

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 972 694**

51 Int. Cl.:

F03D 13/20

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.09.2019** **PCT/DK2019/050273**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.03.2020** **WO20057706**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.09.2019** **E 19863707 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.02.2024** **EP 3853473**

54 Título: **Aerogenerador que tiene una estructura de torre circular y cónica con medios de control de flujo pasivos y uso de dicho aerogenerador**

30 Prioridad:

19.09.2018 DK PA201870610

13.12.2018 DK PA201870814

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

14.06.2024

73 Titular/es:

ENVISION ENERGY (DENMARK) APS (100.0%)
Randersvej 2a
8600 Silkeborg, DK

72 Inventor/es:

FRYDENDAL, IB y
GRABAU, PETER

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 972 694 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

Aerogenerador que tiene una estructura de torre circular y cónica con medios de control de flujo pasivos y uso de dicho aerogenerador

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a un aerogenerador que tiene una estructura de torre circular y cónica con medios de control de flujo pasivos para suprimir las vibraciones inducidas por vórtices en dicha estructura de torre. La invención comprende, además, el uso de dicho aerogenerador.

Antecedentes de la invención

- 10 Es bien sabido que los aerogeneradores tendrán torres más altas y que esto causa problemas con las vibraciones inducidas por vórtices en la torre, especialmente durante la instalación, antes de instalar la góndola.

Estos problemas en las torres de aerogeneradores y los problemas correspondientes en otras estructuras circulares se resuelven actualmente con medios de control activos o con medios pasivos como, por ejemplo, crestas con forma espiral en las chimeneas.

- 15 Cuando más altas son las torres de los aerogeneradores, más problemas se producen con las vibraciones de primer y segundo modos en las torres.

Se conocen por los álabes de los aerogeneradores y por las alas de los aviones unidades generadoras de vórtice que tienen forma triangular. Estas funcionarán con una orientación bien definida del viento que pasa por el generador de vórtice e influirán en la capa límite en torno al álabes o ala. Estas unidades generadoras de vórtice se utilizan para reducir el ruido.

- 20 El documento US 4059129 A1 describe un cuerpo cilíndrico provisto de medios para contrarrestar las vibraciones resultantes de un fluido que fluye transversalmente. El documento US 2006/054073 A1 describe un aparato y un método para reducir los vórtices en la estela de un miembro marino. La divulgación de UGUR ORAL UNAL ET AL., Exp Fluids (2010), 48: 1059-1079, DOI 10.1007/s00348-009-0791-6 describe una investigación experimental sobre el efecto de los generadores de vórtice sobre el flujo de estela cercana de un cilindro circular. Los documentos
25 WO 2018/149527 A1 y JP S5483230 U se refieren a una estructura de edificio con medios para reducir las vibraciones inducidas.

Propósito de la invención

- 30 Es un propósito de la invención proporcionar una solución en la que una estructura de torre de un aerogenerador esté provista de medios de control de flujo pasivos para resolver los problemas anteriores con vibraciones inducidas por vórtices.

Descripción de la invención

- Según la presente invención, este propósito se logra con un aerogenerador que tiene una estructura de torre circular y cónica y que tiene la particularidad de que dichos medios de control de flujo pasivos comprenden unidades generadoras de vórtice, cada una de las cuales comprende una aleta y una base a través de la cual la aleta está unida
35 a la superficie de la estructura de la torre con el fin de influir en la capa límite en torno a la estructura de la torre y suprimir así las vibraciones inducidas por vórtices, y cada una de dichas aletas comprende una placa rectangular que está dispuesta de forma sustancialmente radial en relación con la estructura de torre circular o cónica, y cada una de las aletas está dispuesta formando un ángulo entre 0° y 30° con el plano que es perpendicular a un eje longitudinal a través de la estructura de la torre, de tal modo que las unidades generadoras de vórtice cubren más del 30% de la
40 parte superior de la altura de la torre de aerogenerador.

Sobre una cimentación se montará una torre de aerogenerador. La torre de aerogenerador puede montarse sobre el suelo, en una cimentación o una estructura de pilotes en tierra, o puede montarse mar adentro, sobre una cimentación que puede ser una estructura flotante o una estructura marina de fondo fijo.

La estructura de la torre comprende un tramo inferior circular y un tramo superior cónico.

- 45 La estructura de la torre estará sujeta a la cimentación y estará sometida a vibraciones inducidas por el viento.

Como la unidad generadora de vórtice tiene una aleta rectangular, podrá influir eficazmente en la capa límite en torno a la estructura de la torre, donde el viento puede venir de diferentes direcciones y con diferente orientación en relación con la estructura de la torre.

- 50 Además, las unidades generadoras de vórtice que sean rectangulares tendrán el doble de área en comparación con las unidades generadoras de vórtice triangulares para la misma altura por encima de la superficie de la estructura de la torre.

En una torre para aerogenerador, la altura de las aletas será importante debido al transporte. Con aletas rectangulares se puede tener un diámetro total menor para la torre que se ha de transportar. Esto es importante para el transporte por carretera, en el que la altura total es importante.

- 5 Cuando la estructura de la torre está construida de acero, es importante que las unidades generadoras de vórtice estén pegadas a la superficie de la torre del aerogenerador. De este modo es posible evitar soldaduras que podrían disminuir la resistencia de la torre del aerogenerador.

La aleta de la unidad generadora de vórtice tendrá dos grandes caras laterales planas opuestas entre sí, y pequeñas caras laterales alrededor del perímetro de la aleta rectangular.

- 10 Es preferible que la base a través de la cual se une la aleta a la superficie de la estructura de la torre, tenga una extensión mayor que la cara lateral de la aleta rectangular. En consecuencia, una placa utilizada para la base de la unidad generadora de vórtice proporcionará un área que garantice una unión segura de la unidad generadora de vórtice a la superficie.

- 15 Especialmente cuando las uniones se realizan mediante pegado, es importante tener una superficie para un pegado efectivo de la unidad generadora de vórtice a la superficie de la estructura de la torre. Cuando se tiene una placa de base que puede ser sustancialmente rectangular y de tal modo que la aleta está dispuesta en una parte central de la placa de base con una dirección perpendicular a la placa de base, es posible obtener una resistencia de adhesión que asegura el mantenimiento de la unidad generadora de vórtice sujeta a la superficie de la estructura de la torre, incluso cuando la carga del viento induce un momento en la unidad generadora de vórtice.

- 20 En general, la aleta rectangular tendrá una extensión mayor a lo largo de la superficie de la estructura de la torre, que la altura alrededor de la superficie de la estructura de la torre. Como se ha explicado anteriormente, esto será importante para tener un diámetro total lo más bajo posible por razón del transporte. Por consiguiente, es posible proporcionar un área suficiente de la aleta aumentando la longitud a lo largo de la superficie y disminuyendo la altura por encima de la superficie.

- 25 Se prefiere que las unidades generadoras de vórtice se monten en la estructura de la torre previamente a su emplazamiento, durante la fabricación de los segmentos a partir de los cuales se fabrica la estructura de la torre. Sin embargo, es también posible que las unidades generadoras de vórtice puedan montarse en la estructura de la torre en el lugar donde se pretende erigir la estructura de la torre.

La placa de la aleta está dispuesta de manera sustancialmente radial con respecto a la estructura de la torre. Para una torre de aerogenerador, la dirección del viento estará orientada de forma sustancialmente horizontal.

- 30 Como la aleta rectangular está dispuesta sustancialmente perpendicular al eje longitudinal a través de la estructura de la torre, tendrá una orientación sustancialmente horizontal en una torre para un aerogenerador. Por lo tanto, en la aleta el viento predominantemente fluirá paralelo al plano de la placa rectangular de la aleta.

- 35 Las unidades generadoras de vórtice tendrán una influencia eficaz en la capa límite alrededor de la estructura de la torre, ya que el flujo del viento normalmente tendrá una orientación horizontal. El viento tendrá un flujo sustancialmente laminar a una cierta distancia por encima del suelo y, en consecuencia, en la parte más baja de la estructura de la torre.

Cuanto más unidades generadoras de vórtice estén distribuidas en torno a la circunferencia de la estructura de la torre, se obtendrá una reducción más eficaz de las vibraciones inducidas por vórtices para el viento procedente de diferentes direcciones.

