

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 981 735**

51 Int. Cl.:

F03D 13/20

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.03.2018** **PCT/CN2018/079415**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.03.2019** **WO19047501**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.03.2018** **E 18788657 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2024** **EP 3477100**

54 Título: **Aparato de generación de energía eólica, cilindro de torre y método para suprimir efecto de sombreado de torre del cilindro de torre**

30 Prioridad:

11.09.2017 CN 201710812909

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

10.10.2024

73 Titular/es:

**BEIJING GOLDWIND SCIENCE & CREATION
WINDPOWER EQUIPMENT CO., LTD. (100.0%)
No. 19 Kangding Road, Beijing Economic &
Technological Development Zone, Daxing District
Beijing 100176, CN**

72 Inventor/es:

MA, SHENGJUN

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 981 735 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

Aparato de generación de energía eólica, cilindro de torre y método para suprimir efecto de sombreado de torre del cilindro de torre

Esta solicitud reivindica la prioridad de la solicitud de patente china n.º 201710812909.0, titulada "WIND POWER GENERATION APPARATUS, TOWER AND METHOD FOR SUPPRESSING TOWER SHADOW EFFECT OF TOWER", presentada ante la Oficina estatal de propiedad intelectual de la República Popular de China el 11 de septiembre de 2017.

Campo

La presente solicitud se refiere al campo de la tecnología de torre, y en particular a un aparato de generación de energía eólica, a una torre y a un método para suprimir un efecto de sombreado de torre de la torre.

Antecedentes

Se hace referencia a la figura 1-1, que es una vista esquemática que muestra la configuración de un aparato de generación de energía eólica.

La base del aparato de generación de energía eólica es una torre 10, que soporta y encierra todo el sistema. Tomando como ejemplo la torre 10 que tiene una sección circular, la torre 10 puede ser una torre de acero o una torre de acero en combinación con una torre de hormigón. La torre 10 soporta una góndola 30, un generador de potencia y un rotor 20 del aparato de generación de energía eólica. Las tareas de adquirir energía eólica y convertirla en energía eléctrica se realizan por el rotor 20 y el generador. La energía eléctrica convertida se transmite a través de un cable de transmisión de potencia 40 o una barra colectora de transmisión de potencia. El cable de transmisión de potencia 40 mostrado en la figura se conduce fuera de la góndola 30 y presenta una posición limitada por un anillo de retención de cable que está en una parte superior de la torre 10 y está fijado a una placa de fijación de anillo de retención de cable 50, y entonces el cable de transmisión de potencia 40 pasa por un soporte de montaje 60 y está suspendido a lo largo de una pared interna de la torre 100 hasta un armario de convertidor 70. Una puerta de torre 80 está prevista además en un extremo inferior de la torre 10.

La energía eléctrica obtenida mediante la conversión se controla mediante un armario de conmutadores del sistema de generador de turbina eólica y se transporta, por medio del cable de transmisión de potencia 40 o la barra colectora de transmisión de potencia, a un convertidor (en el armario de convertidor 70) que realiza la tarea de conversión de potencia eléctrica, y entonces, después de haberse procesado por el convertidor, puede obtenerse energía eléctrica que cumple los requisitos de regla de acceso a la red de distribución de potencia. Por tanto, la torre 10 del aparato de generación de energía eólica puede considerarse como un poste de torre para la generación de energía eólica, y desempeña principalmente una función de soporte en el aparato de generación de energía eólica.

Además, la torre 10 soporta cargas del viento de estructuras generadas por la góndola 30, el rotor 20 y el generador, o las vibraciones de sotavento y vibraciones de viento de costado inducidas por las cargas del viento de estructuras, es decir, problemas de vibración de estructura inducida por el viento.

Actualmente, en el procedimiento de funcionamiento de la torre 10, la unión entre una raíz de una pala del rotor 20 y el cojinete de variación de paso es propensa a dañarse debido a fatiga, y puede generarse ruido que afecta al medio ambiente durante la rotación del rotor 20.

Además, se hace referencia a la figura 1-2, que es una vista esquemática que muestra el izado de la torre por segmentos.

Actualmente, la torre 10 se instala generalmente por segmentos, como ejemplo, desde abajo hacia arriba, un primer segmento de torre 11, un segundo segmento de torre 12, un tercer segmento de torre 13, un cuarto segmento de torre 14 y un quinto segmento de torre 15 se disponen secuencialmente tal como se muestra en la figura 1-2. En el procedimiento de instalar el aparato de generación de energía eólica, en primer lugar se instala el primer segmento de torre 11 en una cimentación de terreno 90 de la torre 10, después se izan otros segmentos de torre segmento a segmento, y después de conectarse entre sí los segmentos de torre, se conecta la parte superior (el quinto segmento de torre 15 en la figura 1-2) de la torre 10 a un sistema de guiñada de la góndola 30, y se conecta la góndola 30 al generador de potencia, y después se conecta el generador de potencia (o una caja de engranajes) al rotor 20.

El procedimiento de izado específico se describe de la siguiente manera.

Antes de izar la torre 10, en primer lugar se limpia un anillo de cimentación de la cimentación de terreno 90 conectada al primer segmento de torre 11 y se colocan múltiples pernos (tal como 120 pernos) en un anillo interno del anillo de cimentación después de lubricarse las roscas de los pernos y, mientras tanto, se iza un armario de control del aparato de generación de energía eólica al interior del anillo de cimentación;

se monta una herramienta de izado en un extremo superior del primer segmento de torre 11, en el que el izado del primer segmento de torre 11 en el extremo superior del mismo se realiza mediante un elemento de izado principal y, al mismo tiempo, también se monta una herramienta de izado en un extremo inferior del primer segmento de torre 11, y la tarea de izar el primer segmento de torre en el extremo inferior del mismo se realiza mediante un elemento de izado auxiliar para la torre. Los dos elementos de izado izan al mismo tiempo. Cuando la altitud del primer segmento de torre 11 es mayor que un diámetro máximo del primer segmento de torre 11, el elemento de izado principal iza el extremo superior del primer segmento de torre 11, y el elemento de izado auxiliar deja de funcionar;

cuando el primer segmento de torre 11 se iza hasta la posición perpendicular al terreno, se retira el elemento de izado auxiliar, y se retira la herramienta de izado en el extremo inferior del primer segmento de torre 11;

después de conectarse una superficie de brida del primer segmento de torre 11, se hacen pasar los pernos desde abajo hacia arriba, y se montan previamente tuercas y después se aprietan por medio de una llave eléctrica. Se aprietan las tuercas al menos 3 veces (hasta que se termina el procedimiento de izado de todo el aparato de generación de energía eólica, después se aprietan las tuercas para la conexión de torre por medio de una llave dinamométrica hasta lograr un valor de par requerido); y

los procedimientos de izado de los segmentos de torre restantes son iguales que el del primer segmento de torre 11, y después de terminar el izado del segmento de torre más superior, está preparado para izar la góndola.

Todos los procedimientos de instalación anteriores de acoplamiento y conexión se llevan a cabo en condiciones de vientos locales impredecibles en un pequeño entorno regional de un parque eólico. Por tanto, durante los procedimientos de izado e instalación, con frecuencia se encuentran ráfagas de intensidad variable o viento ligero continuo. Tal como se describió anteriormente, estas ráfagas o viento continuo pueden inducir vibraciones de la torre, perturbar la estabilidad de la torre, y poner en peligro al personal y los equipos en el sitio, y retrasar el periodo de instalación. Por ejemplo, después de izar el cuarto segmento de torre 14, el cuarto segmento de torre 14 puede vibrar, de tal manera que el quinto segmento de torre 15 no puede alinearse con el cuarto segmento de torre 14; y los pernos sujetos pueden incluso romperse bajo la acción de vibraciones, poniendo de ese modo en peligro la seguridad.

En la actualidad, está claramente estipulado por los requisitos de seguridad de proyectos para el procedimiento de izado en la industria de la energía eólica que el izado de un grupo de palas queda prohibido cuando la velocidad del viento es mayor de 6 m/s; el izado de la góndola queda estrictamente prohibido cuando la velocidad del viento es mayor de 8 m/s, y el izado de la torre queda estrictamente prohibido cuando la velocidad del viento es mayor de 10 m/s. Por consiguiente, el avance del izado en el sitio y el periodo de instalación se ven evidentemente limitados por las condiciones del viento en la región local. Para la construcción de parques eólicos en regiones en alta altitud y en montañas altas, la duración del proyecto es incluso más propensa a verse adversamente afectada.

Se hace referencia a las figuras 2 a 3-6. La figura 2 es una vista esquemática que muestra la estructura de una torre que tiene una determinada función de supresión de vibraciones en la tecnología convencional; de la figura 3-1 a la figura 3-6 son vistas esquemáticas que muestran las relaciones entre desprendimiento de vórtices desde un cilindro (desprendimiento de flujo de desviación) y seis intervalos de número de Reynolds. De la figura 3-1 a la figura 3-6, los seis intervalos de número de Reynolds (Re) son respectivamente $Re < 5$, $5 < Re < 15$, $40 < Re < 150$, $150 < Re < 3 \times 10^5$, $3 \times 10^5 < Re < 3 \times 10^6$ y $Re > 3 \times 10^6$.

Según diferentes patrones de fluir el flujo de aire alrededor de estructuras de objetos, las estructuras se clasifican en cuerpos romos y cuerpos aerodinámicos tales como alas de aeronaves o velas.

Cuando $Re < 5$, el fluido fluye al tiempo que se adhiere a una superficie entera de un cilindro, es decir, el fluido fluye sin desprenderse desde la superficie del cilindro.

Cuando $5 < Re < 40$, el flujo todavía es simétrico, pero se produce desprendimiento en el flujo, y se forman dos vórtices estables dispuestos de manera simétrica en un lado a favor del viento, y los vórtices se alargan hacia fuera a medida que aumenta el número de Reynolds, dando como resultado una deformación de los vórtices.

Cuando $40 < Re < 150$, empezando a partir de ese número de Reynolds $Re = 40$, los vórtices se desprenderán alternativamente desde un lado trasero de la superficie del cilindro y fluirán al fluido cerca de la parte trasera del cilindro para formar una capa de cizalladura. La capa de cizalladura inestable gira para dar vórtices y fluye aguas abajo, formando una calle de vórtices de Karman, es decir, la vibración inducida por vórtices. En este caso, el desprendimiento de vórtices es regular y periódico.

Cuando $150 < Re < 300$, lo cual corresponde a un periodo de transición desde flujo laminar hasta flujo turbulento, durante este periodo, el desprendimiento de vórtices periódico está cubierto por flujo turbulento irregular.

Cuando $300 < Re < 3 \times 10^5$, lo cual se denomina región subcrítica, un flujo de estela del cilindro después del desprendimiento se presenta principalmente como un flujo de estela turbulento, el desprendimiento de vórtices

comienza a ser irregular, y el periodo de frecuencia de desprendimiento de vórtices puede definirse de manera aproximada, sin embargo, la fuerza de perturbación durante el desprendimiento de vórtices es aleatoria en lugar de simétrica.

- 5 Cuando $3 \times 10^5 < Re < 3 \times 10^6$, lo cual se denomina región supercrítica, el punto de desprendimiento de vórtices se mueve hacia atrás, y la calle de vórtices no puede identificarse y pasa a ser un vórtice completamente no periódico.

Cuando $3 \times 10^6 < Re$, lo cual se denomina región transcítica, el flujo de estela en el lado trasero del cilindro es muy turbulento, sin embargo, también aparece un desprendimiento de vórtices regular.

- 10 Cuando un flujo de aire uniforme pasa por (barre horizontalmente, fluye alrededor de) un cuerpo romo (cuerpo cilíndrico), el desprendimiento de vórtices periódico generado en la parte trasera de la sección del cilindro puede producir una fuerza de acción periódicamente variable, es decir, una fuerza inducida por vórtices, sobre una estructura (la superficie de contacto de la torre). Un extremo inferior de la estructura de torre alrededor de la cual fluye el flujo de
15 aire y la cimentación subterránea constituyen un sistema de vibración de extremo libre individual (es decir, un extremo superior de la torre está sumergido en el flujo de aire, y un extremo más inferior de la torre está fijado sobre la cimentación de terreno). Cuando la frecuencia de desprendimiento de vórtices es compatible con un determinado orden de frecuencia natural de la torre estructura, la fuerza inducida por vórtices periódicos (fuerza desequilibrada) experimentada por la superficie de torre puede provocar una respuesta de la vibración inducida por vórtices de la
20 estructura de sistema de torre.

- La condición de que la frecuencia de desprendimiento de vórtices es igual a la frecuencia natural del sistema de vibración de la torre del sistema estructural y la cimentación de la misma puede cumplirse únicamente a una determinada velocidad del viento. Sin embargo, el sistema de vibración de la torre y la cimentación de la misma que
25 tiene la frecuencia natural puede tener un determinado efecto de realimentación sobre el desprendimiento de vórtices, permitiendo "capturar" la frecuencia del desprendimiento de vórtices por la frecuencia de vibración del sistema de vibración de la torre y la cimentación de la misma dentro de un determinado intervalo de velocidad del viento, de modo que la frecuencia de desprendimiento de vórtices puede no cambiar con el cambio de la velocidad del viento dentro de este intervalo de velocidad del viento. Este fenómeno se denomina bloqueo y el bloqueo puede expandir el intervalo
30 de velocidad del viento dentro del cual se produce la resonancia inducida por vórtices de la estructura de torre.

