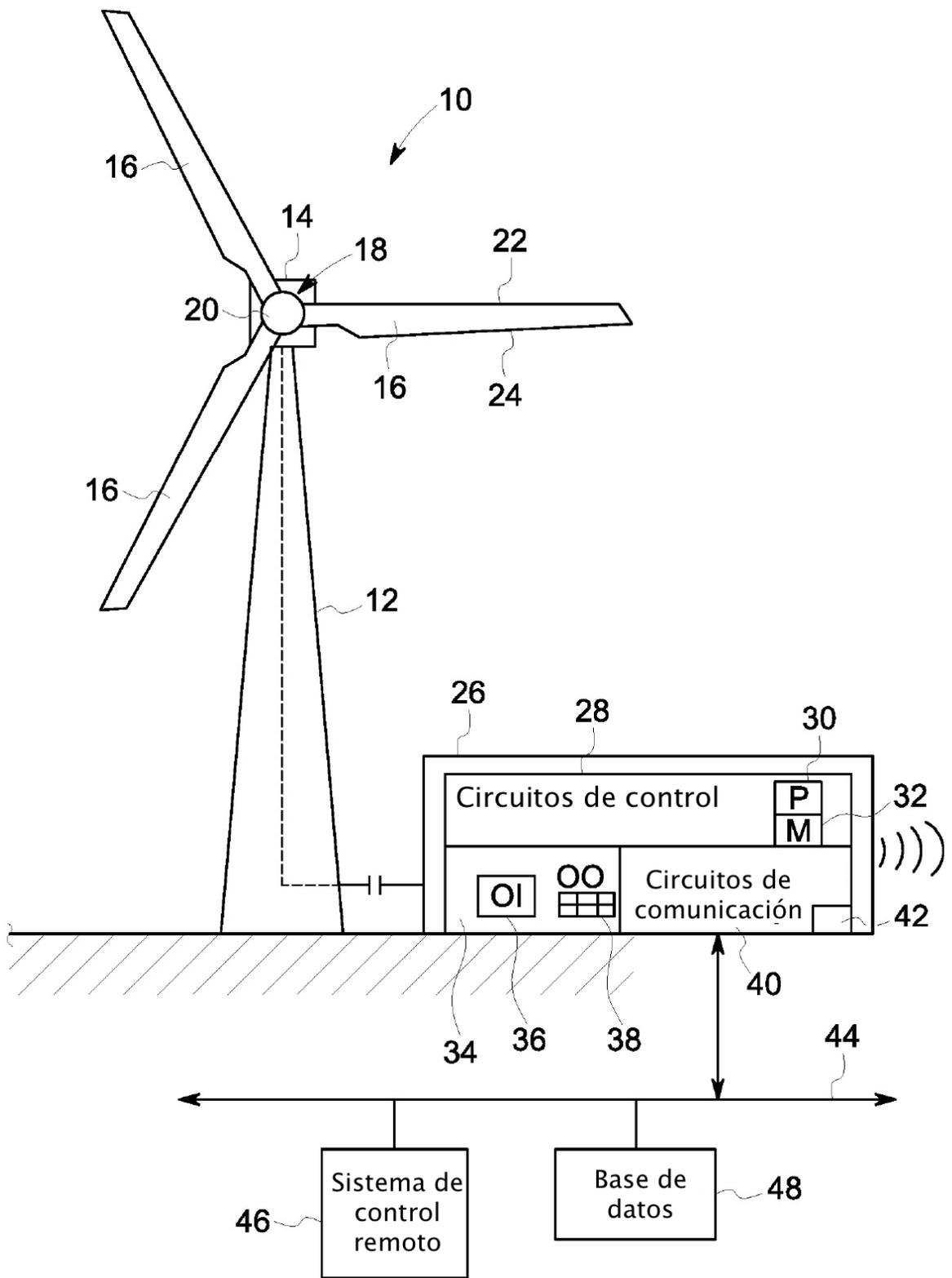


FIG. 1

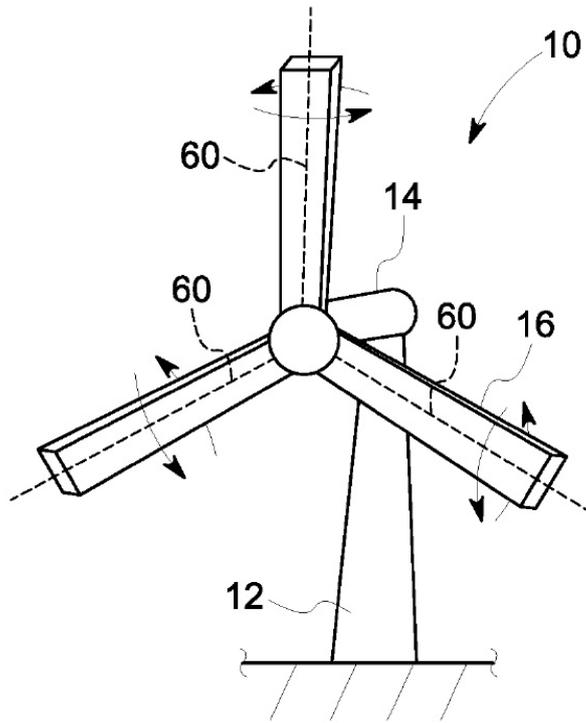


FIG. 2A