- 40 La torre de aerogenerador es especialmente vulnerable a la vibración inducida por el viento durante su instalación, antes de que se disponga una góndola en la parte superior de la torre. Sin embargo, incluso con la góndola montada en la parte superior de la torre, una torre de aerogenerador que tenga una altura sustancial se beneficiará del efecto de las unidades generadoras de vórtice para suprimir las vibraciones inducidas por vórtices en la torre.

- 45 De acuerdo con otra realización de la invención, el aerogenerador es peculiar porque dicha estructura de torre comprende dos o más unidades generadoras de vórtice, preferiblemente cuatro o más, que están dispuestas simétricamente a lo largo de la circunferencia o parte de la circunferencia de la estructura de la torre.

La eficacia de las unidades generadoras de vórtice aumentará con más unidades generadoras de vórtice dispuestas a lo largo de la circunferencia de la estructura de la torre. Se prefiere disponer las unidades generadoras de vórtice simétricamente para tener el mejor efecto para el viento que viene de diferentes direcciones.

- 50 En general, el número de unidades generadoras de vórtice a lo largo de la circunferencia dependerá del diámetro de la torre en la sección real de la torre en la que están dispuestos los generadores de vórtice. Sin embargo, las simulaciones han ilustrado que habrá un efecto sustancial con solo dos unidades generadoras de vórtice a lo largo de la circunferencia. Dado que el viento entrante, en determinados lugares, vendrá predominantemente de una sola dirección, en algunos casos será suficiente tener dos unidades generadoras de vórtices dispuestas a lo largo de la circunferencia.

En general, los vientos fuertes que causan vibraciones inducidas por vórtices en la torre vendrán de una única dirección predominante. Por lo tanto, los generadores de vórtice pueden distribuirse solo a lo largo de una parte de la circunferencia de la estructura de la torre.

5 Las simulaciones han demostrado que cuatro unidades generadoras de vórtice dispuestas a 90° a lo largo de la circunferencia son muy eficaces para el viento entrante desde cualquier dirección.

Según otra realización de la invención, el aerogenerador es peculiar porque dicha estructura de torre comprende dos o más unidades generadoras de vórtice, preferiblemente cuatro o más, dispuestas en diferentes secciones a lo largo de al menos una parte de la altura de la estructura de la torre.

10 El efecto de las unidades generadoras de vórtice aumenta al tener las unidades generadoras de vórtice distribuidas a lo largo de la altura de la estructura de la torre y no solo a lo largo de la circunferencia de la estructura de la torre. En consecuencia, se podría decir que se puede formar una parrilla de unidades generadoras de vórtice distribuyendo las unidades generadoras de vórtice a lo largo de la circunferencia y también en filas en secciones de posiciones diferentes a lo largo de una parte de la altura de la estructura de la torre.

15 La estructura de la torre, al ser una torre montada en una cimentación sobre el suelo, no necesitará tener unidades generadoras de vórtice distribuidas a lo largo de la altura total de dicha torre. Sólo será necesario disponer las unidades generadoras de vórtice en secciones en la parte de la estructura de la torre que esté cerca de la parte superior de la estructura. El efecto del viento será mayor en la parte superior de una torre que en la parte inferior de una torre.

20 De acuerdo con la invención, el aerogenerador tiene la particularidad de que cada una de las aletas puede estar dispuesta en un ángulo de entre 0° y 30° con respecto al plano perpendicular al eje longitudinal que pasa a través de la estructura de la torre.

25 No es necesario que la aleta de la unidad generadora de vórtice esté dispuesta en un plano exactamente perpendicular al eje longitudinal que pasa a través de la estructura de la torre. Las simulaciones han demostrado que las unidades generadoras de vórtice suprimirán eficazmente las vibraciones inducidas por los vórtices en la estructura de la torre incluso cuando estén dispuestas en un ángulo de hasta 30° con respecto al plano perpendicular al eje longitudinal que atraviesa la estructura de la torre.

Las aletas pueden estar dispuestas en diferentes ángulos o en el mismo ángulo. Es posible tener más aletas dispuestas en diferentes ángulos. De la misma manera, también es posible tener aletas dispuestas con diferentes orientaciones en relación con el plano perpendicular al eje longitudinal que atraviesa la estructura de la torre.

30 De acuerdo con otra realización de la invención, el aerogenerador tiene la particularidad de que dichas aletas tienen una altura que es menor que el 5% del diámetro de la estructura de la torre, preferiblemente menor que el 3% del diámetro de la estructura de la torre.

35 Las simulaciones han demostrado que las aletas serán eficaces con una altura alrededor de una superficie de la estructura de la torre, que es relativa con respecto al diámetro de la estructura de la torre en la sección específica de la torre donde estén dispuestos los generadores de vórtice. Estas simulaciones han demostrado que se obtiene una supresión eficaz de las vibraciones inducidas por el viento con una altura inferior al 5% del diámetro de la estructura de la torre.

A fin de tener un diámetro total pequeño de la estructura de la torre con las unidades generadoras de vórtice montadas, es preferible que las aletas tengan una altura que sea inferior al 3% del diámetro de la estructura de la torre.

40 Las aletas pueden estar dispuestas en diferentes ángulos alrededor de la circunferencia. Por consiguiente, cuando se transporta una estructura de torre —o tramos de dicha estructura de torre— para una torre de aerogenerador, se prefiere que la torre se transporte con las aletas no orientadas verticalmente en la torre durante el transporte. Al orientar las aletas en ángulo, se reducirá la altura total de la torre transportada con las unidades generadoras de vórtice. Por ejemplo, para una torre provista de cuatro unidades generadoras de vórtice dispuestas simétricamente, la torre se transportará con las aletas orientadas a 22,5° a cada lado de un plano vertical que atraviesa la torre.

45 De acuerdo con otra realización adicional de la invención, el aerogenerador tiene la particularidad de que las unidades generadoras de vórtice están dispuestas a lo largo de un recorrido helicoidal en la superficie de la estructura de la torre.

50 Es posible proporcionar las unidades generadoras de vórtice en diferentes configuraciones o parrillas en la superficie de la estructura de la torre. Las unidades generadoras de vórtice pueden disponerse a lo largo de un recorrido helicoidal a lo largo de la superficie circular. Con ello, las unidades generadoras de vórtice a diferentes alturas tendrán, cada una de ellas, una posición descentrada en relación con las unidades generadoras de vórtice vecinas para crear el recorrido helicoidal.

Cada unidad generadora de vórtice de dicho recorrido helicoidal puede tener una aleta orientada en un plano sustancialmente perpendicular al eje longitudinal que pasa a través de la estructura de la torre, o puede formar diferentes ángulos con respecto a dicha orientación perpendicular.

Según una realización adicional de la invención, el aerogenerador es peculiar porque las unidades generadoras de vórtice están dispuestas en una configuración que comprende más capas a lo largo de la altura de la estructura de la torre y que tiene más unidades generadoras de vórtice en cada capa a lo largo de la circunferencia de la estructura de la torre, y porque las unidades generadoras de vórtice de una capa están descentradas a lo largo de la circunferencia en comparación con la posición de las unidades generadoras de vórtice de una capa adyacente.

Las unidades generadoras de vórtice pueden disponerse en una configuración que comprende más capas a lo largo de la estructura. Cada capa comprenderá más unidades generadoras de vórtice. En tal configuración, se prefiere que la posición de las unidades generadoras de vórtice en las diferentes capas esté descentrada en torno a la circunferencia en relación con la posición de las unidades generadoras de vórtice dispuestas en las capas vecinas. De este modo se obtiene la distribución más eficiente de las unidades generadoras de vórtice alrededor de la circunferencia. Con ello se obtiene una estructura de torre en la que es posible suprimir las vibraciones inducidas por vórtices en cualquier dirección del viento entrante sobre la estructura de la torre.

Además, esta realización se puede erigir con cualquier orientación. Por lo tanto, no existe ningún requisito en cuanto a una orientación específica de la torre cuando se erige una torre sobre el terreno.

Según la invención, el aerogenerador tiene la particularidad de que las unidades generadoras de vórtice cubren más del 30% de la parte superior de la altura de la torre del aerogenerador.

Como ya se ha mencionado, una torre de aerogenerador ofrecerá especiales beneficios cuando las unidades generadoras de vórtice cubren la parte superior de la estructura de la torre. Las simulaciones han demostrado que una cobertura de aproximadamente el 30% o más de la parte superior de la altura será eficaz para suprimir las vibraciones inducidas por vórtices.