- La altura de la torre de un sistema de generador de turbina eólica a nivel de megavatios, de gran escala, moderno puede alcanzar de 60 m a 100 m. Los componentes principales, tales como un armazón principal, un armazón
35 secundario, un buje y palas (es decir, el rotor 20) y similares, se montan en la parte superior de la torre 10. Cuando el sistema de generador de turbina eólica está en funcionamiento, además de la gravedad de los componentes en la parte superior de la torre 10 y la carga dinámica generada por la rotación del rotor, la torre 10 se ve afectada por el viento natural, incluyendo formas de impacto de sotavento y viento de costado. Se aplican fuerzas y momentos de flexión sobre la torre cuando el viento sopla sobre el rotor para que rote. Las fuerzas y momentos de flexión generados en dirección de sotavento son los motivos principales para el daño de la torre 10. Los vórtices generados cuando el
40 viento fluye alrededor de la torre 10 también pueden provocar vibraciones transversales que conducen al daño por resonancia de la torre 10.

- Cuando el viento sopla sobre la torre 10, se generan pares de vórtices antisimétricos dispuestos de manera alternante y que rotan en sentidos opuestos, es decir, vórtices de Karman, en los lados izquierdo y derecho del flujo de estela.
45 Los vórtices se desprenden desde la torre 10 a una determinada frecuencia, provocando la vibración transversal perpendicular a la dirección del viento de la torre 10, que también se denomina vibración transversal inducida por el viento, es decir, la vibración inducida por vórtices. Cuando la frecuencia de desprendimiento de vórtices es próxima a la frecuencia natural de la torre, la torre 10 es propensa a experimentar resonancia y, por tanto, a dañarse.

- 50 En la figura 2, un alambre en espiral 10a (o una placa en espiral) está enrollado alrededor de una pared externa de la torre 10, para suprimir el desprendimiento de vórtices que se produce sobre la superficie de la torre 10. El alambre en espiral 10a (o la placa en espiral) tiene diferentes efectos de supresión de vibraciones transversales cuando se dispone a diferentes pasos de rosca. El aumento de la altura del alambre en espiral 10a resulta beneficioso para interrumpir un periodo de la liberación de calle de vórtices, por tanto la generación y liberación de la calle de vórtices son más
55 irregulares, lo cual facilita la supresión de las vibraciones inducidas por vórtices. Además, el ruido y la resistencia generados en la parte delantera y en la parte trasera de la torre también aumentan gradualmente, y puede aumentarse la amplitud de vibración de cabeceo a lo largo de la dirección del viento.

- La solución técnica anterior del alambre en espiral 10a tiene los siguientes problemas técnicos.

- 60 La velocidad del viento del flujo de aire puede cambiar y, con la condición de que el alambre en espiral 10a (o la placa en espiral) esté mecanizado para hacer que sus parámetros de característica (paso de rosca, altura) cambien según el cambio de la velocidad del viento del flujo de aire, pueden aumentarse significativamente el coste de fabricación y el coste de mantenimiento correspondientes.

- 65 La tasa de cobertura del alambre en espiral 10a (o la placa en espiral) sobre la torre superficie puede afectar al efecto

de la supresión de vibraciones transversales. Cuando la tasa de cobertura alcanza (o supera) el 50%, se logra el efecto óptimo de supresión de vibraciones transversales. Sin embargo, en este caso, los efectos adversos graves del ruido inducido por el viento provocado por el alambre en espiral 10a (o la placa en espiral) y el flujo de aire sobre los organismos del entorno natural están prohibidos por los reglamentos medioambientales.

El alambre en espiral 10a (o la placa en espiral) se monta únicamente para su uso en la fase de izado, lo cual tiene una significación reducida y muchas pérdidas. Teniendo en cuenta el uso y funcionamiento a largo plazo, resulta difícil que el alambre en espiral se adapte a los cambios de velocidad del viento y se enfrente a diferentes velocidades del viento para los requisitos de coste de instalación y protección medioambiental, es decir, el alambre en espiral apenas puede desempeñar su función a diversas velocidades del viento.

A la vista de esto, un problema técnico que va a abordarse por los expertos en la técnica es mejorar la situación de funcionamiento o instalación del aparato de generación de energía eólica. El documento US 2006/290140 A1 da a conocer una turbina eólica de eje horizontal, que incluye una torre, una góndola y un rotor. Un ventilador de escape está dispuesto para descargar aire dentro de la góndola. Orificios pasantes dispersados en la dirección circunferencial de la torre están formados en una zona de la torre. Hay un elemento cilíndrico unido a la torre para cubrir los orificios pasantes de la torre. Los extremos superior e inferior del elemento están unidos de manera hermética (aparte de los orificios pasantes) a la superficie de pared de la torre. La torre y el elemento están estructurados de modo que el aire fuera del elemento entra dentro del elemento a través de los orificios pasantes y entra en la torre a través de los orificios pasantes.

Sumario

Con el fin de abordar los problemas técnicos anteriores, según la presente solicitud se proporcionan una torre y un método para suprimir un efecto de sombreado de torre de la torre, que pueden mejorar la situación de funcionamiento o instalación de un aparato de generación de energía eólica. El objeto de la presente invención se define por las características de la reivindicación independiente 1. Realizaciones adicionales preferidas de la presente invención se definen en las reivindicaciones dependientes.

Una torre según una realización de la presente solicitud está dotada de orificios pasantes de succión que se extienden a través de una pared circunferencial de la misma, los orificios pasantes de succión están distribuidos en una dirección circunferencial de la torre, la torre está dotada además de un aparato de succión, y el aparato de succión puede realizar succión en los orificios pasantes de succión desde el exterior hacia el interior.

Según esta realización se proporciona además un método para suprimir un efecto de sombreado de torre de una torre. El método incluye proporcionar orificios pasantes de succión que se extienden a través de una pared circunferencial de la torre en una dirección circunferencial de la misma, y realizar succión en los orificios pasantes de succión desde el exterior hacia el interior.

Según una realización de la presente solicitud se proporciona además un aparato de generación de energía eólica, que incluye una torre y una góndola, un generador y un rotor que están ubicados en la parte superior de la torre, en el que la torre es la torre según una cualquiera de las soluciones anteriores.

Con la torre y el método según las realizaciones anteriores, cuando se realiza succión en los orificios pasantes de succión en el lado contra el viento, debilitando o eliminando de ese modo el efecto adverso del efecto de sombreado de torre, prolongando la vida útil del cojinete de variación de paso, reduciendo el ruido y mejorando el coeficiente de utilización de energía eólica. Cuando se realiza succión en los orificios pasantes de succión en la posición del desprendimiento de flujo de desviación, también pueden suprimirse las vibraciones inducidas por vórtices. En comparación con el método de usar el alambre en espiral en la tecnología de antecedentes, resulta evidente que el método de realizar succión en los orificios pasantes de succión, por medio de adsorber la capa de límite, suprime o previene directamente la causa de las vibraciones inducidas por vórtices, lo cual tiene un mejor efecto de supresión de vibraciones. Además, la intensidad de succión puede ajustarse en cualquier momento durante la succión según el estado de vibración, logrando por tanto una mayor flexibilidad sin requerir un mayor coste. Además, en comparación con el ruido generado cuando el flujo incidente de barlovento entra en contacto con el alambre en espiral en la tecnología de antecedentes, evidentemente, el ruido generado al realizar succión en los orificios pasantes de succión puede ser significativamente menor, y puede cumplir los requisitos de reglamentos medioambientales. Además, el método de succión siempre puede funcionar para suprimir las vibraciones inducidas por vórtices ya sea en el procedimiento de izado o en el procedimiento de funcionamiento del sistema de generador de turbina eólica. Cuando el flujo de aire succionado se descarga al interior de la torre, también pueden realizarse funciones de enfriamiento mediante intercambio de calor, bloqueo de entrada de agua de lluvia, arena o polvo y similares en una campana de guiado de flujo o un buje.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1-1 es una vista esquemática que muestra la configuración de un aparato de generación de energía eólica.

- La figura 1-2 es una vista esquemática que muestra que se iza una torre en segmentos;
- la figura 2 es una vista esquemática que muestra la estructura de una torre que tiene una determinada función de supresión de vibraciones;
- 5 las figuras 3-1 a 3-6 son vistas esquemáticas que muestran las relaciones entre desprendimiento de vórtices desde un cilindro (desprendimiento de flujo de desviación) y seis intervalos de número de Reynolds respectivamente;
- 10 la figura 4 es una vista esquemática que muestra la estructura de una realización específica de una torre que tiene una función de supresión de vibraciones inducidas por vórtices según la presente solicitud;
- la figura 5 es una vista esquemática que muestra una parte superior, dotada de orificios pasantes de succión, de la torre en la figura 4 que está expandida;
- 15 la figura 6 es una vista esquemática que muestra un efecto de sombreado de torre de una torre;
- la figura 7 es un diagrama que muestra el principio de la aparición del efecto de sombreado de torre de la torre;
- 20 la figura 8 es una vista desde arriba de la parte superior de la torre en la figura 4, que muestra cámaras de succión divididas;
- la figura 9 es una vista esquemática que muestra que un elemento de detección de presión está dispuesto en un canal de detección de presión en la figura 5;
- 25 la figura 10 es una vista lateral de la figura 9;
- la figura 11 es una vista a escala ampliada de una porción en la que está dispuesto el elemento de detección de presión en la figura 10;
- 30 la figura 12 es una vista esquemática que muestra la relación entre número de Strouhal y número de Reynolds en una superficie externa de la torre;
- la figura 13 es una vista esquemática que muestra que un elemento de detección de temperatura está dispuesto en un canal de detección de temperatura en la figura 9;
- 35 la figura 14 es un gráfico que muestra que el número de Nusselt Nu en una superficie local de la torre varía con la variación de un ángulo a tres números de Reynolds Re cuando el flujo de aire barre sobre la torre;
- la figura 15 es un diagrama de bloques de control que muestra la succión en una cavidad de succión en la figura 4;
- 40 la figura 16 es una vista esquemática que muestra que un dispositivo de monitorización de vibraciones está previsto dentro de la torre;
- la figura 17 es una vista esquemática que muestra la comparación entre una región dotada de orificios pasantes de succión en la figura 4 y una longitud de una pala; y
- 45 la figura 18 es una vista esquemática que muestra una trayectoria de flujo de aire del flujo de aire descargado en la figura 4 después de que el flujo de aire suba hasta la parte superior de la torre.
- 50 Los números de referencia en las figuras 1-1 a 18 son los siguientes:

10	torre,	11	primer segmento de torre,
12	segundo segmento de torre,	13	tercer segmento de torre,
14	cuarto segmento de torre,	15	quinto segmento de torre,
10a	alambre en espiral,	20	rotor,
30	góndola,	40	cable de transmisión de potencia,
50	placa de fijación de anillo de retención de cable,	60	soporte de montaje,
70	armario de convertidor,	80	puerta de torre,
90	cimentación de terreno;		
100	torre,	100a	orificio pasante de succión,
100b	canal de detección de temperatura,	100c	canal de detección de presión;
200	góndola,	300	generador de potencia,
400	rotor;		
500a	abertura de succión,	500b	abertura de descarga de aire,
501	máquina de succión de aire,	502	tubería de transporte,

503	tubería principal de confluencia de descarga de aire,	504	tubería principal de confluencia de succión,
505	válvula de control eléctrica;		
600	cimentación de torre;		
701	cubierta,	702	elemento de división,
703	sección de filtración de aire,	704	cámara de succión;
801	capa de aislamiento térmico,	802	elemento de detección de temperatura,
802a	extremo de conexión,	803	dispositivo de monitorización de vibraciones,
804	elemento de detección de presión,	804a	extremo de conexión;
901	servomotor de variación de paso,	902	campana de guiado de flujo,
903	armario de control eléctrico;		
R1	canal de flujo gradualmente convergente,		
R2	porción de garganta,		
R3	canal de flujo gradualmente divergente.		

Descripción detallada de realizaciones

Para que los expertos en la técnica entiendan mejor las soluciones técnicas de la presente solicitud, la presente solicitud se describe más en detalle a continuación en el presente documento con referencia a los dibujos y realizaciones.

Haciendo referencia a la figura 4, la figura 4 es una vista esquemática que muestra la estructura de una realización específica de una torre según la presente solicitud. La figura 5 es una vista esquemática que muestra una parte superior, dotada de orificios pasantes de succión, de la torre en la figura 4 que está expandida, es decir, una parte superior anular de la torre 100 está expandida para tener forma de barra para facilitar la ilustración.

Tal como se muestra en la figura 4, la torre 100 está dispuesta sobre una cimentación de torre 600, y componentes tales como una góndola 200, un generador de potencia 300, un rotor 400 y similares están montados en una parte superior de la torre 100. Tal como se muestra en la figura 5, en esta realización, una parte superior de la torre 100 está dotada de una pluralidad de orificios pasantes de succión 100a que se extienden a través de una pared circunferencial de la torre 100, y la pluralidad de orificios pasantes de succión 100a están distribuidos en una dirección circunferencial de la torre 100, es decir, distribuidos alrededor de la torre 100. Además, se proporciona adicionalmente un aparato de succión, y el aparato de succión puede realizar succión en los orificios pasantes de succión 100a desde el exterior hacia el interior. En este caso, se pretende que “desde el exterior hacia el interior” limite un sentido de succión en vez de limitar la posición del aparato de succión, es decir, cuando se realiza la succión, el flujo de aire fluye desde el exterior hacia el interior de la torre y, por tanto, el aparato de succión puede estar colocado dentro la torre 100 y, evidentemente, el aparato de succión también puede estar colocado fuera de la torre 100. Cuando se realiza succión en los orificios pasantes de succión 100a, dado que los orificios pasantes de succión 100a se extienden a través de la pared circunferencial de la torre 100, puede succionarse el flujo de aire en una superficie externa de la torre 100.

Haciendo referencia a la figura 6, la figura 6 es una vista esquemática que muestra un efecto de sombreado de torre de una torre. La figura 7 es un diagrama que muestra el principio de la aparición de un efecto de sombreado de torre de la torre. Una variación dinámica de una pala 400a cuando rota en el sentido de las agujas del reloj se muestra en un lado inferior de la figura, en casos en los que la pala 400a está en tres posiciones, se forman secuencialmente un canal de flujo gradualmente convergente R1, una porción de garganta R2 y un canal de flujo gradualmente divergente R3 tal como se muestra en la figura entre la pala y la superficie externa de la torre.