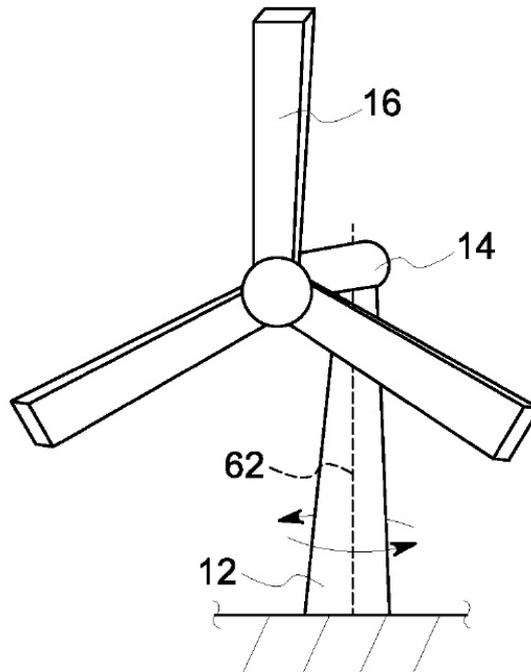


FIG. 2B

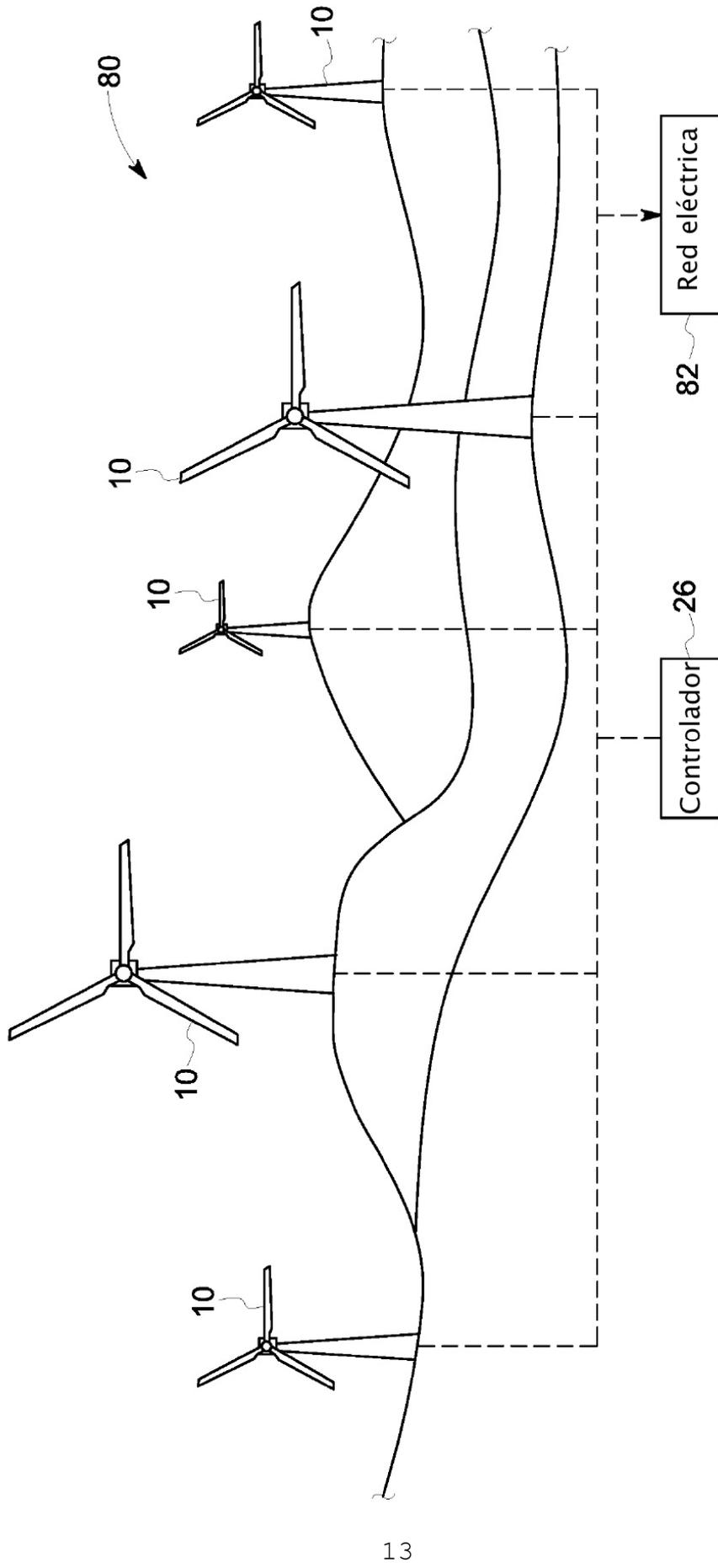


FIG. 3

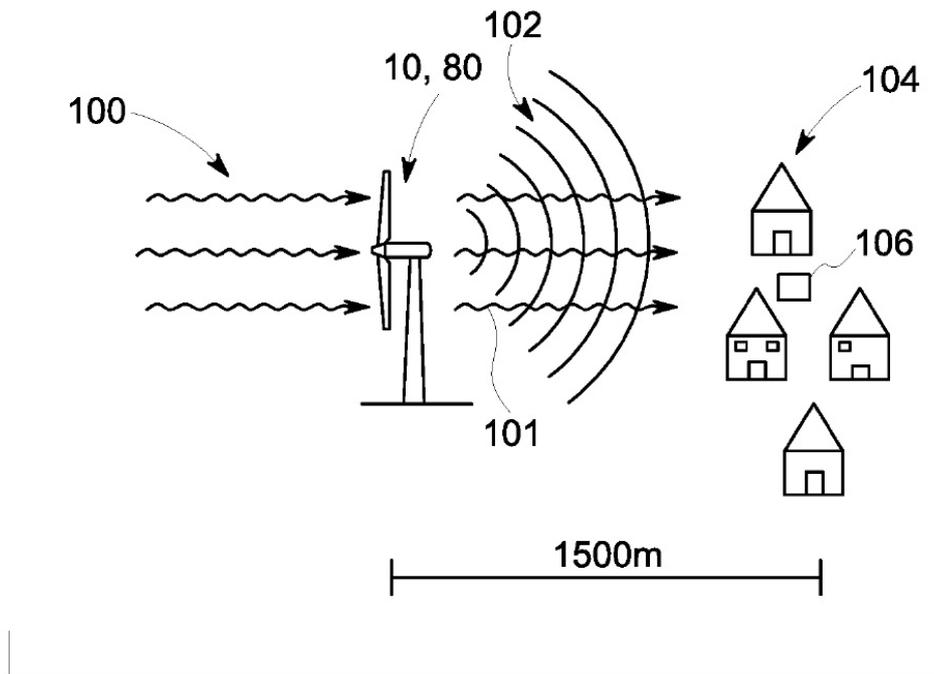