No es necesario que ese 30% sea la parte más superior. Puede haber una parte más alta de la estructura de la torre que no esté provista de unidades generadoras de vórtice y, entonces, las unidades generadoras de vórtice pueden estar dispuestas en una parte intermedia cercana a la parte más superior. Esta parte intermedia puede comprender el 30%, o más, de la altura total de la torre.

La longitud puede aumentarse hasta el 35% o el 50% de la altura de la torre. Sin embargo, como se ha mencionado, la longitud de la parte cubierta con generadores de vórtice debe disponerse en la parte superior de la estructura de la torre.

De acuerdo con una realización adicional de la invención, el aerogenerador tiene la particularidad de que la estructura de la torre tiene una altura de 100 metros o más, preferiblemente de 140 metros o más, y las unidades generadoras de vórtice cubren más del 30% y, como máximo, el 50% de la parte superior de la estructura de la torre.

En el caso de las torres de aerogenerador, hoy en día es aún más común operar con alturas de 100 metros o más. Con estas torres de aerogenerador que tienen una longitud de 140 metros, las simulaciones han ilustrado que se obtiene una supresión eficiente de la vibración inducida por los vórtices cuando de 30 a 50 metros de la longitud de dicha estructura de torre están provistos de unidades generadoras de vórtice.

Según otra realización de la invención, el aerogenerador tiene la particularidad de que las unidades generadoras de vórtice están dispuestas a una distancia mutua de más de 1 metro.

Las simulaciones han ilustrado que se obtiene una supresión eficaz de las vibraciones inducidas por vórtices incluso cuando las unidades generadoras de vórtice no están dispuestas cerca unas de otras. Así, las simulaciones han ilustrado que las unidades generadoras de vórtice funcionan eficazmente incluso cuando tienen una distancia mutua de más de 1 metro. Se obtienen resultados eficientes incluso con una distancia mutua de hasta 3-4 metros.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se utiliza un aerogenerador con unidades generadoras de vórtice para resolver problemas de vibraciones de primer y segundo modos en la estructura de la torre.

Las unidades generadoras de vórtice son eficaces para resolver problemas de vibraciones inducidas por vórtices no solo del primer modo, sino también del segundo modo, en la estructura de la torre.

Cuando se instalan torres aún más altas, también pueden surgir problemas con las vibraciones del tercer modo. Estas vibraciones del tercer modo también pueden suprimirse con la presente invención.

Las unidades generadoras de vórtice pueden fabricarse de diferentes materiales. Se prefiere utilizar materiales plásticos para la fabricación debido a su bajo peso y a su capacidad de pegarse a la superficie de una estructura de torre.

El material utilizado para la unidad generadora de vórtice será preferentemente policarbonato resistente a los rayos UV. Este es un material que también se utiliza en unidades generadoras de vórtice para reducción de ruido en álabes de aerogeneradores.

El espesor de la aleta de una unidad generadora de vórtice puede estar entre 1 y 4 mm y, preferiblemente, ser aproximadamente 2 mm de espesor. Las dimensiones de la aleta de la unidad generadora de vórtice serán normalmente de 150 mm x 75 mm. La base de la unidad generadora de vórtice tendrá normalmente un tamaño de

80 mm x 160 mm.

Al establecer una base de la unidad generadora de vórtice, es fácil proporcionarle una curvatura correspondiente a la curvatura circular de la estructura de la torre. Sin embargo, la flexibilidad del material plástico puede también proporcionar una curvatura que pueda adaptarse a estructuras de torre que tengan diferentes diámetros. Por consiguiente, se pueden utilizar unidades generadoras de vórtice idénticas para montarlas en una estructura de torre circular o en una estructura de torre que tenga un diámetro decreciente desde la parte inferior hasta la parte superior y que, por lo tanto, tenga una forma ligeramente cónica.

Hay especialmente dos situaciones en las que el uso de unidades generadoras de vórtice resulta beneficioso.

La primera situación es cuando se erige una torre. Justo antes de montar el último tramo de la torre de un aerogenerador y durante el montaje del último tramo del aerogenerador, el efecto de las unidades generadoras de vórtice será más eficaz.

La segunda situación es un aerogenerador en el que los álabes se han inclinado al paio o si hay una pérdida de potencia y la dirección del viento cambia con respecto a la dirección del viento anterior. En esta situación el viento puede entrar desde el lateral del álabes del aerogenerador. Esto provocará vibraciones hacia delante y hacia atrás en la torre. En esta situación, las unidades generadoras de vórtice serán eficaces en la supresión de las vibraciones.

Para una torre de aerogenerador en la que la góndola y los álabes del rotor no están montados, no es probable que se produzca la alta frecuencia que inicia el segundo modo. Sin embargo, se ha producido la vibración en el segundo modo en una torre de aerogenerador que tiene una altura de 140 metros.

Los problemas con las vibraciones del primer o segundo modo no se han tratado en la técnica anterior.

El uso de la presente invención es especialmente beneficioso en torres de acero para aerogeneradores.

Las simulaciones realizadas ilustran que la distancia entre las unidades generadoras de vórtice puede ser aproximadamente de 1 metro a 1,2 metros. Sin embargo, también es posible que la distancia entre unidades generadoras de vórtice sea 3 metros en la dirección de la altura. Una torre para un aerogenerador, a una altura de 80 metros, tendrá en general una circunferencia de 14 metros. En esta posición puede haber entre 3 y 4 metros entre cada unidad generadora de vórtice en el plano circunferencial. En general, se puede decir que habrá aproximadamente una unidad generadora de vórtice por cada 3 m². Sin embargo, las simulaciones ilustran que la proporción podría ser tan baja como una unidad generadora de vórtice por cada 12 m².

Arriba se han mencionado diferentes proporciones para la altura de las unidades generadoras de vórtice en comparación con el diámetro de la torre. En la práctica, se ha demostrado que la capa límite en torno a una torre es aproximadamente el 2% del diámetro de una torre. De acuerdo con esto, la altura de una unidad generadora de vórtice solo necesita ser el 2% del diámetro de la torre en la sección de la torre en la que están dispuestos los generadores de vórtice.

Sin embargo, como se ha explicado anteriormente, la altura puede llegar a ser hasta una altura inferior al 5% del diámetro de la torre.

Si se utilizan franjas helicoidales de la técnica anterior, la altura normalmente será del 3% al 4% del diámetro de la torre. En consecuencia, el diámetro total cuando se utilizan unidades generadoras de vórtice será menor que el diámetro total de las franjas helicoidales de la técnica anterior.

Además, las franjas helicoidales están necesariamente montadas sobre una porción mayor de la altura de la torre con una extensión continua. Esto provoca un uso de material en cantidades mucho mayores que en el uso de material para unidades generadoras de vórtice según la presente invención.

Descripción de los dibujos

A continuación, se describirá una realización de la invención, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

la Figura 1 muestra un aerogenerador que comprende una torre,

la Figura 2A ilustra una primera realización de una unidad generadora de vórtice para uso en una torre de aerogenerador,

la Figura 2B ilustra una realización adicional de una unidad generadora de vórtice para uso en un aerogenerador,

la Figura 3 es una ilustración esquemática de la geometría de una torre de aerogenerador,

la Figura 4 ilustra la torre de aerogenerador ilustrada en la Figura 3, con indicación de una zona en la que están dispuestas unidades generadoras de vórtice,

la Figura 5 ilustra una imagen correspondiente a la Figura 4 que, sin embargo, ilustra otra zona en la que están dispuestas unidades generadoras de vórtice,

la Figura 6 ilustra una torre de aerogenerador simplificada,

5 la Figura 7 ilustra un gráfico simplificado de cortante crítico en relación con la velocidad del viento para la torre de aerogenerador ilustrada en la Figura 6,

la Figura 8 ilustra un gráfico simplificado de la vibración inducida por vórtices en relación con la entrada de potencia para la torre de aerogenerador ilustrada en la Figura 6,

las Figuras 9-12 ilustran gráficos para vibraciones de primer y segundo modo para una torre de aerogenerador que tiene unidades generadoras de vórtice dispuestas en la zona ilustrada en la Figura 4, y

10 las Figuras 13-16 ilustran gráficos para vibraciones de primer y segundo modo para una torre de aerogenerador que tiene unidades generadoras de vórtice dispuestas en la zona ilustrada en la Figura 5.

Descripción detallada de la invención

15 En el siguiente texto se describirán las Figuras una a una, y las diferentes partes y posiciones que se observan en las Figuras se numerarán con los mismos números en las diferentes figuras. No todas las partes y posiciones indicadas en una figura concreta se explicarán necesariamente junto con esa figura.