Durante la rotación de la pala 400a del rotor 400, cuando el flujo de aire pasa por la torre 100, puede producirse el “efecto de sombreado de torre”. Los inventores han descubierto, después de estudios y mediciones, que el flujo incidente de barlovento (flujo multifásico) se acciona por la pala 400a en un estado de rotación. El canal de flujo gradualmente convergente R1 que comprime el flujo de aire se forma entre la pala y la superficie externa de la torre 100 antes de que la pala 400a pase por un lado frontal directo de la torre 100; un canal de flujo más estrecho, es decir, la porción de garganta R2 mostrada en la figura 7, se forma cuando la pala pasa por el lado frontal directo de la torre 100; y el canal de flujo gradualmente divergente R3 se forma después de que la pala 400a salga del lado frontal directo de la torre 100. De esta manera, en realidad, un canal de transporte de fluido de sección variable en los campos de la termodinámica de ingeniería y dinámica de fluidos de ingeniería, es decir, un canal de flujo convergente-divergente (similar a una estructura de tubería de chorro convergente-divergente), como un espacio convergente-divergente mostrado en la figura 6, se forma entre antes y después de que la pala 400a pase por la torre 100.

Puede producirse ruido y pérdida de energía irreversible termodinámica durante el procedimiento de flujo del flujo de aire en el canal de flujo convergente-divergente. Además, el procedimiento de comprimir el flujo incidente de barlovento puede consumir par del rotor 400, lo cual puede provocar el ruido que afecta al medio ambiente (la energía del ruido también procede de la energía portada por el flujo incidente de barlovento) al tiempo que se genera par de frenado de manera periódica. Además, basándose en el efecto de sombreado de torre, puede reducirse un momento de flexión en una dirección de sotavento de la pala de una manera pulsada cuando la pala 400a correspondiente pasa por el

lado frontal de la torre 100, y el momento de flexión se transmite a una raíz de la pala a través de la pala 400a provocando fallo por fatiga de un cojinete de variación de paso debido a una carga pulsante. Este es el motivo de los problemas en la tecnología de antecedentes, que descubren los investigadores tras la investigación, y estos problemas han existido desde hace mucho tiempo en el campo de la energía eólica.

En esta solución, la torre 100 está dotada de orificios pasantes de succión 100a que se extienden a través de la pared circunferencial de la misma. Durante la succión en los orificios pasantes de succión 100a, cuando la pala 400a pasa por los mismos, para la posición de la torre 100 correspondiente al canal de flujo convergente-divergente anterior, se debilita el efecto de bloqueo de la torre 100 debido al efecto de succión. Cuando la pala 400a pasa por la torre 100, la situación detrás de la pala 400a es similar a un espacio infinito cuando la pala 400a rota hasta un lado superior, es decir, el canal de flujo convergente-divergente no puede formarse realmente entre una pared externa de la torre 100 y la pala 100a, y, después de la succión, parte del flujo de aire que está comprimiéndose y tiene que fluir alrededor de la torre 100 se succiona originalmente para estar en un estado expandido para entrar en una pared interna de la torre 100, suprimiendo e incluso eliminando de ese modo todos los riesgos en la industria de energía eólica provocados por el efecto de sombreado de torre. En este caso, esta solución suprime o elimina realmente el procedimiento de compresión (o trabajo de compresión) cuando el flujo de aire fluye alrededor de la torre 100, y también aumenta el par y la potencia en la llanta de rueda generados cuando la pala 400a pasa por el lado frontal de la torre 100, y mejora un coeficiente de utilización de energía eólica en la conversión de la energía eólica en la energía mecánica rotatoria por la pala 400a; además, esta solución también reduce la pulsación del momento de flexión de la pala 400a en la dirección de sotavento, y reduce la carga pulsante al cojinete de variación de paso que provoca la fatiga del cojinete de variación de paso. Tal clase de análisis de consumo termodinámico y absorción termodinámica y utilización en un procedimiento dinámico en el que la pala 400a pasa por el lado frontal de la torre 100 de manera instantánea (es decir, los procedimientos de consumo irreversible en los que la compresión, fricción y energía se convierten en ruido) son un concepto técnico no dado a conocer actualmente en el campo de la generación de energía eólica.

El concepto en esta solicitud va más allá del mero campo de la aerodinámica, y los inventores entienden que el problema que debe abordarse se refiere esencialmente a un campo más general de conversión de energía y a una categoría teórica más fundamental y profunda de reducir y controlar la pérdida de energía irreversible de alta energía a baja energía que se produce de manera natural en el procedimiento de conversión en el que se convierte energía de baja calidad (energía eólica) en energía de alta calidad (energía mecánica de rotación). Los inventores entienden el efecto termodinámico en el procedimiento de sombreado de torre tras un trabajo de medición a largo plazo en un parque eólico junto con el trabajo de estudio en el terreno y forma de relieve de daño de ejes de una máquina eléctrica, y se producen en consecuencia las soluciones técnicas anteriores.

Además, en la figura 6, sensores de medición de ángulo están dispuestos en una parte inferior de la torre 100 o en la cimentación de torre 600, y en la figura se muestran tres sensores de medición de ángulo A, B y C. Una punta de la pala 400a puede emitir un láser 400b, y los sensores de medición de ángulo A, B y C pueden detectar el láser 400b, conociendo de ese modo si la pala 400a entra en el espacio convergente-divergente. De esta manera, puede adquirirse el momento en el que el flujo incidente de barlovento en un lado contra el viento de la torre 100 entra en un estado de compresión y, para eliminar el fenómeno de compresión, se abren los orificios pasantes de succión 100a en el lado contra el viento de la torre 100. Es decir, los sensores de medición de ángulo facilitan la determinación del momento en el que se realiza succión en los orificios de succión 100a para eliminar el efecto de sombreado de torre, para ahorrar eficazmente energía.

Siguiendo con referencia a las figuras 4 y 7, para facilitar la implementación de succión en los orificios pasantes de succión 100a, se proporciona además una cubierta 701 en la torre 100, y una cavidad de succión cerrada está encerrada por la cubierta 701 y una superficie interna de una región, dotada de los orificios pasantes de succión 100a, de la torre 100. En la figura 4, los orificios pasantes de succión 100a están previstos únicamente en la parte superior de la torre 100, de manera correspondiente, la cubierta 701 actúa conjuntamente con la superficie interna de la parte superior de la torre 100 para formar una cavidad de succión anular cerrada. El aparato de succión realiza succión en la cavidad de succión, para lograr la succión en los orificios pasantes de succión 100a desde el exterior hacia el interior.

Puede observarse que, con la disposición de la cavidad de succión cerrada, puede realizarse succión en todos los orificios pasantes de succión 100a en la dirección circunferencial de la torre 100 siempre que el aparato de succión realice succión en la cavidad de succión anular, por tanto, la succión puede realizarse más fácilmente. Evidentemente, puede no proporcionarse la cavidad de succión. Por ejemplo, el aparato de succión puede tener múltiples aberturas de succión 500a en actuación conjunta con los orificios pasantes de succión 100a, o una abertura de succión 500a corresponde a orificios pasantes de succión 100a dentro de una determinada región.

Una sección de filtración de aire 703 puede estar prevista entre la cavidad de succión y la abertura de succión 500a del aparato de succión. Específicamente, tal como se muestra en la figura 5, una sección de filtración de aire anular 703 está prevista en una parte inferior de la cavidad de succión, y las aberturas de succión 500a del aparato de succión están dispuestas en un lado inferior de la sección de filtración de aire anular 703, es decir, las aberturas de succión 500a están ubicadas en una parte inferior de la cubierta 701. El aparato de succión succiona el flujo de aire desde el exterior hacia el interior, y el flujo de aire exterior puede transportar arena y polvo, agua de lluvia, etc. La sección de filtración de aire 703 puede filtrar el flujo de aire succionado para evitar dañar el aparato de succión. Cuando el flujo

de aire succionado se descarga al interior de la torre 100, puede mejorarse la limpieza del flujo de aire descargado así como evitarse contaminar el aire en la torre, lo cual resulta desventajoso para el trabajo de los trabajadores o puede dañar los elementos dentro de la torre 100.

- 5 Además, siguiendo con referencia a la figura 5 y junto con la figura 8, la figura 8 es una vista desde arriba de la parte superior de la torre 100 en la figura 4, que muestra las cámaras de succión divididas 704.

Una pluralidad de elementos de división 702 están dispuestos en la cavidad de succión, y los elementos de división 702 dividen la cavidad de succión en una pluralidad de cámaras de succión 704 distribuidas en la dirección
10 circunferencial. A partir de lo anterior puede saberse que, con el fin de reducir o eliminar directamente efectos adversos del efecto de sombreado de torre, se requiere principalmente realizar la succión en la posición en la que la pala 400a pasa por la torre 100, y la posición en la que la pala 400a pasa por la torre 100 es una posición en el lado contra el viento de la torre 100, por tanto, sólo se requiere realizar succión en los orificios pasantes de succión 100a en la posición correspondiente al lado contra el viento, y no se requiere una succión global, reduciendo por tanto el consumo
15 de energía. Evidentemente, los orificios pasantes de succión 100a todavía están dispuestos en la dirección circunferencial, e independientemente de una dirección del viento, el lado contra el viento tiene orificios pasantes de succión correspondientes 100a disponibles para realizar succión.

En la figura 8, la cavidad de succión está dividida por igual en la dirección circunferencial en ocho cámaras de succión 704 mediante los elementos de división 702, y, en el caso en el que el flujo incidente de barlovento procede del oeste, el lado contra el viento corresponde a las cámaras de succión 704 con los números de serie 1 y 8. En esta realización, es preferible realizar succión en las cámaras de succión 704 con los números de serie 1 y 8, y puede no realizarse
20 succión en las cámaras de succión restantes 704. Múltiples cámaras de succión 704 están dispuestas en la figura 7, y se muestran los orificios pasantes de succión 100a en el lado contra el viento (un lado inferior está orientado hacia el sur, y una posición en la que está ubicada la pala 400a es justo el lado contra el viento), y no se muestran orificios pasantes de succión 100a en otras posiciones.

El lado contra el viento puede determinarse según la dirección del viento. Específicamente, puede proporcionarse un sensor de dirección del viento, y el lado contra el viento y el número de serie de la cámara de succión 704 correspondiente al lado contra el viento se determinan según la dirección del viento detectada.
30

Además, puede proporcionarse adicionalmente un elemento de detección de presión 804. Tal como se muestra en las figuras 9 a 11, la figura 9 es una vista esquemática que muestra que un elemento de detección de presión 804 está dispuesto en un canal de detección de presión 100c en la pared circunferencial de la torre 100; la figura 10 es una
35 vista lateral de la figura 9; y la figura 11 es una vista a escala ampliada de una porción en la que está dispuesto el elemento de detección de presión 804 en la figura 10.

La torre 100 puede estar dotada además de múltiples elementos de detección de presión 804 distribuidos en su dirección circunferencial, que están configurados para detectar la presión en la superficie externa de la torre 100. El efecto de sombreado de torre puede provocar fluctuación de presión, según la situación de la presión detectada mediante los elementos de detección de presión 804, puede obtenerse la posición de fluctuación de presión, y la posición es justo la posición del lado contra el viento de la torre 100. Los elementos de detección de presión 804 pueden emitir señales de presión detectadas a un controlador, y el controlador evalúa determinar la posición del lado
40 contra el viento, y después se controla el aparato de succión para realizar succión en las cámaras de succión 704 correspondientes al lado contra el viento.

Tal como se muestra en la figura 10, puede proporcionarse un canal de detección de presión 100c en la pared circunferencial de la torre 100, y el canal de detección de presión 100c también se extiende a través de la pared circunferencial de la torre 100. Un extremo externo (un extremo derecho en la figura 10), cerca de la superficie externa de la torre 100, del elemento de detección de presión 804 está configurado para detectar la presión del flujo de aire en la superficie externa de la torre 100, y un extremo interno (un extremo izquierdo en la figura 10), cerca de la superficie interna de la torre 100, del elemento de detección de presión 804 es un extremo de conexión 804a que puede emitir una señal al controlador. Evidentemente, el elemento de detección de presión 804 también puede emitir la señal de manera inalámbrica.
50

Una disposición de este tipo no sólo facilita que el elemento de detección de presión 804 detecte la presión del flujo de aire en la superficie externa de la torre 100, sino que también facilita la transmisión de señales. El canal de detección de presión 100c también puede funcionar para proteger el elemento de detección de presión 804 hasta cierto punto.
55

El elemento de detección de presión 804 y el sensor de dirección del viento pueden verificarse el uno al otro y proporcionar redundancia el uno para el otro. Cuando las posiciones determinadas por el elemento de detección de presión y el sensor de dirección del viento son diferentes, resulta evidente que se produce un fallo de sensor, y el lado contra el viento puede determinarse según el sensor que se determina finalmente que no ha fallado.
60

Puede realizarse succión en los orificios pasantes de succión 100a proporcionados anteriormente para suprimir las vibraciones inducidas por vórtices además de debilitar o eliminar los efectos adversos del efecto de sombreado de
65

torre.

A partir de la descripción de la tecnología de antecedentes puede saberse que, cuando el flujo incidente de barlovento fluye alrededor de la torre 100, una capa de límite formará desprendimiento de vórtices periódico en dos lados en la parte trasera de la torre 100, es decir, el fenómeno de desprendimiento de flujo de desviación, que también es la causa de vibraciones inducidas por vórtices. En esta solución, puede realizarse la succión a partir de la pluralidad de orificios pasantes de succión 100a para permitir "adsorber" la capa de límite sobre la superficie externa de la torre 100, suprimiendo o previniendo directamente de ese modo que la capa de límite se desprenda desde la superficie externa de la torre 100, lo cual reduce o elimina la causa de vibraciones inducidas por vórtices, para lograr el objetivo de suprimir las vibraciones inducidas por vórtices. Evidentemente, los orificios pasantes de succión 100a están distribuidos en la dirección circunferencial, por tanto, independientemente de la dirección del viento del flujo incidente de barlovento, siempre hay orificios pasantes de succión correspondientes 100a disponibles para realizar succión en la posición correspondiente del desprendimiento de flujo de desviación.