FIG. 4A

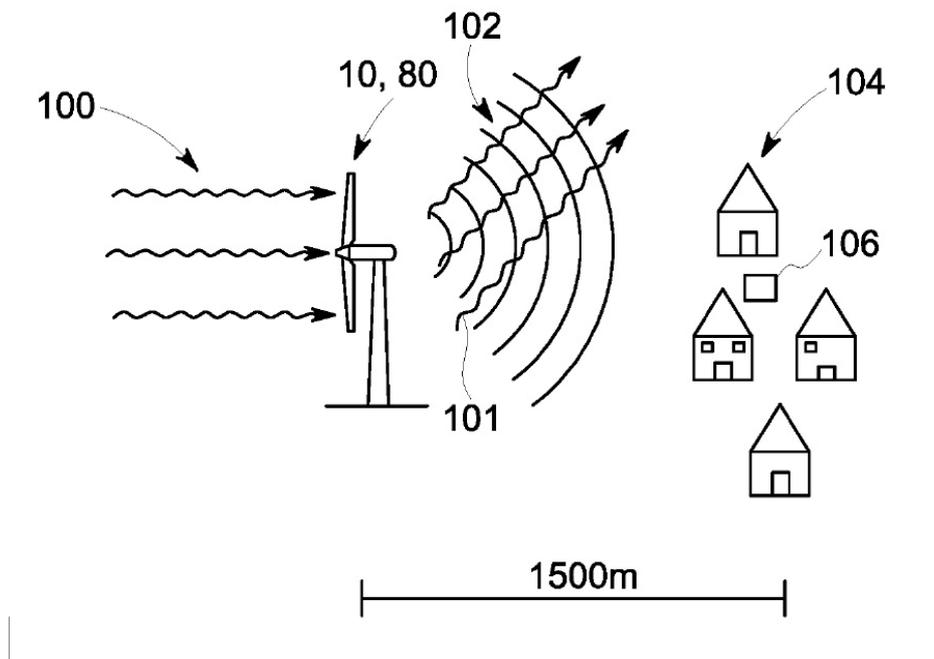


FIG. 4B

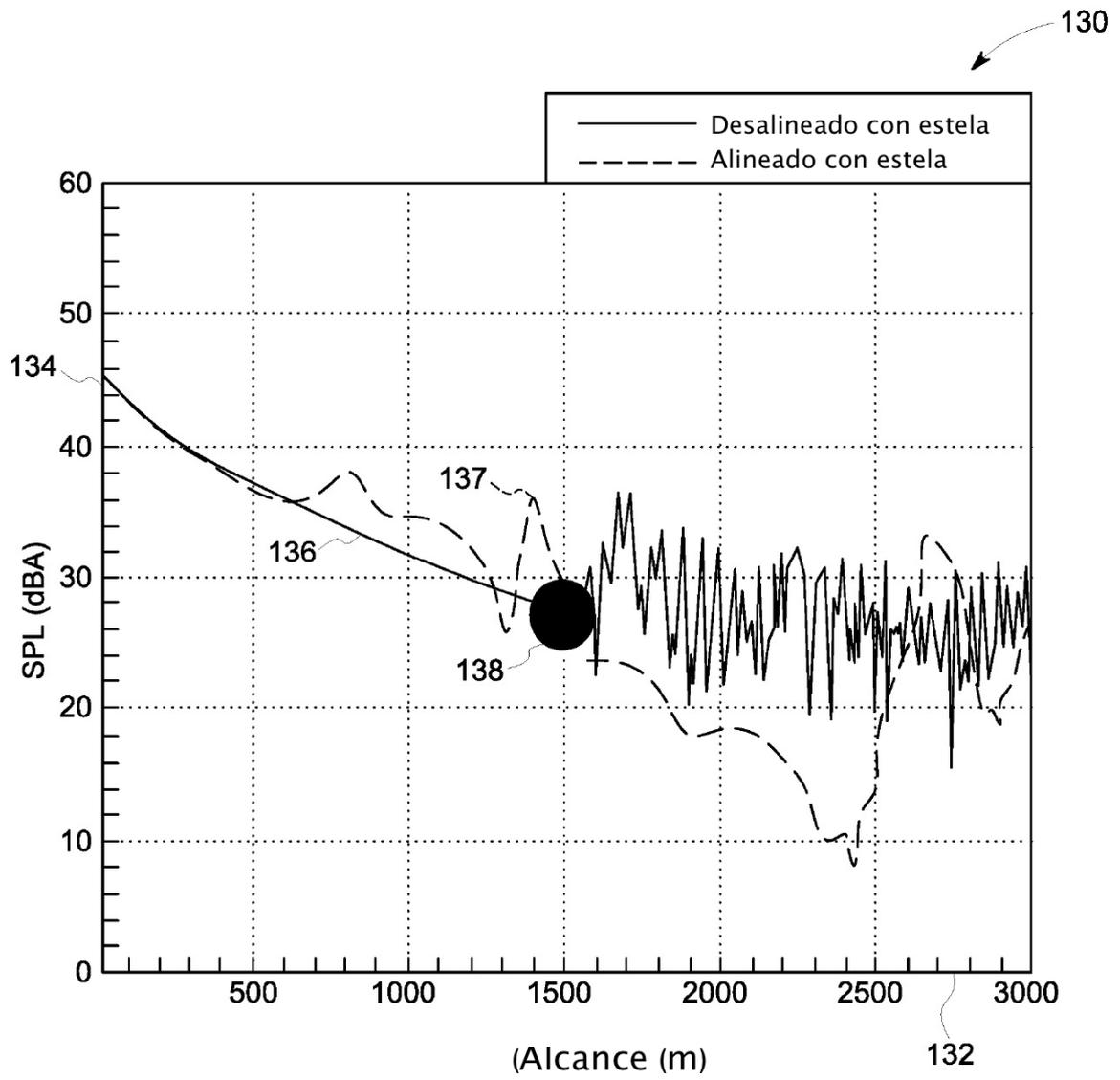


FIG. 5