Lista de números de posición

	1	aerogenerador
	2	torre
	3	cimentación
20	4	góndola
	5	cubo
	6	álabe del rotor del aerogenerador
	7	primer extremo del álabe (extremo de raíz)
	8	segundo extremo del álabe (extremo de punta)
25	9	unidad generadora de vórtice
	10	aleta
	11	base
	12	longitud
	13	altura
30	14	parte inferior
	15	tramo intermedio
	16	tramo superior
	17	zona
	18	parte inferior de la torre
35	19	parte superior de la torre
	20	otra zona
	21	tramo inferior
	22	tramo superior
	23	gráfico
40	24	gráfico

En la Figura 1 se observa un aerogenerador convencional 1 que comprende una torre 2 instalada en una cimentación 3. En la parte superior de la torre 2 se observa una góndola 4 que comprende, por ejemplo, un caja de engranajes, un generador y otros componentes. En la góndola 4 también está instalado un eje para portar un rotor que comprende un cubo 5 y tres álabes 6 de rotor de aerogenerador. Los álabes 6 de rotor están dispuestos en el cubo 5, en un primer extremo 7 denominado extremo de raíz del álabes 6 de rotor. El segundo extremo 8 de los álabes 6 de rotor constituye el extremo de punta.

La Figura 2A ilustra una primera realización de una unidad generadora de vórtice 9. La unidad generadora de vórtice 9 comprende una aleta 10 y una base 11. Tanto la aleta 10 como la base 11 se han formado a modo de placas que tienen una forma rectangular. La aleta 10 está dispuesta con una extensión perpendicular a la orientación de la base 11.

La aleta 10 tiene una longitud 12 y una altura 13 por encima de la base 11. En esta realización, la aleta 10 está dispuesta en un lado de la base 11.

La Figura 2B ilustra otra realización de una unidad generadora de vórtice 9'. La unidad generadora de vórtice 9' comprende una aleta 10' y una base 11'. Tanto la aleta 10' como la base 11' tienen forma de placa con una forma rectangular. La aleta 10' tiene una longitud 12 y una altura 13 por encima de la base 11'.

En esta realización, la aleta 10' está dispuesta en una posición intermedia de la base 11'. La aleta 10' está dispuesta centralmente en la base 11'. Sin embargo, alternativamente, la aleta 10' puede estar desplazada más hacia un lado o hacia el otro lado.

También es posible que la aleta 10 o 10' pueda tener una longitud 12 diferente de la longitud de la base 11, 11'.

En las Figuras 2A y 2B, la aleta y la base se ilustran con bordes afilados. Sin embargo, esto tiene un propósito ilustrativo. La aleta y la base pueden tener bordes redondeados para garantizar mejor un flujo suave del viento alrededor de la unidad generadora de vórtice.

La Figura 3 ilustra un principio para la geometría de una torre de 140 metros para un aerogenerador. La geometría comprende un tramo inferior 14 de la torre, que es cilíndrico y tiene una altura de 80 metros y un diámetro de 4 metros. Además, la torre comprende un tramo intermedio 15 que tiene una forma cónica que disminuye desde un diámetro de 4 metros hasta un diámetro de 3,66 metros en una altura de 30 metros. Además, la torre comprende un tramo superior 16 que es cilíndrico y tiene una altura de 30 metros y un diámetro de 3,66 metros.

Las dimensiones reales son para fines ilustrativos y las torres pueden tener cualquier otra altura y cualquier otra dimensión, además de las dimensiones ilustradas.

La Figura 4 ilustra una torre 2 que tiene una primera zona 17 en cuya área están dispuestas unidades generadoras de vórtice 9, 9'. La primera zona 17 se extiende desde una altura de 90 metros desde la parte inferior de la torre 18, que está situada en el suelo o sobre una cimentación 3, hasta la parte superior de la torre 19.

La Figura 5 ilustra una segunda zona 20 en la que están dispuestas unidades generadoras de vórtice 9, 9'. La segunda zona 20 se ha dispuesto con una altura de 30 metros y se extiende desde una posición 90 metros por encima de la parte inferior 18 de la torre hasta una posición 120 metros por encima de la parte inferior 18 de la torre.

Las Figuras 6 a 8 ilustran un ejemplo destinado a ilustrar las condiciones de vibraciones inducidas por vórtices (VIV) en una torre.

El bloqueo de la velocidad del viento se rige por el número de Strouhal, el diámetro y la frecuencia de la torre:

$$U_{lock_in} = f_{estructural} * \text{diámetro} / \text{número de Strouhal}.$$

Se dice que un cilindro está "bloqueado" cuando la frecuencia de oscilación es igual a la frecuencia de formación de vórtices. En esta región se producen las mayores oscilaciones de amplitud.

La torre 2 ilustrada en la Figura 6 comprende un tramo inferior 21 que tiene una forma material cilíndrica circular, y un tramo superior 22 que tiene una forma cónica.

Por lo tanto, el diámetro es constante abajo y disminuye con una mayor elevación, arriba. El bloqueo de la velocidad del viento se rige por el número de Strouhal, el diámetro y la frecuencia de la torre:

$$U_{lock_in} = f_{estructural} * \text{diámetro} / \text{número de Strouhal}.$$

Por lo tanto, para un número de Strouhal constante, el bloqueo de la velocidad del viento es constante en el tramo cilíndrico. A lo largo del tramo cónico, la velocidad del viento disminuye con la elevación a medida que el diámetro se reduce, de acuerdo con la fórmula anterior.

En la Figura 7, el cortante crítico se ilustra en relación con la velocidad del viento para la torre ilustrada en la Figura 6.

- El bloqueo de la velocidad del viento se ilustra mediante la curva indicada con 26 en la Figura 7. Una curva 25 ilustra un cortante del viento positivo con una velocidad máxima del viento que se da en la parte superior de la torre. Se observa que las dos curvas se cruzan a una altura determinada. Esta altura se encuentra en el tramo cónico en este ejemplo, pero puede estar en cualquier lugar a lo largo de la torre. En la posición en que las dos curvas se cruzan, la frecuencia de vórtice es igual a la frecuencia de la torre y se produce el bloqueo, y se suponen las fuerzas de sustentación más grandes desde los vórtices hasta la vibración de la torre. Al alejarse del bloqueo en altura, hacia ambos lados, las fuerzas de vórtice disminuyen.
- Las fuerzas de vórtice multiplicadas por la velocidad de la torre proporcionan la potencia de entrada para la vibración total de la torre. La entrada de potencia se ilustra mediante una curva indicada con 27 en la Figura 8.
- La Figura 8 también ilustra el hecho de que, en ciertas condiciones, las fuerzas de sustentación producen una entrada de potencia negativa a la vibración. Las condiciones para la entrada de potencia negativa ocurren cuando la diferencia entre el bloqueo en la velocidad del viento y la velocidad real del viento es lo suficientemente grande como para producir un corrimiento de fase entre las fuerzas de sustentación y la velocidad de la torre de más de $\pm \pi/2$.
- Las Figuras 9-12 ilustran diferentes gráficos para amplitudes causadas por la vibración inducida por vórtices y la amortiguación efectuada con diferentes posiciones de la zona 17 ilustrada en la Figura 4.
- Las Figuras 13-16 ilustran diferentes gráficos para amplitudes causadas por la vibración inducida por vórtices y la amortiguación efectuada con diferentes posiciones de la zona 20 ilustrada en la Figura 5.
- En las Figuras 9-16, un gráfico 23 ilustra el primer modo y un gráfico 24 ilustra el segundo modo.
- En el lado derecho, la amplitud del segundo modo se ilustra en metros y en el lado izquierdo, la amplitud del primer modo se indica en metros.
- En las Figuras 9 a 12 se ilustran las amplitudes en comparación con la extensión de la zona 17. El eje horizontal indica la extensión de la zona 17. Las Figuras representan el principio de la zona 17 en metros por encima de la parte inferior 18 de la torre.
- En el lado derecho de este eje horizontal hay una ilustración de una torre denominada "lisa". Esto indica que no hay unidades generadoras de vórtice dispuestas en la torre. En consecuencia, los gráficos 23 y 24 ilustran en el extremo de la derecha la amplitud para una vibración inducida por vórtices de primer y segundo modos en torno a la torre sin ninguna unidad generadora de vórtice montada.
- Las diferentes Figuras 9 a 12 ilustran las amplitudes en diferentes condiciones.
- La Figura 9 ilustra una situación en la que la turbulencia es 0,0 y el cortante del viento es 0,0.
- La Figura 10 ilustra una situación en la que la turbulencia es 0,10 y el cortante del viento es 0,0.
- La Figura 11 ilustra una situación en la que la turbulencia es 0,0 y el cortante del viento es 0,1.
- La Figura 12 ilustra una situación en la que la turbulencia es 0,1 y el cortante del viento es 0,1.
- En las Figuras 13-16 se ilustran las amplitudes en comparación con la extensión de la zona 20. El eje horizontal indica la extensión de la zona 20. Las figuras representan el inicio y el final de la zona 20 en metros por encima de la parte inferior 18 de la torre.
- En el lado derecho de este eje horizontal hay una ilustración de una torre denominada "lisa". Esto indica que no hay unidades generadoras de vórtice dispuestas en la torre. En consecuencia, los gráficos 23 y 24 ilustran en el extremo derecho la amplitud para una vibración inducida por vórtices de primer y segundo modos en torno a la torre, sin ninguna unidad generadora de vórtice montada.
- Las diferentes Figuras 13 a 16 ilustran las amplitudes en diferentes condiciones.
- La Figura 13 ilustra una situación en la que la turbulencia es 0,0 y el cortante del viento es 0,0.
- La Figura 14 ilustra una situación en la que la turbulencia es 0,1 y el cortante del viento es 0,0.
- La Figura 15 ilustra una situación en la que la turbulencia es 0,0 y el cortante del viento es 0,1.
- La Figura 16 ilustra una situación en la que la turbulencia es 0,1 y el cortante del viento es 0,1.
- De los gráficos de las Figuras 9-16 se concluye que un factor primario para grandes amplitudes es la turbulencia y un factor secundario para grandes amplitudes es el cortante del viento para el primer modo.
- Para el segundo modo se concluye que un factor primario para grandes amplitudes es el cortante del viento y un factor secundario para grandes amplitudes es la turbulencia.