En principio, durante la aparición de resonancia inducida por vórtices de la estructura de la torre 100, una fuerza inducida por vórtices (es decir, una fuerza desequilibrada) que actúa sobre la superficie externa de la estructura de la torre 100 es aproximadamente una fuerza armónica simple $F(t)$:

$$F(t) = F_0 \sin \omega t \quad (1)$$

donde, $\omega(\text{Re}, St)$ es la frecuencia de desprendimiento de vórtices, y ωt en su conjunto es una variable;

$$\text{Re} = \frac{\rho U d}{\mu}, \quad \text{Re es el número de Reynolds y es un número adimensional;}$$

F_0 es un valor de amplitud de la fuerza inducida por vórtices, $F_0 = (\rho U^2 / 2) CD$;

ρ es la densidad del flujo incidente de barlovento para la torre 100;

U es una velocidad del viento del flujo incidente de barlovento para la torre 100;

C es un coeficiente aerodinámico de una sección de la estructura de la torre 100; el coeficiente aerodinámico también se denomina coeficiente de forma de carga del viento, que es una razón de una presión (o succión) formada por el viento sobre una superficie de una estructura de ingeniería con respecto a una presión del viento teórica calculada según la velocidad del viento del flujo incidente. El coeficiente aerodinámico refleja la distribución de una presión del viento estable sobre la superficie de una estructura de ingeniería y una superficie de un edificio, y varía con la dirección del flujo de aire, y la forma, escala, condiciones de apantallamiento del edificio y similares;

D y d son dimensiones de características de una estructura del espacio formada por un obstáculo orientado hacia un fluido cuando el fluido evita el obstáculo y fluye alrededor del obstáculo, y son términos genéricos en el campo de la transferencia de calor. En esta realización, D y d se refieren a las dimensiones de características de una superficie de contacto entre un cerramiento (una forma de la superficie externa de la torre en el presente documento) y el fluido (el flujo de aire en el presente documento), generalmente se emplea una anchura estructural perpendicular a la dirección del viento, es decir, un diámetro externo de la torre 100 a una altura correspondiente. Es decir, el diámetro externo de la torre 100 a una altura de un segmento en el que están distribuidos los orificios pasantes de succión 100a; y

μ es un coeficiente de viscosidad del flujo incidente de barlovento.

La variación de amplitud de la vibración transversal de la estructura de la torre 100 provocada por la fuerza inducida por vórtices es:

$$A(t) = \frac{\pi}{8} \frac{1}{K} (\rho U^2 / 2) CD \sin \omega t \quad (2)$$

donde, K es la rigidez de un sistema de estructura de la torre 100 (que puede incluir una góndola 200); y

δ es una disminución logarítmica (aproximadamente 0,05).

Cuando la velocidad del viento del flujo incidente de barlovento alcanza un determinado valor adecuado y continúa actuando durante un determinado periodo de tiempo, puede producirse resonancia inducida por vórtices en la estructura de la torre 100, y la amplitud A de la vibración en el presente documento es:

$$A = \frac{\pi}{8} \frac{\rho C f^2}{2K(st)} D^3 \quad (3)$$

Puede observarse que, cuando el tamaño de la sección de la estructura está fijado, la amplitud de la resonancia inducida por vórtices puede reducirse por medio de un aumento de la amortiguación, por ejemplo, reduciendo el coeficiente aerodinámico C , o reduciendo la densidad ρ del flujo incidente de barlovento.

La fórmula anterior $St = \frac{fD}{U}$, es decir, el número de Strouhal. La definición de número de Strouhal describe la relación entre la frecuencia de desprendimiento de vórtices, la velocidad del viento y un diámetro de un cilindro.

Donde, f es la frecuencia de desprendimiento de vórtices, Hz;

U es la velocidad del viento del flujo incidente de barlovento de la torre 100;

D es un diámetro externo de una porción a una altura promedio del segmento, en el que están distribuidos los orificios pasantes de succión 100a, de la torre 100.

En esta realización, D se refiere al diámetro externo de la torre 100 a diferentes alturas. El diámetro externo puede cambiar. Cuando el flujo incidente de barlovento no es horizontal, y fluye alrededor de la torre 100 con un determinado ángulo de inclinación, una trayectoria del flujo que evita una periferia de la torre 100 tiene forma aproximadamente ovalada, como la configuración aerodinámica descrita anteriormente en el presente documento. En este caso, la dimensión de característica D es un diámetro equivalente (un término técnico en transferencia de calor, que es un diámetro de una sección circular imaginaria, es decir, un diámetro de una sección circular convertida mediante una sección no circular según una circunferencia igual) de la configuración aerodinámica de forma ovalada. En este caso, un límite que se humedece por el fluido o en contacto con el fluido se vuelve más aerodinámico, y es menos romo. Visto desde el punto de vista de la vibración, la resonancia inducida por vórtices es una vibración de amplitud restringida que tiene características duales de estar autoexcitada y forzada.

El número de Strouhal puede obtenerse basándose en el número de Reynolds. Puede hacerse referencia a la figura 12 para la relación del número de Strouhal con el número de Reynolds. La figura 12 es una vista esquemática que muestra la relación entre el número de Strouhal y el número de Reynolds de la superficie externa de la torre, en la que el eje horizontal representa el número de Reynolds, y el eje vertical representa el número de Strouhal. Antes de que el número de Reynolds alcance 2×10^5 , el número de Strouhal es constante a 0,20; después de eso, a medida que el número de Reynolds aumenta, el número de Strouhal salta en primer lugar hasta 0,30, después aumenta hasta 0,43, y después, cuando el número de Reynolds es igual a 2×10^6 , el número de Strouhal disminuye de nuevo hasta 0,2. Por tanto, el número de Strouhal, D y U son parámetros que pueden obtenerse, y f también puede calcularse basándose en la fórmula del número de Strouhal y, por consiguiente, también puede calcularse la amplitud A de la vibración.

Cuando el flujo incidente de barlovento fluye alrededor de la torre 100, basándose en el efecto de succión, el flujo de aire de capa de límite sobre la superficie externa de la torre 100 puede succionarse hacia el interior de la torre 100 en la posición en la que están previstos los orificios pasantes de succión 100a de la torre 100, para mantener la capa de límite en un estado de flujo laminar, para evitar la transición de la capa de límite, para reducir una fuerza de fricción de superficie, y para permitir que el flujo de aire se adhiera a la superficie externa de la torre 100 mientras fluye. Los orificios pasantes de succión 100a y la superficie externa de la torre 100 se encuentran en una transición suave, conduciendo a la reducción del coeficiente aerodinámico (C) del flujo de aire que fluye alrededor de la torre 100. Según la fórmula (3), puede reducirse la amplitud (A) de la resonancia inducida por vórtices y puede suprimirse la vibración inducida por vórtices.

De manera similar, en el caso de realizar succión, también puede proporcionarse la cubierta 701, de modo que se forma una cavidad de succión anular entre la cubierta y la superficie interna de la torre 100, lo cual facilita la succión.

Debe apreciarse que el desprendimiento de flujo de desviación es una causa importante de la formación de la calle de vórtices de Karman que conduce a la vibración inducida por vórtices, por tanto, realizando únicamente succión en las cámaras de succión 704 en la posición del desprendimiento de flujo de desviación, en este caso puede debilitarse o prevenirse el desprendimiento de la capa de límite, para suprimir la aparición de calle de vórtices de Karman, suprimiendo o previniendo directamente de ese modo la vibración inducida por vórtices. En comparación con el método de realizar succión en toda la cavidad de succión anular, resulta evidente que el método de realizar succión únicamente en la posición del desprendimiento de flujo de desviación es más dirigido y puede ahorrar energía, es decir, para realizar succión direccional en el flujo incidente de barlovento (flujo multifásico).

Aunque se realiza succión en el lado contra el viento de manera similar para debilitar o eliminar el efecto de sombreado de torre, evidentemente, se requiere realizar succión tanto en el lado contra el viento como en las posiciones del desprendimiento de flujo de desviación en dos lados del lado contra el viento.

Todavía se toma como ejemplo la figura 8, el fenómeno de desprendimiento de flujo de desviación puede producirse cuando el flujo incidente de barlovento fluye alrededor de la torre 100. En la figura 8, el flujo incidente de barlovento procede del oeste, por tanto el fenómeno de desprendimiento de flujo de desviación se produce en la parte trasera de la torre 100 en posiciones aproximadamente al noreste y sudeste (las posiciones giradas en el sentido de las agujas del reloj o en el sentido contrario a las agujas del reloj de 110 a 130 grados con respecto a la posición, orientada directamente hacia el flujo incidente de barlovento, de la torre 100), que corresponden a las cámaras de succión 704 indicadas mediante los números de serie 3 y 6 en la figura 8. En esta realización, es preferible que el aparato de succión realice succión en las cámaras de succión 704 correspondientes a las posiciones del desprendimiento de flujo de desviación, que son sustancialmente las dos cámaras de succión 704 indicadas mediante los números de serie 3 y 6 en la figura 8. Por tanto, la solución preferible es realizar succión en las cuatro cámaras de succión 704 con los números de serie 1, 8, 3 y 6. De esta manera, no sólo se debilita o elimina la influencia adversa del efecto de sombreado de torre, sino que además pueden suprimirse o eliminarse las vibraciones inducidas por vórtices.

Tal como se muestra en la figura 5, el aparato de succión puede tener varias aberturas de succión 500a en una correspondencia de una a una con la pluralidad de cámaras de succión 704, y una válvula de conmutación está prevista entre cada una de las aberturas de succión 500a y la cámara de succión correspondiente 704. Cuando se realiza succión en las cámaras de succión 704 correspondientes al lado contra el viento y/o las posiciones del desprendimiento de flujo de desviación, se desactivan las válvulas de conmutación correspondientes a las cámaras de succión restantes 704. Las válvulas de conmutación pueden ser específicamente válvulas de control eléctricas 505 y, en este caso, puede proporcionarse además un controlador. El controlador puede obtener las posiciones del desprendimiento de flujo de desviación y la posición del lado contra el viento, controlando de ese modo las válvulas de control eléctricas 505 correspondientes a las posiciones del desprendimiento de flujo de desviación y el lado contra el viento para que se activen, y controlando las válvulas de control eléctricas restantes 505 para que se desactiven, para lograr un control automático. Evidentemente, como solución redundante o alternativa al control eléctrico, también resulta viable un control manual.

Cada cámara de succión 704 corresponde a una abertura de succión 500a en una correspondencia de una a una, por tanto, la fuerza de succión del aparato de succión puede garantizarse mejor, y sólo se requiere un aparato de succión para actuar conjuntamente con las válvulas de conmutación correspondientes. Debe apreciarse que también resulta viable equipar cada cámara de succión 704 con un aparato de succión, sin embargo, resulta evidente que la disposición de un aparato de succión correspondiente a todas las válvulas de conmutación tiene una ventaja de coste.

En el caso en el que el aparato de succión está dotado de las aberturas de succión 500a correspondientes a la pluralidad de cámaras de succión 704, puede proporcionarse además una tubería principal de confluencia de succión 504. En la figura 4, la parte que realiza específicamente la función de succión del aparato de succión es una máquina de succión de aire 501. El flujo de aire en las cámaras de succión 704 fluye a través de las aberturas de succión 500a y después converge hacia la máquina de succión de aire 501 a través de la tubería principal de confluencia de succión 504, lo cual facilita la conexión de las múltiples aberturas de succión 500a a la máquina de succión de aire 501, y también puede simplificar la tubería de succión del aparato de succión.

Siguiendo con referencia a la figura 9 junto con la figura 13, la figura 13 es una vista esquemática que muestra que un elemento de detección de temperatura está previsto en un canal de detección de temperatura en la figura 9.

De manera similar a la disposición del elemento de detección de presión 804, la torre 100 puede estar dotada además de una pluralidad de elementos de detección de temperatura 802 distribuidos en la dirección circunferencial del mismo, tal como se muestra en la figura 13. Los elementos de detección de temperatura 802 están configurados para detectar la temperatura del flujo de aire de capa de límite en la superficie externa de la torre 100, para obtener la posición del desprendimiento de flujo de desviación. Según el fenómeno del desprendimiento de flujo de desviación descrito anteriormente, en la posición del desprendimiento de flujo de desviación, se produce un flujo contrario en la capa de límite y se forman vórtices, de modo que se perturba el flujo normal en la capa de límite, y el coeficiente de transferencia de calor en esta posición es el más alto, por tanto, la temperatura en ese lugar también es relativamente baja. Detectando la temperatura de toda la circunferencia de la torre 100, la posición en la que la temperatura es relativamente baja es tan sólo la posición del desprendimiento de flujo de desviación. Evidentemente, debido a la irradiación de luz solar, la temperatura y la posición del desprendimiento de flujo de desviación en un lado sombreado de la torre 100 es ligeramente inferior, y la otra posición del desprendimiento de flujo de desviación puede determinarse según la posición del desprendimiento de flujo de desviación con la temperatura ligeramente inferior y la posición del flujo incidente de barlovento. Específicamente, el flujo incidente de barlovento y el lado contra el viento de la torre 100 forman un punto de estancamiento (un punto de estancamiento de flujo de aire, que es una línea desde arriba hacia abajo en el lado contra el viento de la torre 100), el punto de estancamiento y las posiciones del desprendimiento de flujo de desviación en los dos lados de un lado a favor del viento de la torre 100 constituyen un triángulo isósceles en el plano horizontal. Por tanto, la otra posición del desprendimiento de flujo de desviación puede obtenerse con la ayuda de la relación de triángulo isósceles.