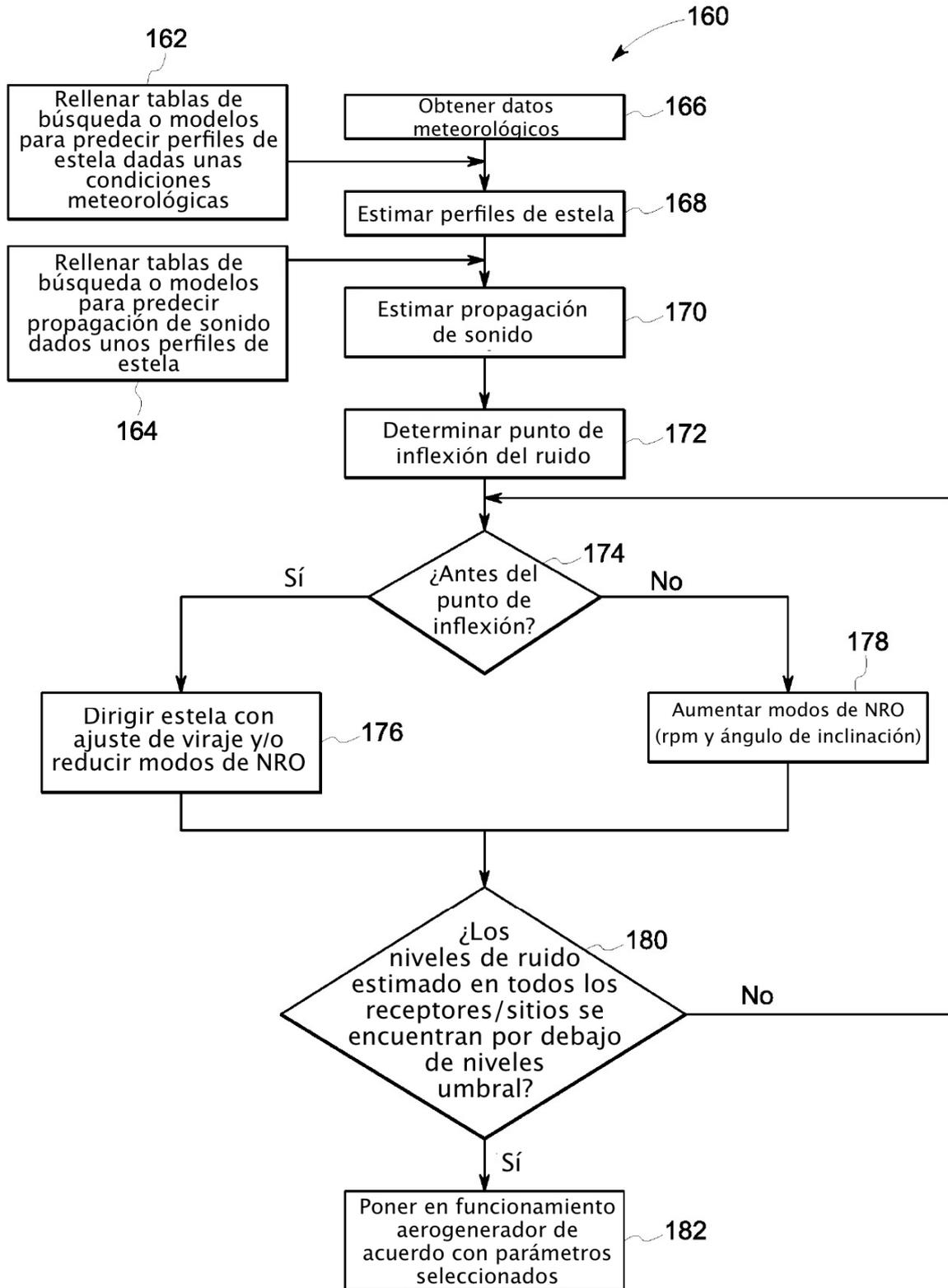


FIG. 6

**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

5 *Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.*

**Documentos de patentes citados en la descripción**

10

- EP 2469081 A [0002]