De los gráficos se concluye que la mejor ubicación de las unidades generadoras de vórtice es una zona de 30 metros que se extiende de 70 a 100 metros por encima de la parte inferior 18 de la torre, en una torre de 140 metros.

La invención no se limita a las realizaciones descritas en la presente memoria y puede modificarse o adaptarse sin apartarse del alcance de la presente invención, tal como se describe en las reivindicaciones de patente que se dan a continuación.

5

REIVINDICACIONES

1. Un aerogenerador (1) que tiene una estructura de torre (2) circular y cónica con medios de control de flujo pasivos para suprimir las vibraciones inducidas por vórtices en dicha estructura de torre, en donde la estructura de torre incluye un tramo inferior cilíndrico circular (21) y un tramo superior cónico (22), en donde dichos medios de control de flujo pasivos comprenden unidades generadoras de vórtice (9), cada una de las cuales comprende una aleta (10) y una base (11) a través de la cual la aleta (10) se une a la superficie de la estructura de la torre para influir en la capa límite en torno a la estructura de la torre y suprimir así las vibraciones inducidas por vórtices, y en donde cada una de dichas aletas (10) comprende una placa rectangular que está dispuesta de forma sustancialmente radial con respecto a la estructura de la torre circular o cónica, y cada una de las aletas (10) está dispuesta en un ángulo entre 0° y 30° con respecto al plano perpendicular al eje longitudinal que atraviesa la estructura de la torre, de modo que las unidades generadoras de vórtice (9) cubren más del 30% de la parte superior de la altura de la torre (2) de aerogenerador.
2. Un aerogenerador de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que dicha estructura de torre comprende dos o más unidades generadoras de vórtice (9), preferiblemente cuatro o más, que están dispuestas simétricamente a lo largo de la circunferencia o de parte de la circunferencia de la estructura de torre.
3. Un aerogenerador de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, caracterizado por que dicha estructura de torre comprende dos o más unidades generadoras de vórtice (9), preferiblemente cuatro o más, dispuestas en diferentes tramos a lo largo de al menos una parte de la altura de la estructura de torre.
4. Un aerogenerador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dichas aletas (10) tienen una altura (13) que es inferior al 5% del diámetro de la estructura de la torre, preferiblemente inferior al 3% del diámetro de la estructura de torre.
5. Un aerogenerador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las unidades generadoras de vórtice (9) están dispuestas a lo largo de un recorrido helicoidal en la superficie de la estructura de torre.
6. Un aerogenerador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 4, caracterizado por que las unidades generadoras de vórtice (9) están dispuestas en una configuración que comprende más capas a lo largo de la altura de la estructura de torre y con más unidades generadoras de vórtice en cada capa a lo largo de la circunferencia de la estructura de torre, y por que las unidades generadoras de vórtice (9) de una capa están descentradas a lo largo de la circunferencia en comparación con la posición de las unidades generadoras de vórtice (9) de una capa adyacente.
7. Un aerogenerador de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que la estructura de torre tiene una altura de 100 metros o más, preferiblemente de 140 metros o más, y por que las unidades generadoras de vórtice (9) cubren más del 30% y, como máximo, el 50% de la parte superior de una estructura de torre.
8. Un aerogenerador de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado por que las unidades generadoras de vórtice (9) están dispuestas con una distancia mutua de más de 1 metro.
9. Uso de un aerogenerador (1) con unidades generadoras de vórtice (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores para resolver problemas de vibraciones de primer y segundo modos en la estructura de torre.