Tal como se muestra en la figura 8, cuando la luz solar irradia desde el sur, la temperatura en la cámara de succión 704 correspondiente al número de serie 3 es ligeramente inferior, y la temperatura de la cámara de succión 704

correspondiente al número de serie 8 es en realidad ligeramente superior. La posición del desprendimiento de flujo de desviación en un lado puede determinarse según la cámara de succión 704 correspondiente al número de serie 3, y la posición del desprendimiento de flujo de desviación en el otro lado puede determinarse según la posición orientada directamente hacia el flujo incidente de barlovento, es decir, la posición del desprendimiento de flujo de desviación obtenida mediante rotación en el sentido contrario a las agujas del reloj el mismo ángulo que el ángulo entre la posición del desprendimiento de flujo de desviación en un lado y la posición orientada directamente hacia el flujo incidente de barlovento desde la posición orientada directamente hacia el flujo incidente de barlovento está en la posición de la cámara de succión 704 correspondiente al número de serie 6.

El elemento de detección de temperatura 802 puede emitir una señal de temperatura detectada al controlador, el controlador evalúa y después determina la posición del desprendimiento de flujo de desviación, y después controla el aparato de succión para realizar succión en la cámara de succión correspondiente 704.

Tal como se muestra en la figura 13, un canal de detección de temperatura 100b puede estar previsto en la pared circunferencial de la torre 100, el canal de detección de temperatura 100b también se extiende a través de la pared circunferencial de la torre 100. Un extremo externo, cerca de la superficie externa de la torre 100, del elemento de detección de temperatura 802 (un extremo derecho en la figura 13) está configurado para detectar la temperatura de la capa de límite en la superficie externa de la torre 100, y un extremo interno (un extremo izquierdo en la figura 13), cerca de la superficie interna de la torre 100, del elemento de detección de temperatura 802 es un extremo de conexión 802a que puede emitir una señal al controlador. Evidentemente, el elemento de detección de temperatura 802 también puede emitir la señal de manera inalámbrica.

Una disposición de este tipo no sólo facilita que el elemento de detección de temperatura 802 detecte la temperatura del flujo de aire de capa de límite en la superficie externa de la torre 100, sino que también facilita la transmisión de señales. El canal de detección de temperatura 100b también puede funcionar para proteger el elemento de detección de temperatura 802 hasta un determinado punto. Puede entenderse que, basándose en la transferencia de calor, para una posición que tiene un alto coeficiente de intercambio de calor y una baja, de la superficie externa, su posición correspondiente en la superficie interna también tiene una temperatura ligeramente baja, por tanto, el elemento de detección de temperatura 802 también puede estar dispuesto en el lado interno de la torre 100 para detectar la temperatura de la superficie interna de la torre 100. Evidentemente, en sentido comparativo, resulta más preciso determinar la posición del desprendimiento de flujo de desviación según la temperatura, detectada por el elemento de detección de temperatura 802, de la capa de límite en la superficie externa.

A la vista de la solución en la figura 13, en la que el elemento de detección de temperatura 802 está dispuesto dentro del canal de detección de temperatura 100b en la pared circunferencial de la torre 100, una capa de aislamiento térmico 801 puede estar prevista entre el elemento de detección de temperatura 802 y una pared interna del canal de detección de temperatura 100b, para evitar que la temperatura detectada experimente interferencia por la temperatura de la pared circunferencial de la torre 100, de modo que sólo se mide la temperatura en la posición en la superficie externa de la torre 100. Además, puede proporcionarse una distancia predeterminada entre una abertura de extremo externo del canal de detección de temperatura 100b y el elemento de detección de temperatura 802, y la distancia predeterminada puede ser de 15 mm a 25 mm, es decir, el elemento de detección de temperatura puede estar retraído hacia el interior del canal de detección de temperatura 100b una determinada distancia, para permitir que detecte con precisión la temperatura de la capa de límite en la superficie externa sin verse afectado por la radiación de luz solar.

Además, puede seleccionarse un diámetro interno del canal de detección de temperatura 100b para que oscile desde 9 mm hasta 11 mm, lo cual resulta ventajoso para prevenir la entrada de radiación solar y para evitar interferencias en la medición del elemento de detección de temperatura 502. Además, para prevenir que entre agua de lluvia, arena, polvo y similares dentro de la torre 100 a través del canal de detección de temperatura 100b, puede proporcionarse además una protección en forma de paraguas o en forma de champiñón en la abertura de extremo externo del canal de detección de temperatura 100b.

Anteriormente se ha proporcionado un método para obtener la posición del desprendimiento de flujo de desviación según la temperatura de detección. Además de esto, la posición del desprendimiento de flujo de desviación también puede obtenerse mediante los siguientes métodos.

Pueden proporcionarse un sensor de velocidad del viento y un sensor de dirección del viento, para detectar la velocidad del viento y la dirección del viento para obtener la posición del desprendimiento de flujo de desviación. Haciendo referencia a la figura 14, la figura 14 es un gráfico que muestra que el número de Nusselt Nu en una superficie local de la torre varía con la variación de un ángulo del flujo de aire a tres números de Reynolds Re cuando el flujo de aire barre sobre la torre.

Pueden proporcionarse un sensor de velocidad del viento, un sensor de dirección del viento y un sensor de temperatura (según cantidades físicas implicadas en número de Reynolds), para medir la temperatura de flujo de aire, corregir el coeficiente de viscosidad del flujo de aire y corregir la densidad del flujo de aire, para obtener el número de Reynolds para obtener la posición del desprendimiento de flujo de desviación a través del número de Reynolds. El eje de coordenadas vertical es el número de Nusselt Nu , un número adimensional, que refleja indirectamente la magnitud del

coeficiente de transferencia de calor de superficie, y el eje de coordenadas horizontal representa un ángulo girado en el sentido de las agujas del reloj hacia la derecha desde el vector normal de una superficie de contacto del flujo incidente de barlovento en contacto con una superficie de pared de la torre, y el ángulo se define como φ (grados). Desde abajo hacia arriba, los números de Reynolds de las tres curvas consecutivas en la figura aumentan gradualmente, y tres valores de pico son de aproximadamente 110 grados a 125 grados, y también aumentan gradualmente de manera correspondiente. En este caso, los ángulos correspondientes a los tres "valores de pico" están justo en la posición correspondiente al flujo de retorno contra un gradiente de presión del desprendimiento de flujo de desviación, y, en esta posición, la tasa de intercambio de calor del flujo de aire con la pared externa de la torre es la más alta.

Se hace referencia a las figuras 15 y 16, la figura 15 es un diagrama de bloques de control que muestra la succión en la cavidad de succión en la figura 4, y la figura 16 es una vista esquemática que muestra que un dispositivo de monitorización de vibraciones 803 está dispuesto dentro de la torre 100.

Los métodos para determinar la posición del desprendimiento de flujo de desviación descritos anteriormente pueden realizarse al mismo tiempo, para verificarse el uno al otro y proporcionar redundancia el uno para el otro. En circunstancias normales, las posiciones del desprendimiento de flujo de desviación obtenidas mediante los dos métodos deben ser las mismas o sustancialmente las mismas. Si la desviación entre las dos posiciones es demasiado grande, puede haber un fallo en el elemento de detección de temperatura 802, o un fallo en el sensor de dirección del viento o el sensor de velocidad del viento. Después de determinarse adicionalmente el sensor con fallo, se determina la posición real del desprendimiento de flujo de desviación según los datos detectados por el sensor que no ha fallado.

Tal como se muestra en la figura 15, los dos métodos para determinar la posición del desprendimiento de flujo de desviación se realizan al mismo tiempo, y los datos detectados y los resultados determinados se realimentan al controlador al mismo tiempo. En la figura 15, se compara la señal de temperatura del elemento de detección de temperatura 802 mediante un comparador de señal de detección de temperatura para obtener un intervalo de la posición del desprendimiento de flujo de desviación. Evidentemente, también resulta viable que el controlador lo determine tras recibir los datos, o el comparador de señal de detección de temperatura puede ser un módulo unitario del controlador.

Además, de manera similar a la determinación de la posición del desprendimiento de flujo de desviación, las dos clases de métodos de determinación para determinar la posición del lado contra el viento también pueden realizarse al mismo tiempo, el controlador determina la posición real del lado contra el viento según la dirección del viento detectada por el sensor de dirección del viento y la situación de fluctuación de la presión detectada por el elemento de detección de presión 804.

Según las posiciones reales determinadas del desprendimiento de flujo de desviación y el lado contra el viento, el controlador emite una señal de control, para controlar la máquina de succión de aire 501 en el aparato de succión para encenderse, y controlar las válvulas de control eléctricas 505 de las cámaras de succión 704 correspondientes a las posiciones del desprendimiento de flujo de desviación y el lado contra el viento para que se activen para realizar la succión y, al mismo tiempo, controlar las válvulas de control eléctricas 505 de las cámaras de succión restantes 704 para que se desactiven, es decir, las válvulas de control eléctricas 505 correspondientes a las cámaras de succión 704 con los números de serie 1, 3, 6 y 8 se activan y las válvulas de control eléctricas 505 correspondientes a las cámaras de succión 704 con los números de serie 2, 4, 5 y 7 se desactivan en la figura 8.

Tal como se muestra en la figura 16, un dispositivo de monitorización de vibraciones 803 puede estar dispuesto dentro de la torre 100 para detectar la situación de vibración de la torre 100 y emitir señales de datos de vibración (amplitud, frecuencia de vibración, etc.) al controlador. El dispositivo de monitorización de vibraciones 803 puede estar dispuesto en la superficie interna de la torre 100, o puede estar dispuesto, por ejemplo, dentro la pared circunferencial de la torre 100 o en otras posiciones, y la disposición de disponer el dispositivo de monitorización de vibraciones 803 en la superficie interna de la torre 100 es sencilla y fácil de implementar. El controlador ajusta la máquina de succión de aire 501 según la realimentación del dispositivo de monitorización de vibraciones 803. Además de realizar los ajustes de iniciar y detener la máquina de succión de aire mostrada en la figura 15, el controlador puede controlar además la frecuencia y tensión de un motor que acciona la máquina de succión de aire 501, para implementar una regulación de velocidad de tensión variable y frecuencia variable en el motor, para lograr la regulación de una velocidad de flujo de succión de aire de la máquina de succión de aire 501.

Ajustar la potencia de la máquina de succión de aire 501 puede aumentar la velocidad de flujo de succión de aire cuando la vibración es fuerte, por ejemplo, y puede reducir la velocidad de flujo de succión de aire cuando se reduce la vibración. Además, la densidad de distribución de los orificios pasantes de succión 100a y un diámetro de agujero de los propios orificios pasantes de succión 100a pueden afectar al efecto de succión de aire (una periferia de una superficie externa del orificio pasante de succión 100a y el interior del orificio pueden encontrarse en una transición suave). La potencia de la máquina de succión de aire 501 es ajustable, de tal manera que la disposición de los orificios pasantes de succión 100a puede tener una mejor flexibilidad. Los orificios pasantes de succión 100a pueden estar dispuestos de manera secuencial o de una manera escalonada en la dirección circunferencial de la torre 100.

En el entorno de alta altitud, en la parte superior o ladera de una alta montaña, durante la instalación del sistema de generador de turbina eólica y la realización de la tarea de izar la torre 100, la información de estado de vibración obtenida mediante el dispositivo de monitorización de vibraciones 803 dispuesto puede transmitirse al terreno de manera inalámbrica, de modo que el personal de mando en el sitio puede controlar la información y llevar a cabo operaciones de izado de torre seguras.

El elemento de detección de presión 804 detecta la situación de fluctuación de presión para determinar el lado contra el viento, además de eso, la señal de presión detectada por el elemento de detección de presión 804 también puede ayudar a determinar la situación de variación del efecto de sombreado de torre después de realizarse la succión. Cuando se reduce o elimina la fluctuación de presión, resulta evidente que se logra el efecto de succión. Si la fluctuación de presión todavía es grande, la velocidad de flujo de succión de aire puede ajustarse en consecuencia, hasta que se reduce o elimina de manera evidente la fluctuación de presión. Además, a la vista de la eliminación del efecto de sombreado de torre, la velocidad de rotación del rotor 400 y la velocidad del viento actual (que puede detectarse por el sensor de velocidad del viento) están relacionadas con una frecuencia de apertura (la frecuencia de apertura se determina mediante la variación de la dirección del flujo de aire de barlovento) y un grado de apertura (el grado de apertura se determina mediante la variación de la magnitud de la velocidad del viento del flujo de aire de barlovento, cuanto mayor es la velocidad del viento, mayor es el grado de apertura) de la válvula de control eléctrica 505, que puede controlarse en consecuencia mediante el controlador.

Cuando las cámaras de succión 704 en el lado contra el viento y las posiciones del desprendimiento de flujo de desviación se abren al mismo tiempo, el controlador puede ajustar de manera exhaustiva la máquina de succión de aire 501 y el grado de apertura de las válvulas de control eléctricas 505 según las señales a partir de los elementos de detección de presión 804 y el dispositivo de monitorización de vibraciones 803.

Debe observarse que, en las realizaciones anteriores, los orificios pasantes de succión 100a están previstos únicamente en la parte superior de la torre 100. Con una disposición de este tipo, pueden lograrse los efectos técnicos adicionales descritos a continuación.

Debido a la presencia de los orificios pasantes de succión 100a en los que puede realizarse succión, el flujo incidente de barlovento se divide en diferentes segmentos cuando fluye alrededor de la torre 100. Un tipo de los segmentos corresponde a los orificios pasantes de succión 100a, en los que el número de Reynolds se aumenta significativamente de manera artificial. El flujo incidente de barlovento tiene una velocidad de flujo de derivación aumentada en este tipo de segmento, y se adhiere estrechamente a la superficie externa de la torre 100, sin provocar fenómenos de desprendimiento de capa de límite y calle de vórtices, lo cual obstruye la formación de vórtices en los dos lados en la parte trasera de la parte superior de la torre 100. Otro tipo de los segmentos no corresponde a los orificios pasantes de succión 100a de la torre 100, en este tipo de segmento, sin la ayuda de succión, el número de Reynolds no cambia, y la velocidad de flujo de derivación es baja.

Por tanto, en esencia, el método de proporcionar los orificios pasantes de succión 100a en el segmento de altura local perturba exhaustivamente la situación en la tecnología convencional de que las frecuencias de desprendimiento de vórtices en la parte superior y la parte inferior de la torre 100 son sistemáticas, debilitando de ese modo su acción conjunta, reduciendo o previniendo la respuesta de resonancia inducida por vórtices cuando se produce el desprendimiento de flujo de desviación en la capa de límite en la superficie externa de la torre 100, suprimiendo o previniendo por tanto directamente las vibraciones inducidas por vórtices en la parte superior de la torre 100.

La correlación es una característica importante de viento fluctuante, en este caso se refiere a velocidades del viento fluctuantes en dos puntos en el espacio o las presiones fluctuantes de dos puntos a diferentes alturas en la superficie de la torre 100.

$$\rho = \frac{\overline{u'(Z_1)u'(Z_2)}}{\sigma_u(Z_1)\sigma_u(Z_2)},$$

Un coeficiente de correlación ρ se define como

a dos alturas diferentes (Z_1, Z_2), la covarianza de las velocidades del viento fluctuantes se define de la siguiente manera:

$$\overline{u'(Z_1)u'(Z_2)} = \frac{1}{T} \int_0^T [U(Z_1, t) - \bar{U}(Z_1)] [U(Z_2, t) - \bar{U}(Z_2)] dt$$

por tanto, la covarianza es el promedio en el tiempo del producto de las velocidades del viento fluctuantes a las dos alturas. A los valores de velocidad del viento en el lado derecho de la ecuación se les restan sus valores promedio

respectivos $\overline{U}(Z_1)$ y $\overline{U}(Z_2)$ respectivamente.

En matemáticas, la fórmula de la desviación estándar puede escribirse como:

$$\sigma_u = \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T [U(t) - \overline{U}(Z)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}},$$

donde, $U(t)$ representa una componente de velocidad del viento en una dirección de una velocidad del viento promedio, y es igual a $\overline{U}(Z) + u(t)$, y

$u(t)$ es una componente de turbulencia en la dirección de sotavento, es decir, la componente de velocidad del viento fluctuante en la dirección de la velocidad del viento promedio.

El numerador representa la covarianza de las velocidades del viento fluctuantes, y las velocidades del viento fluctuantes a dos alturas diferentes de la torre 100 son diferentes.

La covarianza es el promedio en el tiempo del producto de las velocidades del viento fluctuantes a las dos alturas.

La intensidad global de turbulencia puede medirse mediante la desviación estándar de la velocidad del viento o media cuadrática, se resta una componente promedio de la velocidad del viento, y después se usa la desviación para cuantificar una parte restante, se eleva la desviación al cuadrado y después se calcula el promedio, y finalmente se extrae el valor promedio, para obtener una cantidad física que tiene una unidad de la velocidad del viento, de ese modo se obtiene la desviación estándar. Según la fórmula de definición del coeficiente de correlación, el coeficiente de correlación entre dos velocidades del viento a diferentes alturas se obtiene mediante la covarianza de las velocidades del viento a diferentes alturas dividida entre la desviación estándar. Una correlación más pequeña es mejor, con una pequeña correlación, puede dificultarse que las frecuencias de vórtices que se desprenden a diferentes alturas después de formarse los vórtices sean sistemáticas, y se perturba la acumulación y el aumento de la energía de resonancia inducida por vórtices provocada por la sistematicidad del de las frecuencias de desprendimiento de vórtices, es decir, previniendo el aumento de las resonancias inducidas por vórtices, e incluso provocando que desaparezcan las resonancias inducidas por vórtices.

El valor al cuadrado medio de la fuerza del viento fluctuante total en la superficie de la estructura de la torre 100 es

$F^2 = f[\rho(y_i - y_j)]$, donde y_i, y_j son dos puntos en la dirección vertical, y $\rho(y_i - y_j)$ es el coeficiente de correlación de fuerzas del viento fluctuantes de cada segmento.

A partir de la descripción anterior debe apreciarse, en la dirección de altura, que la pared circunferencial de la torre 100 está dotada del segmento que tiene los orificios pasantes de succión 100a y el segmento sin orificios pasantes de succión 100a, perturbando de ese modo la correlación entre la parte superior y la parte inferior, debilitando o eliminando vibraciones inducidas por vórtices. Sin embargo, las fuerzas inducidas por vórtices en el acoplamiento de fluido-estructura no se distribuyen de manera uniforme en la superficie externa de la torre 100 en una dirección de altura, y la energía de la fuerza inducida por vórtices está más concentrada en la parte superior de la torre 100, de modo que los orificios pasantes de succión 100a pueden estar dispuestos únicamente en la parte superior de la torre 100, lo cual puede no sólo reducir el daño provocado por las vibraciones de una manera más dirigida, sino además romper la correlación entre la parte superior y la parte inferior. Evidentemente, resulta viable proporcionar los orificios pasantes de succión 100a en una posición distinta de la parte superior en la dirección de altura o proporcionar los orificios pasantes de succión 100a en múltiples segmentos a diferentes alturas.

Tal como se muestra en la figura 17, la figura 17 una vista esquemática que muestra la comparación entre una región dotada de con orificios pasantes de succión 100a en la figura 4 y una longitud de la pala 400a.

En el caso en el que los orificios pasantes de succión 100a sólo están dispuestos en la parte superior de la torre, cuando se aborda el efecto de sombreado de torre, resulta preferible que la región dotada de los orificios pasantes de succión 100a cubra la región de la longitud de la pala 400a. En la figura 17, una parte inferior de la región dotada de los orificios pasantes de succión 100a está a nivel con, o ligeramente por debajo de, un punto más bajo de la pala 400a, y limitada por la parte superior de la torre 100, una parte superior de la región dotada de los orificios pasantes de succión 100a no alcanza un borde superior de la torre. En la figura, la longitud de la pala 400a es específicamente L, y una altura de la región de los orificios pasantes de succión 100a es de aproximadamente 0,6 L.

Las realizaciones descritas anteriormente pueden optimizarse de manera adicional.

Tal como se muestra en la figura 4, aberturas de descarga de aire 500b del aparato de succión pueden estar ubicadas en la parte inferior en la torre 100, lo cual puede entenderse con referencia a la figura 18. La figura 18 es una vista esquemática que muestra una trayectoria de flujo de aire del flujo de aire descargado en la figura 4 después de que el flujo de aire suba hasta la parte superior de la torre 100.

En el caso en el que las aberturas de descarga de aire 500b están ubicadas en la parte inferior en la torre 100, el flujo de aire descargado desde las aberturas de descarga de aire 500b puede recopilarse de manera continua en la parte inferior de la torre 100 en una gran cantidad, generando de ese modo una presión positiva, y formando un flujo de aire de presión positiva, para empujar el aire (flujo de aire caliente generado mediante equipos eléctricos tales como un transformador o convertidor de alta potencia) en la parte inferior de la torre 100 y en la torre 100 hacia arriba. El efecto de empuje permite que el flujo de aire caliente dentro de la torre 100 (un transformador de alta potencia y diversos equipos eléctricos están dispuestos dentro de la torre 100, que es el cerramiento que soporta el aparato de generación de energía eólica, y todos ellos generan pérdida de energía eléctrica en funcionamiento, y la pérdida se transforma en energía térmica que se disipa al entorno interno de la torre, para calentar el aire en el entorno interno de la torre 100, por tanto se forma el aire caliente) se mueva totalmente hacia arriba a una velocidad acelerada (el flujo de aire caliente se somete a acción conjunta de su propia fuerza de elevación y el aire descargado desde las aberturas de descarga de aire 500b, y un efecto de apilamiento). El flujo de aire caliente entra en el buje a través del generador de potencia 300 o la góndola 200 en la parte superior de la torre 100, forma una presión positiva dentro del buje, y pasa por un servomotor de variación de paso 901 y una superficie del armario de control eléctrico 903 de un servosistema de variación de paso, para generar intercambio de calor por convección, y producir un efecto de enfriamiento.

Al mismo tiempo, el aire después del intercambio de calor, que porta calor, se expulsa desde la raíz del rotor 400, y, en el procedimiento de expulsarse, puede a su vez bloquear agua de lluvia o arena y polvo portados por el flujo incidente de barlovento para que no entre en una campana de guiado de flujo 902 (o entre en el buje), lo cual es equivalente a tener una función de bloqueo, para mantener un buen entorno interno sellado. Cuando el flujo de aire se expulsa desde la raíz del rotor 400, la velocidad del flujo de aire puede alcanzar aproximadamente 0,5 m/s, y en el caso de flujo de aire con arena-polvo, la velocidad puede aumentar hasta 1 m/s, lo cual es suficiente para desempeñar la función de bloqueo anteriormente mencionada sin afectar de manera adversa a la fuerza circunferencial de rotor aplicada por el flujo incidente de barlovento sobre el rotor 400.

El flujo de aire con arena-polvo anteriormente mencionado se forma porque, en los parques eólicos sin vegetación para cubrir el terreno, tales como parques eólicos en zonas de sequía o desérticas, pueden portarse partículas sólidas, incluyendo arena o polvo, en el flujo de aire. Las partículas sólidas pueden entrar en el buje en las raíces de las palas, lo cual provoca contaminación, afecta de manera adversa a la disipación de calor de los equipos eléctricos, y afecta adversamente a la vida útil de lubricación del cojinete de los ejes de componentes rotatorios. Por tanto, es necesario intentar prevenir que el flujo de aire con arena-polvo entre en el espacio interno del buje y, en este caso, el aumento de flujo de aire caliente logra precisamente esta función.

A la vista de esto, después de succionarse desde la cavidad de succión se descarga desde la parte inferior de la torre 100, el flujo de aire también funciona para enfriar el sistema de variación de paso mediante intercambio de calor y bloquear impurezas para que no entren en el sistema de variación de paso. Para facilitar que el flujo de aire descargado suba dentro de la torre 100 de manera relativamente uniforme, puede proporcionarse una tubería principal de confluencia de descarga de aire 503. La tubería principal de confluencia de descarga de aire 503 está dispuesta en una forma anular y está dotada de múltiples aberturas de descarga de aire 500b distribuidas de manera uniforme en la dirección circunferencial, por tanto, el aire puede descargarse de manera uniforme en un mayor intervalo, y una tubería de transporte 502 está formada entre la máquina de succión de aire 501 y la tubería principal de confluencia de descarga de aire 500b. Tal como se muestra en la figura 4, después de recopilarse en la parte inferior de la torre 100, el flujo de aire descargado sube hacia arriba y se descarga expulsándose, para formar una trayectoria K.

Además, el propio flujo de aire descargado es el aire succionado desde la cavidad de succión, es decir, el aire fuera de la torre 100 succionado desde los orificios pasantes de succión 100a, el flujo de aire es flujo de aire que tiene una temperatura ambiental natural. En el procedimiento de recopilarse en la parte inferior de la torre 100 y empujarse para subir hacia arriba, el flujo de aire intercambia calor con los elementos y equipos que genera calor dentro de la torre 100 para enfriarlos, lo cual es equivalente a introducir una "fuente fría" externa para enfriar el interior de la torre 100, y expulsar el aire caliente dentro de la torre. Durante mucho tiempo, los inventores observaron el procedimiento en el que el rotor rota para realizar trabajo de manera pasiva desde el punto de vista de la esencia de la segunda ley de la termodinámica (es decir, las condiciones para la conversión de energía de baja calidad en energía de alta calidad, y la manera de mejorar la calidad de la energía), y la solución en esta realización se establece en la acción del concepto de guiado de la segunda ley de la termodinámica sobre la pérdida de energía irreversible en el procedimiento de conversión de energía.

Anteriormente se mencionó filtrar el flujo de aire succionado, en este caso, con el flujo de aire filtrado, puede prevenirse que los componentes en la parte superior de la torre 100 y dentro de la torre 100, tales como la góndola 200, se dañen por impurezas en el procedimiento de subida del flujo de aire.

Puede observarse que el flujo de aire en la capa de límite en la superficie externa de la torre 100 se succiona hasta el interior de la torre 100 según esta realización, de tal manera que no sólo puede debilitarse o eliminarse el efecto de sombreado de torre y pueden prevenirse las vibraciones inducidas por vórtices provocadas por el desprendimiento de la capa de límite, sino que además puede introducirse una fuente fría de aire externo para enfriar mediante intercambio de calor. Debe entenderse que el flujo de aire succionado por el aparato de succión también puede no descargarse al interior de la torre 100, sino descargarse al exterior. O, puede configurarse que el aire pueda descargarse a través de las aberturas de descarga de aire 500b tanto al exterior de la torre 100 como al interior de la torre 100. De esta manera, cuando el flujo de aire exterior no puede tener un efecto de enfriamiento debido a una alta temperatura, puede descargarse al exterior. Evidentemente, además de enfriamiento, el efecto de empujar el flujo de aire caliente dentro de la torre 100 hacia fuera y el efecto de bloqueo logrado por el flujo de aire positivo formado también son factores que pueden tenerse en cuenta cuando se elige descargar el flujo de aire al exterior o al interior.

El aparato de succión puede estar equipado además con un deshumidificador para deshumidificar el aire succionado desde los orificios pasantes de succión 100a, es decir, para obtener un flujo de aire seco, de modo que, cuando se aprieta el flujo de aire seco para descargarse desde el interior de la torre 100 o desde la parte superior de la torre 100, puede prevenirse que se dañen otros elementos eléctricos.

El deshumidificador puede estar dispuesto en una derivación, es decir, el aire succionado desde los orificios pasantes de succión 100a puede deshumidificarse mediante el deshumidificador en el procedimiento de descargarse, y también puede descargarse directamente evitando el deshumidificador en una estación seca o en un entorno seco.