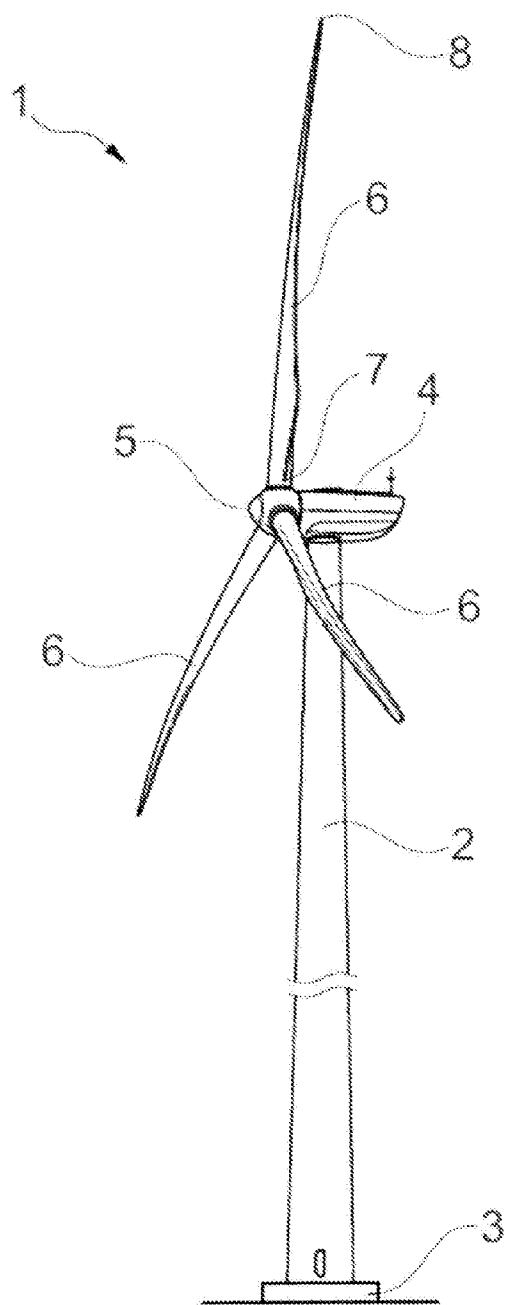


Fig. 1

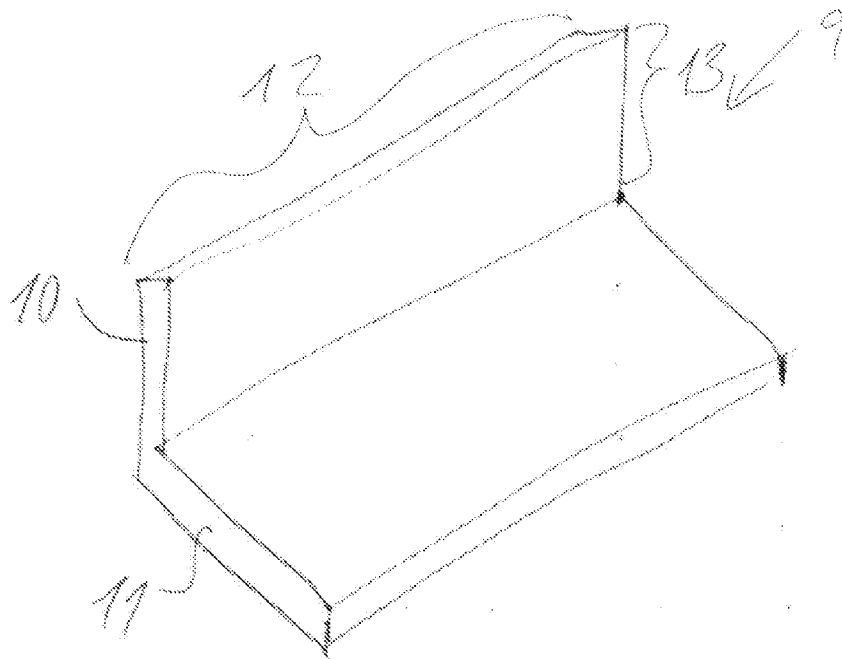


Fig. 2A

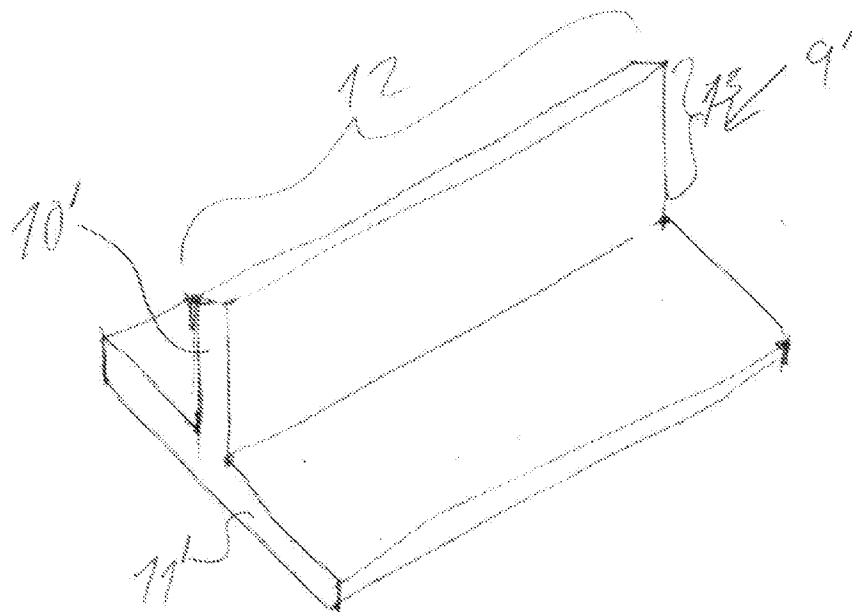
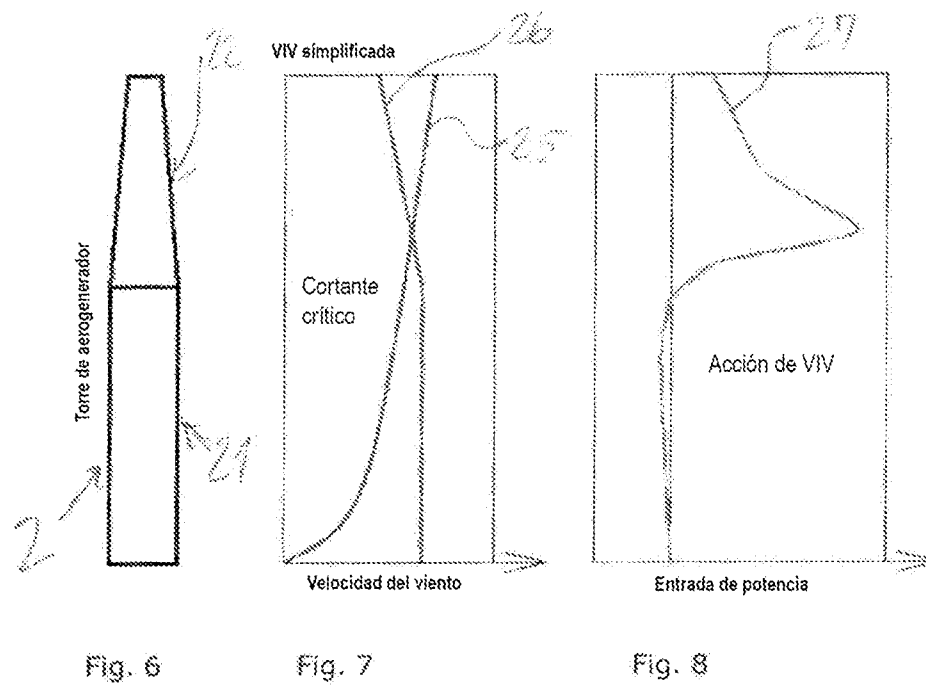
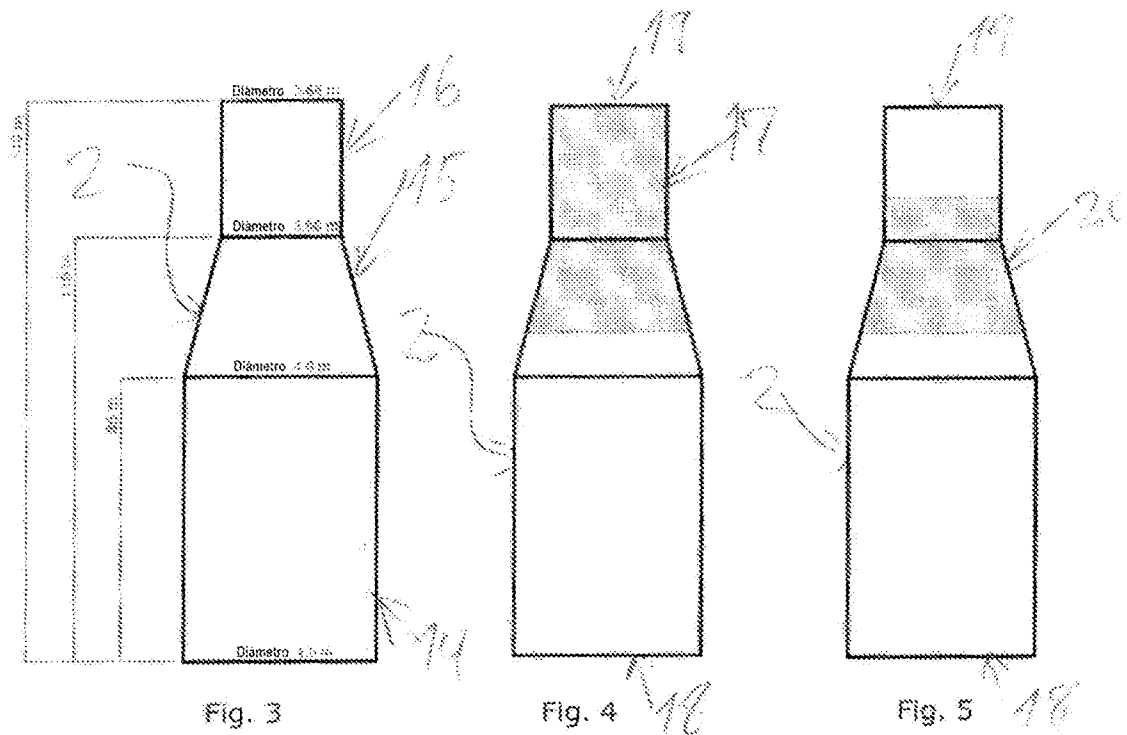