Con la torre 100 y el método según las realizaciones anteriores, pueden debilitarse o eliminarse los efectos adversos del efecto de sombreado de torre. También pueden suprimirse las vibraciones inducidas por vórtices. Evidentemente, en comparación con el método del alambre en espiral mencionado en la tecnología de antecedentes, el método de realizar succión en los orificios pasantes de succión 100a para adsorber la capa de límite suprime o previene directamente la causa de las vibraciones inducidas por vórtices y tiene un mejor efecto de supresión de vibraciones. Además, la intensidad de succión puede ajustarse en cualquier momento durante la succión según el estado de vibración, logrando por tanto una mayor flexibilidad sin el requisito de un coste superior. Además, evidentemente, en comparación con el ruido generado cuando el flujo incidente de barlovento entra en contacto con el alambre en espiral en la tecnología de antecedentes, el ruido generado en la succión en los orificios pasantes de succión 100a puede reducirse significativamente, y puede cumplir los requisitos de reglamentos medioambientales. Además, el método de succión siempre puede funcionar para suprimir las vibraciones inducidas por vórtices ya sea en el procedimiento de izado o en el procedimiento de funcionamiento del sistema de generador de turbina eólica. En el caso en el que el flujo de aire succionado se descarga hacia el interior de la torre, pueden lograrse las funciones anteriormente descritas de enfriamiento mediante intercambio de calor y de bloqueo. El flujo de aire succionado puede tener ciertas funciones de enfriamiento y de bloqueo aunque no se descargue desde la parte inferior, siempre que se descargue al interior de la torre. Y en el caso en el que el flujo de aire succionado se descarga desde la parte inferior, los efectos de enfriamiento y de bloqueo pueden ser mejores debido a los efectos de elevación y de empuje del flujo de aire succionado.

Debe observarse que, para la torre 100 dotada de los orificios pasantes de succión 100a en la dirección circunferencial, la succión puede realizarse únicamente en el lado contra el viento, o únicamente en la posición del desprendimiento de flujo de desviación, o únicamente en las dos posiciones anteriores, y también puede realizarse en la dirección circunferencial global.

Las realizaciones anteriormente descritas son únicamente realizaciones preferidas de la presente solicitud, y debe observarse que, para los expertos en la técnica, pueden realizarse varias mejoras y modificaciones sin alejarse del principio de la presente solicitud, y debe considerarse que estas mejoras y modificaciones también se encuentran dentro del alcance de protección de la presente solicitud, que se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una torre (100), estando la torre (100) dotada de orificios pasantes de succión (100a) que se extienden a través de una pared circunferencial de la torre, en la que los orificios pasantes de succión (100a) están distribuidos en una dirección circunferencial de la torre (100); la torre (100) está dotada además de un aparato de succión, y el aparato de succión está configurado para realizar succión en los orificios pasantes de succión (100a) desde el exterior hacia el interior; y
una cubierta (701) está dispuesta en la torre (100), y una cavidad de succión anular cerrada está encerrada por la cubierta (701) y una superficie interna de una región, dotada de los orificios pasantes de succión (100a), de la torre (100); el aparato de succión está configurado para realizar succión en la cavidad de succión, para implementar la succión en los orificios pasantes de succión (100a) desde el exterior hacia el interior; caracterizada porque
hay elementos de división (702) dispuestos además en la cavidad de succión, y la cavidad de succión está dividida, mediante los elementos de división (702), en una pluralidad de cámaras de succión (704) distribuidas en la dirección circunferencial; la torre comprende además un controlador, y el controlador está configurado para controlar el aparato de succión para realizar succión en las cámaras de succión (704) correspondientes a un lado contra el viento de la torre (100).
2. La torre según la reivindicación 1, que comprende además un sensor de dirección del viento, en la que el controlador está configurado para determinar el lado contra el viento según una dirección del viento detectada por el sensor de dirección del viento, y determinar además las cámaras de succión (704) correspondientes al lado contra el viento.
3. La torre según la reivindicación 1, en la que un flujo incidente de barlovento forma un desprendimiento de flujo de desviación cuando fluye alrededor de la torre (100), y el aparato de succión está configurado para realizar además succión en las cámaras de succión (704) correspondientes a la posición del desprendimiento de flujo de desviación.
4. La torre según la reivindicación 3, en la que la torre (100) está dotada además de una pluralidad de elementos de detección de temperatura (802) y/o elementos de detección de presión (804) distribuidos en la dirección circunferencial de la torre; los elementos de detección de temperatura (802) están configurados para detectar una temperatura de una capa de límite de flujo de aire en una superficie externa de la torre (100), y el controlador está configurado para obtener la posición del desprendimiento de flujo de desviación según la temperatura de la capa de límite; los elementos de detección de presión (804) están configurados para detectar una presión en la superficie externa de la torre (100), y el controlador está configurado para determinar el lado contra el viento según una variación de la presión.
5. La torre según la reivindicación 4, en la que la torre (100) está dotada de un canal de detección de temperatura (100b) y/o un canal de detección de presión (100c) que se extienden ambos a través de la pared circunferencial de la torre, el elemento de detección de temperatura (802) está dispuesto en el canal de detección de temperatura (100b), y el elemento de detección de presión (804) está dispuesto en el canal de detección de presión (100c).
6. La torre según la reivindicación 5, en la que una capa de aislamiento térmico (801) está prevista entre el elemento de detección de temperatura (802) y una pared interna del canal de detección de temperatura (100b); una distancia predeterminada está prevista entre el elemento de detección de temperatura (802) y una abertura de extremo externo del canal de detección de temperatura (100b), y la distancia predeterminada oscila desde 15 mm hasta 25 mm.
7. La torre según la reivindicación 1 o 3, en la que el aparato de succión tiene una pluralidad de aberturas de succión (500a) correspondientes a la pluralidad de cámaras de succión (704) respectivamente, y una válvula de conmutación está prevista entre cada una de las aberturas de succión (500a) y la cámara de succión correspondiente (704); en el caso en el que el aparato de succión se controla por el controlador para realizar succión en la cámara de succión correspondiente (704), el controlador está configurado para controlar las válvulas de conmutación correspondientes a las cámaras de succión restantes (704) para que se desactiven; y
el aparato de succión comprende una tubería principal de confluencia de succión (504) y una máquina de succión de aire (501), y las aberturas de succión (500a) están en comunicación con la máquina de succión de aire (501) a través de la tubería principal de confluencia de succión (504).
8. La torre según la reivindicación 7, que comprende además un sensor de velocidad del viento y un sensor de dirección del viento configurados para obtener una posición del desprendimiento de flujo de desviación y el lado contra el viento, y la válvula de conmutación es una válvula de control eléctrica (505); y

- la torre (100) está dotada además de una pluralidad de elementos de detección de temperatura (802) y/o elementos de detección de presión (804) distribuidos en la dirección circunferencial de la torre; los elementos de detección de temperatura (802) están configurados para detectar una temperatura de una capa de límite de flujo de aire en una superficie externa de la torre (100), para obtener una posición del desprendimiento de flujo de desviación, y los elementos de detección de presión (804) están configurados para detectar una presión en la superficie externa de la torre (100), para obtener el lado contra el viento según una variación de la presión;
- el controlador está configurado para determinar una posición real del desprendimiento de flujo de desviación según la posición del desprendimiento de flujo de desviación obtenida mediante los elementos de detección de temperatura (802) y la posición del desprendimiento de flujo de desviación obtenida por el sensor de velocidad del viento y el sensor de dirección del viento, y el controlador está configurado para determinar un lado contra el viento real según el lado contra el viento obtenido mediante los elementos de detección de presión (804) y el lado contra el viento obtenido por el sensor de dirección del viento;
- el controlador está configurado para controlar el aparato de succión para encenderse y, al mismo tiempo, las válvulas de control eléctricas (505) correspondientes al lado contra el viento real y la posición real del desprendimiento de flujo de desviación se controlan para que se activen, y el resto de las válvulas de control eléctricas (505) se controlan para que se desactiven; y
- los orificios pasantes de succión (100a) están previstos únicamente en una parte superior de la torre (100).
9. La torre según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 y 8, en la que una salida de aire (500b) del aparato de succión está ubicada en una parte inferior en la torre (100); y
- el aparato de succión comprende una tubería principal de confluencia de descarga de aire (503) que es anular, y flujo de aire succionado por el aparato de succión se descarga a través de la tubería principal de confluencia de descarga de aire (503); o una sección de filtración de aire (703) está prevista entre la cavidad de succión y la abertura de succión (500a) del aparato de succión; o el aparato de succión comprende un deshumidificador configurado para deshumidificar el flujo de aire succionado desde los orificios pasantes de succión (100a).
10. La torre según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en la que el aparato de succión está configurado para realizar succión al menos en los orificios pasantes de succión (100a) en un lado contra el viento de la torre (100) desde el exterior hacia el interior.
11. La torre según la reivindicación 10, en la que una parte inferior de una región dotada de los orificios pasantes de succión (100a) está a nivel con, o ligeramente por debajo de, un punto más bajo de una pala (400a) en una parte superior de la torre (100); y/o
- la torre está dotada además de un sensor de medición de ángulo, para detectar si la pala (400a) en la parte superior de la torre (100) oscila a un espacio convergente-divergente; el espacio convergente-divergente es un espacio formado entre la pala (400a) y una pared externa de la torre (100) cuando la pala (400a) pasa por un lado frontal directo de la torre (100).
12. Un aparato de generación de energía eólica, que comprende una torre (100), y una góndola (200), un generador (300) y un rotor (400) que están ubicados en una parte superior de la torre (100), caracterizado porque,
- la torre (100) es la torre (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