Fig. 2B



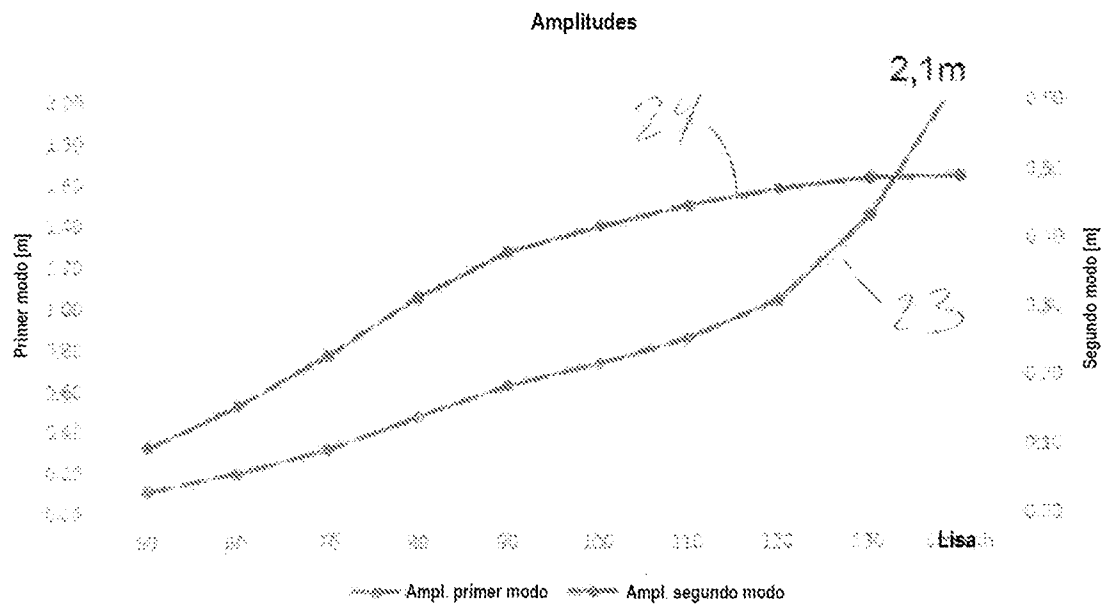


Fig. 9

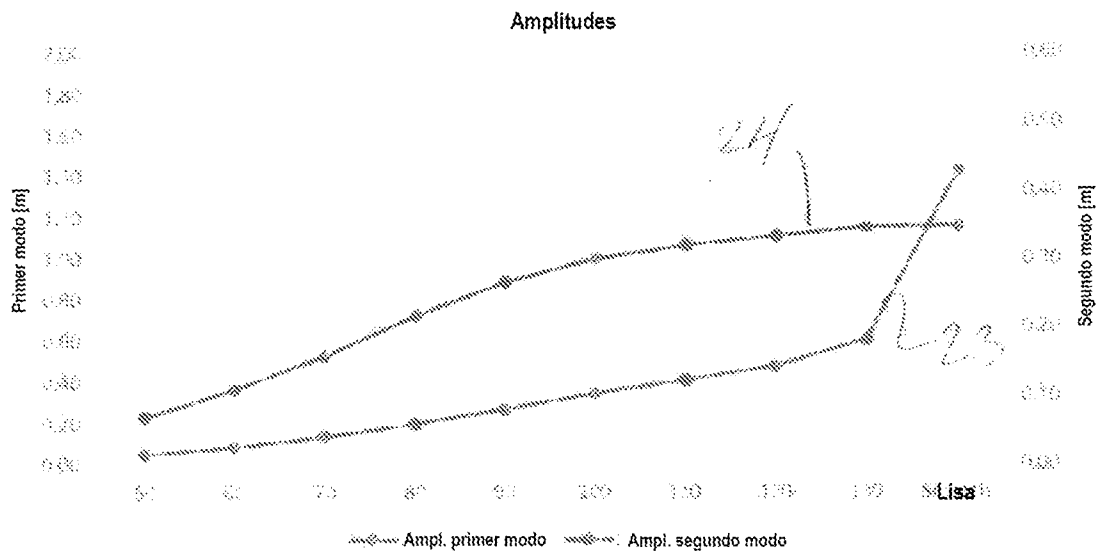
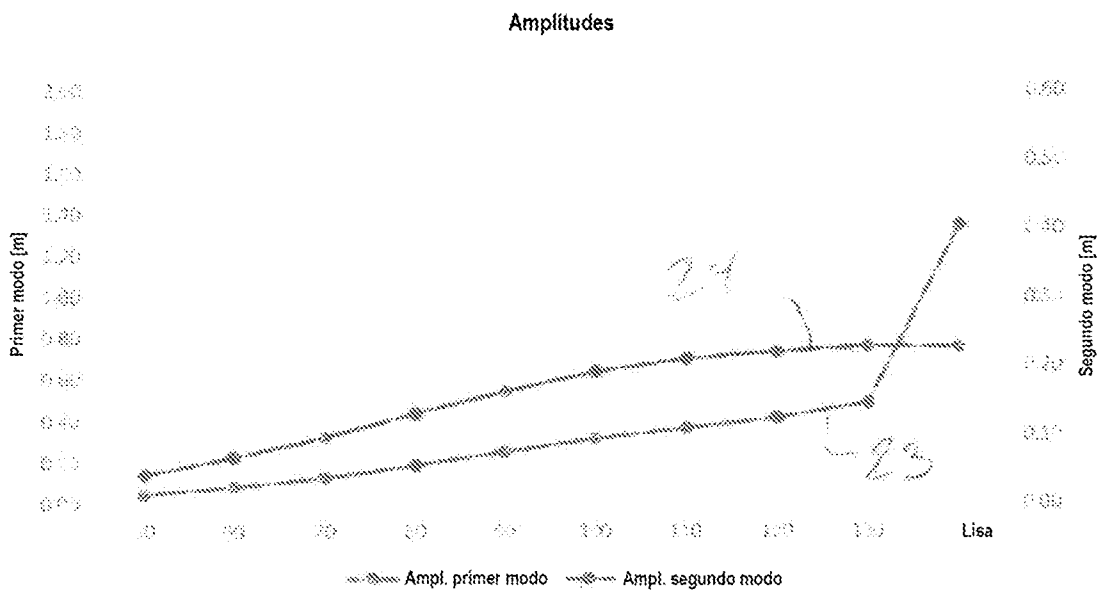
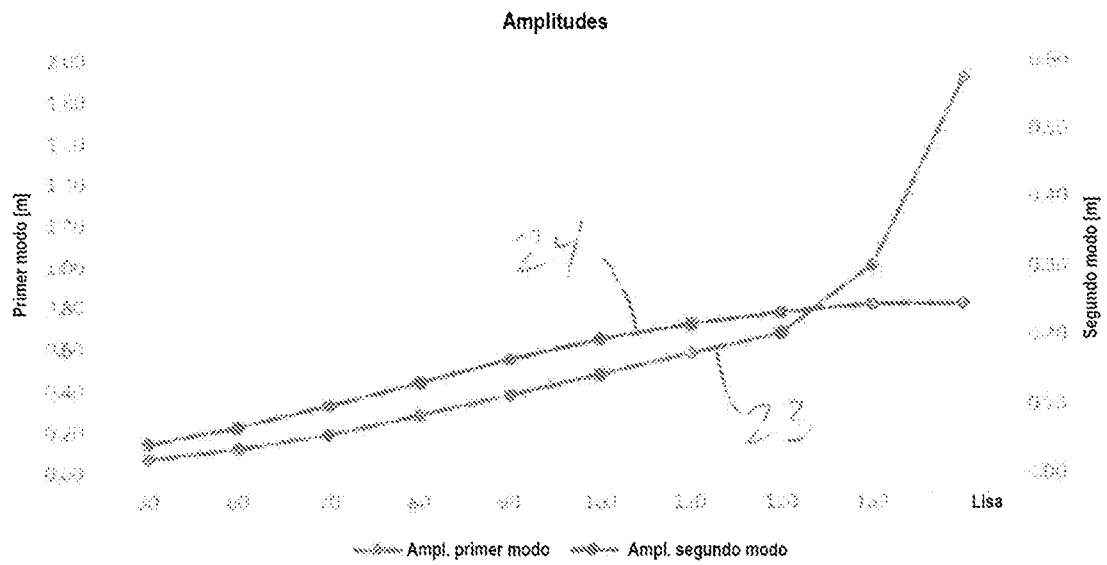


Fig. 10



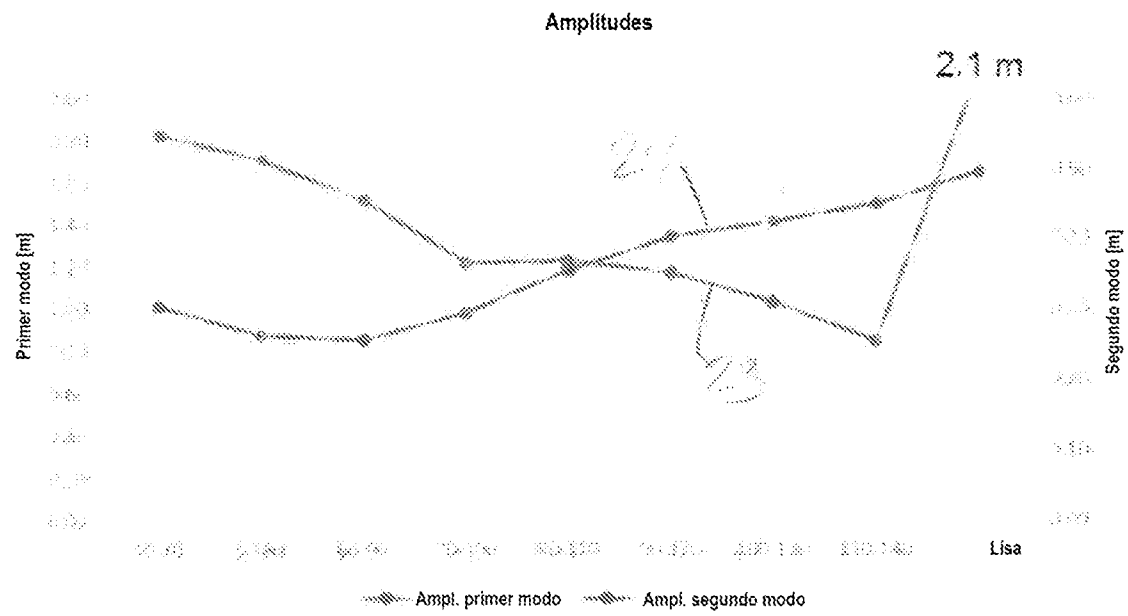


Fig. 13

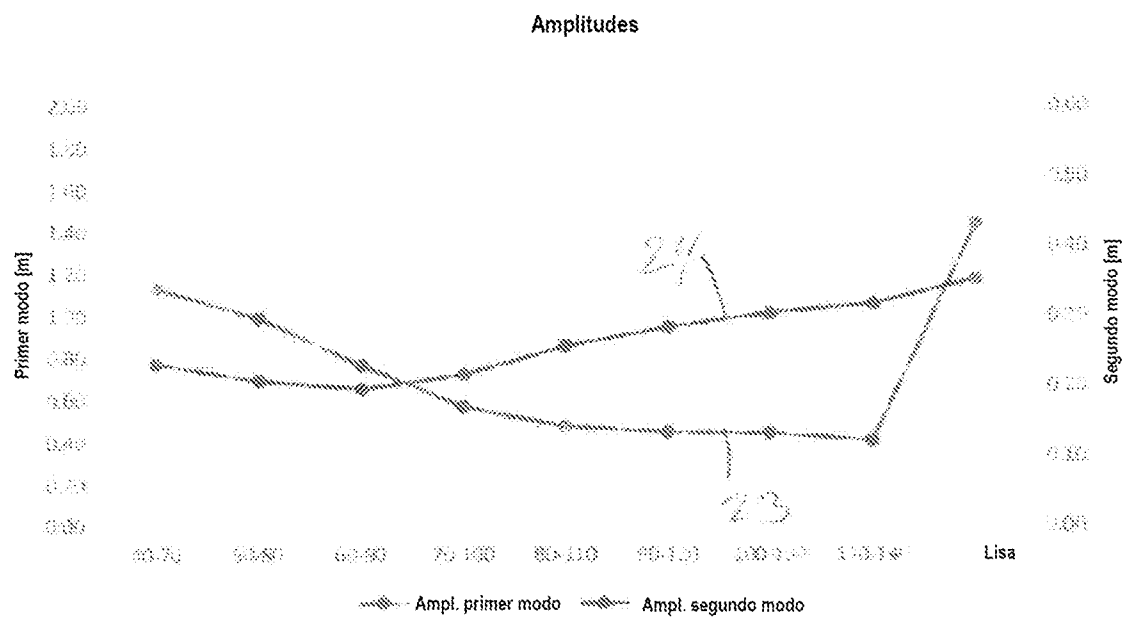


Fig. 14

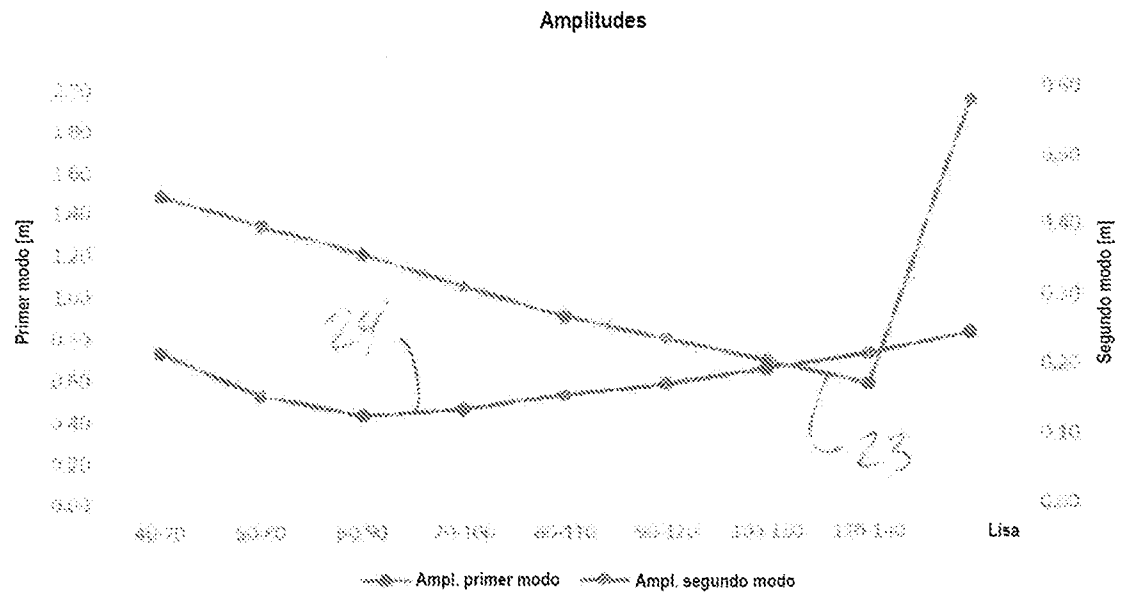


Fig. 15

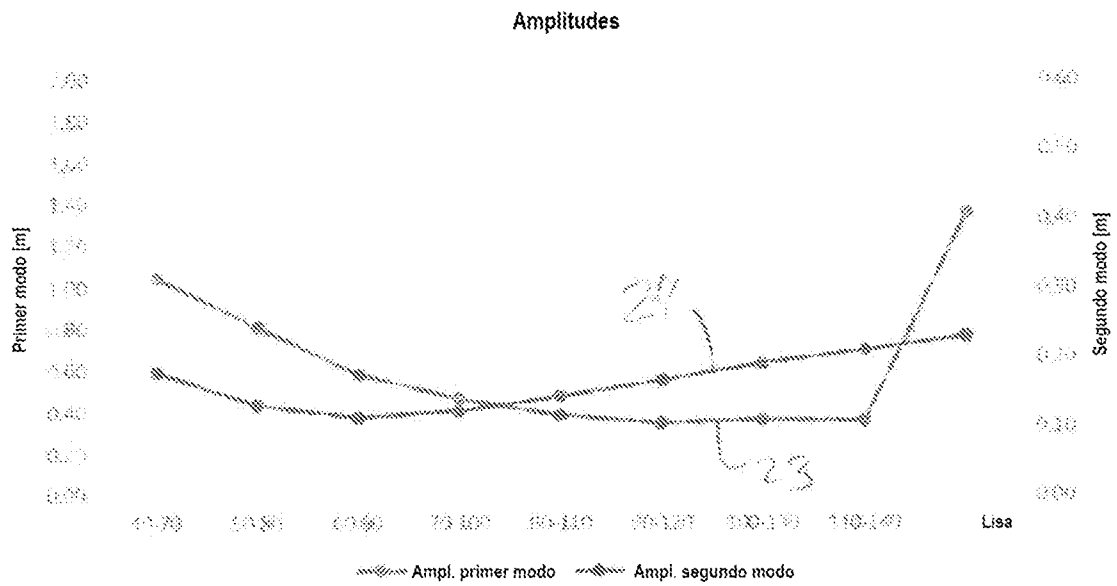


Fig. 16