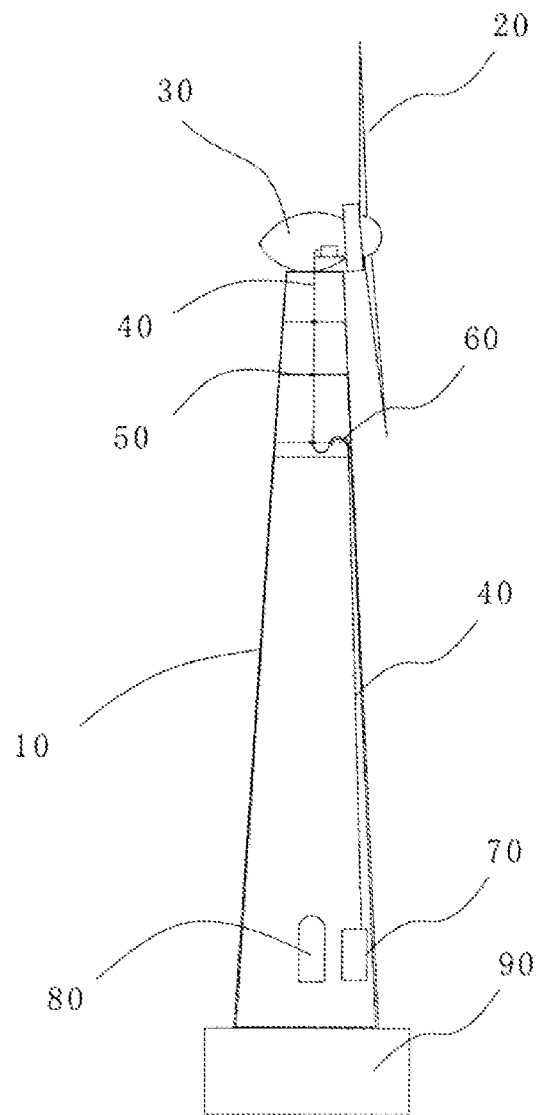


Figura 1-1

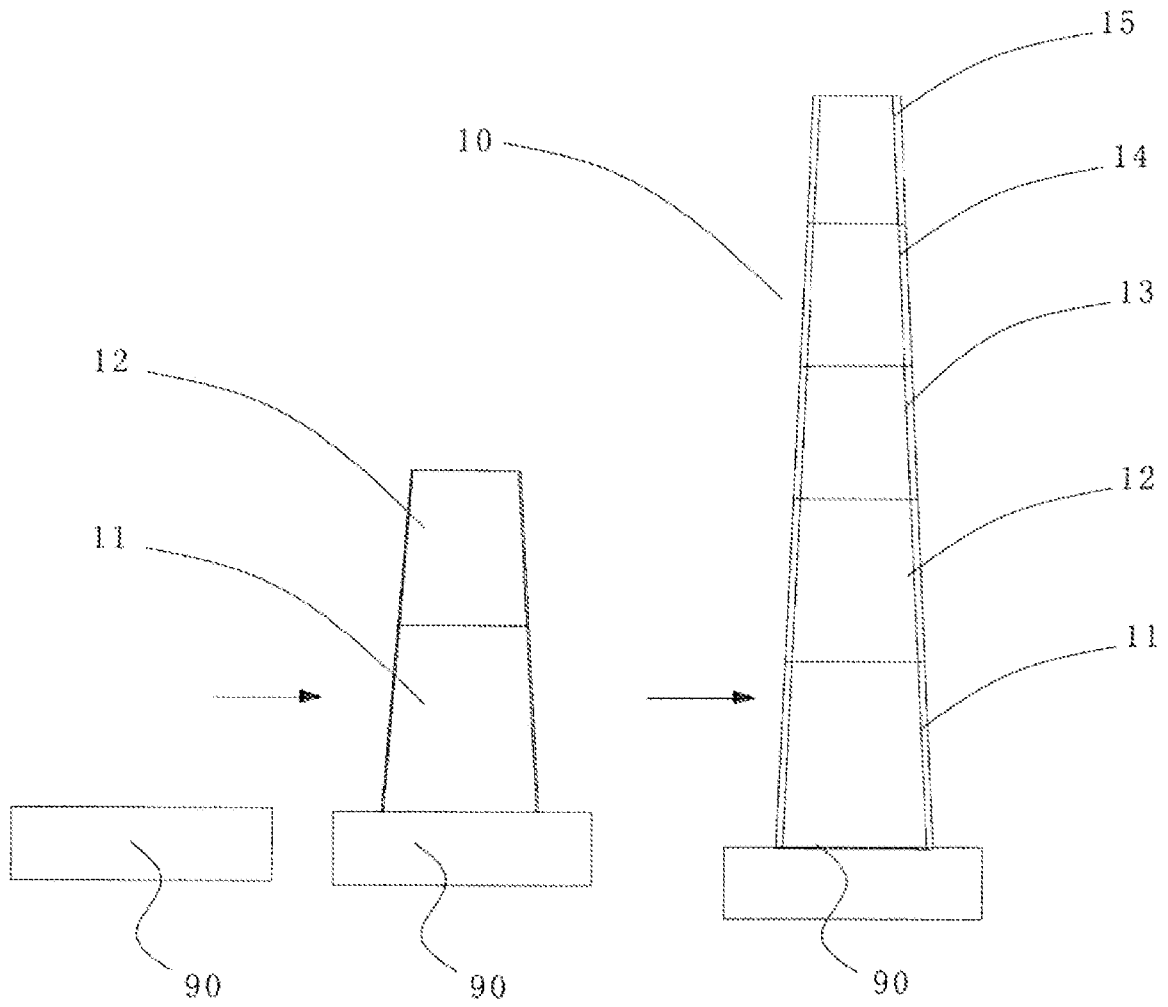


Figura 1-2

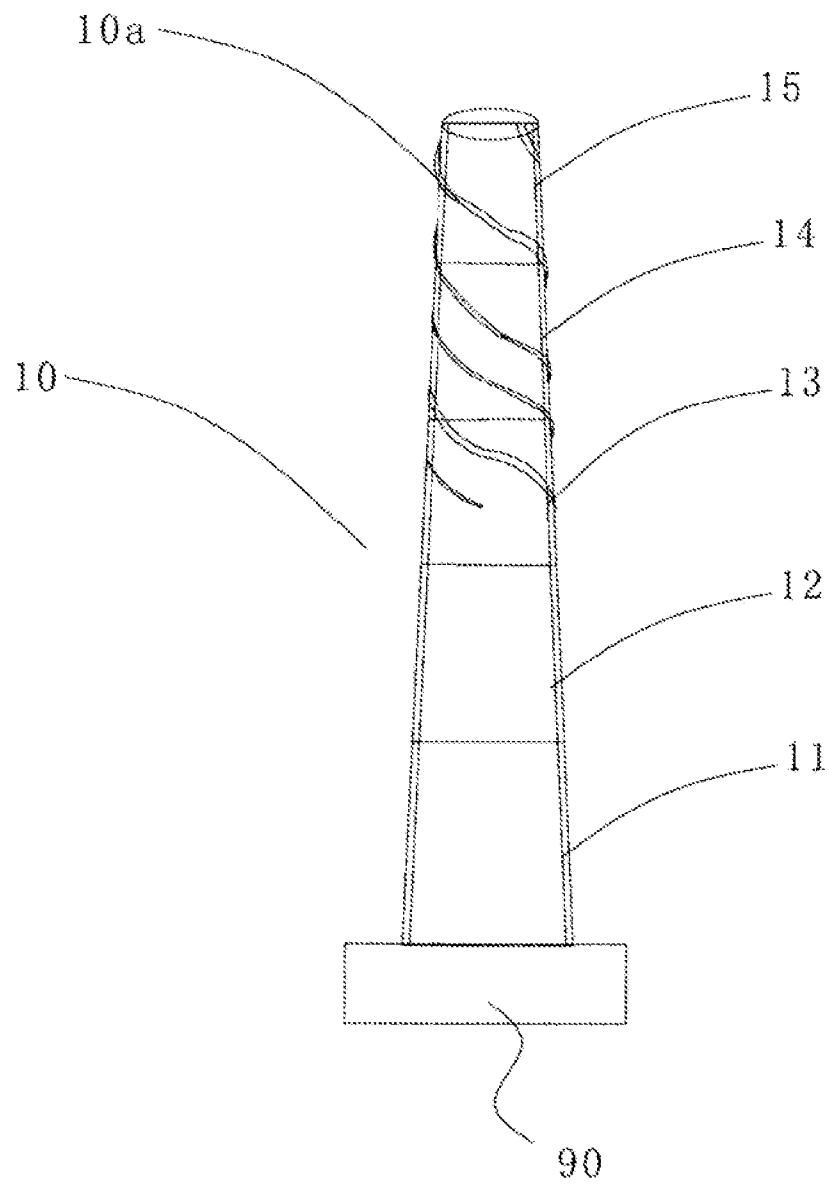


Figura 2

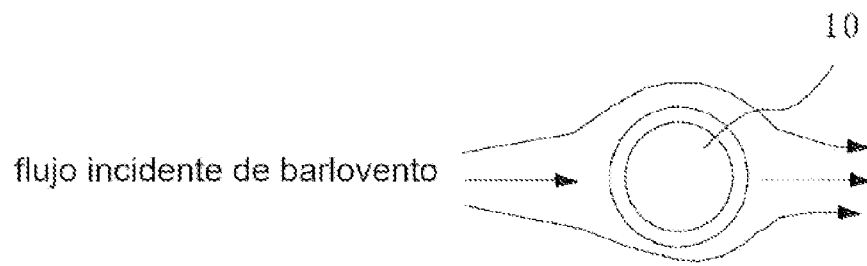


Figura 3-1

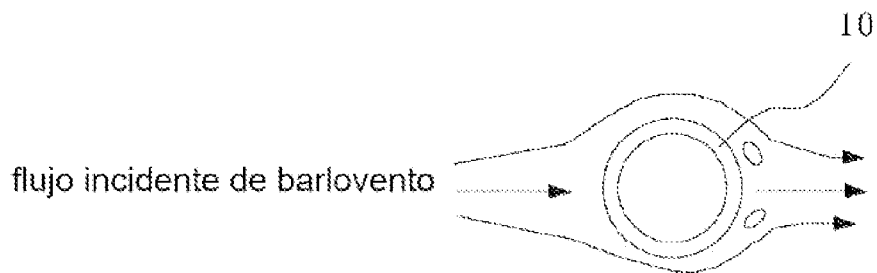


Figura 3-2

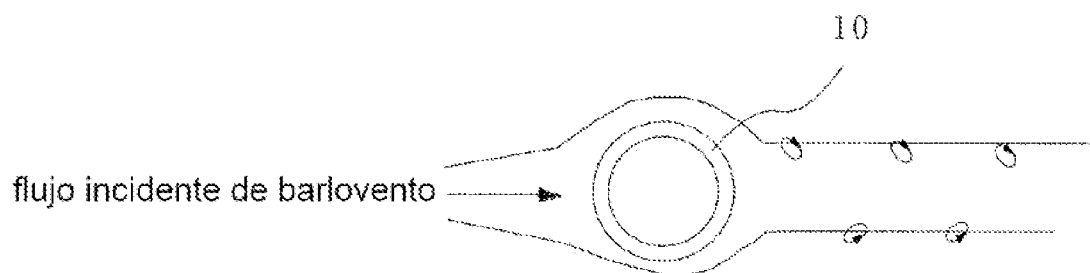


Figura 3-3

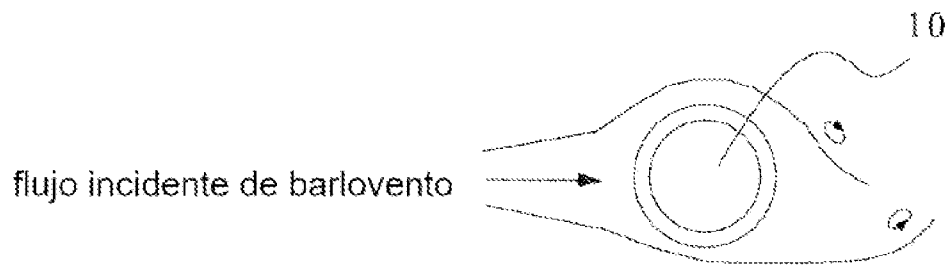


Figura 3-4



Figura 3-5

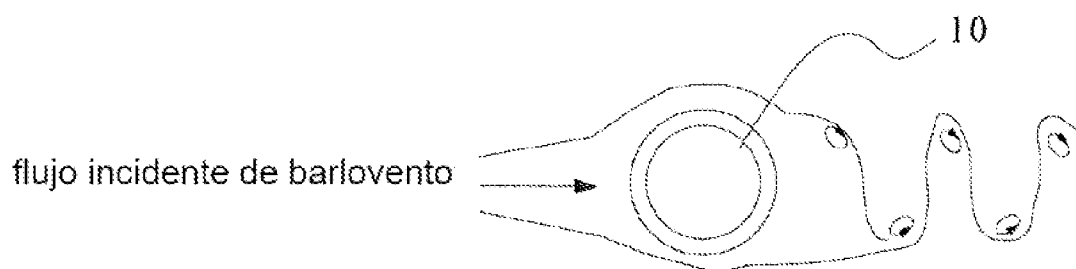


Figura 3-6

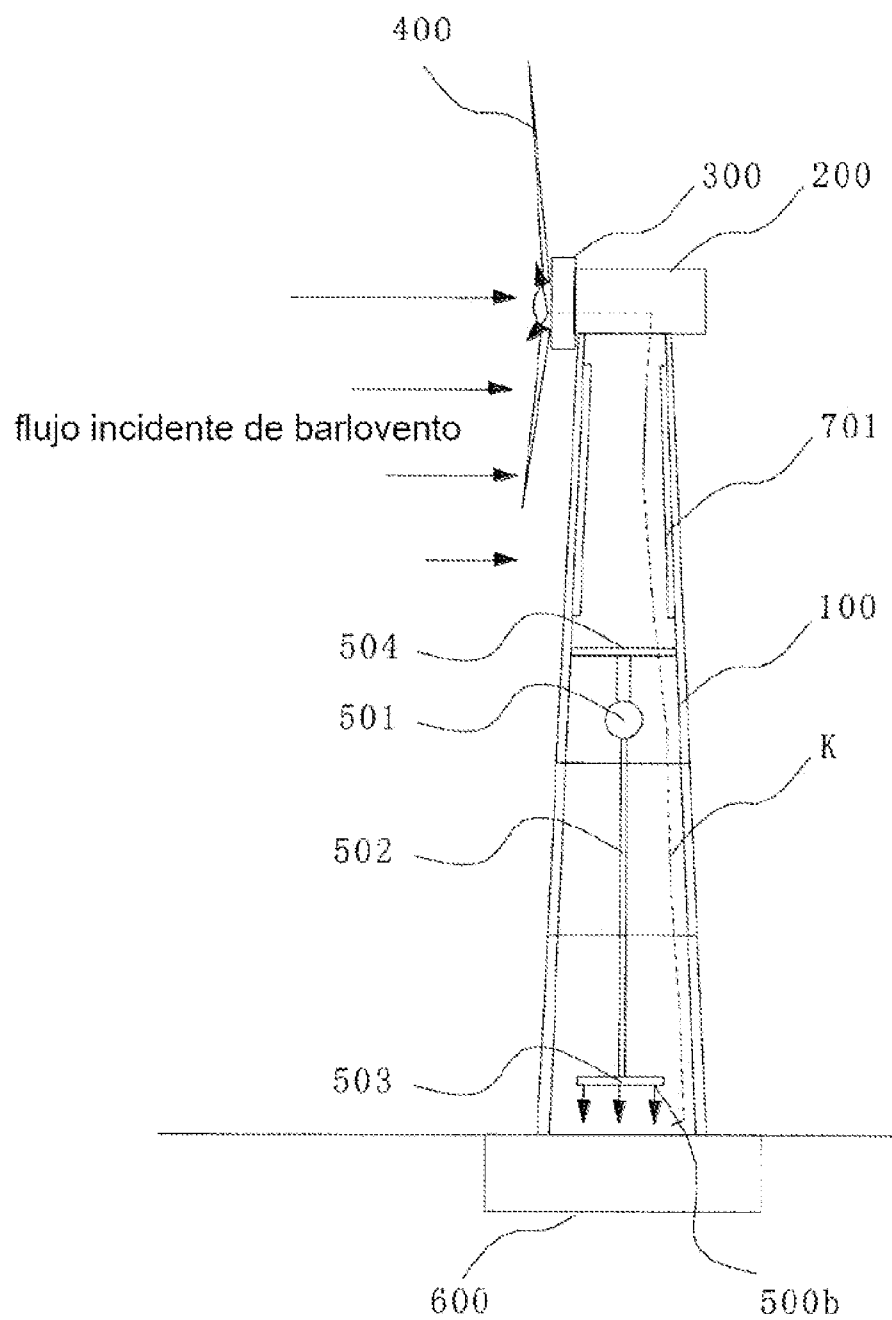


Figura 4

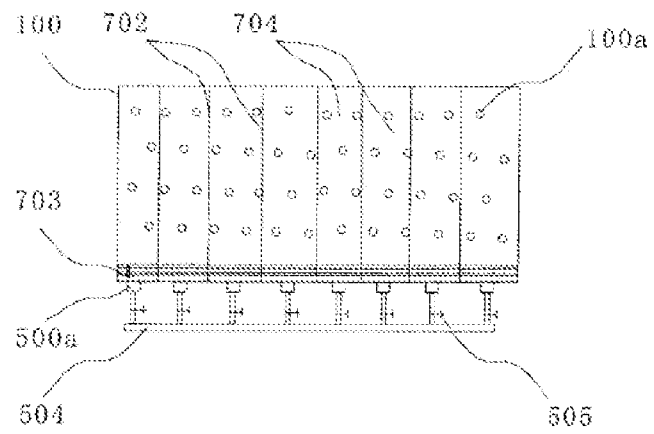


Figura 5

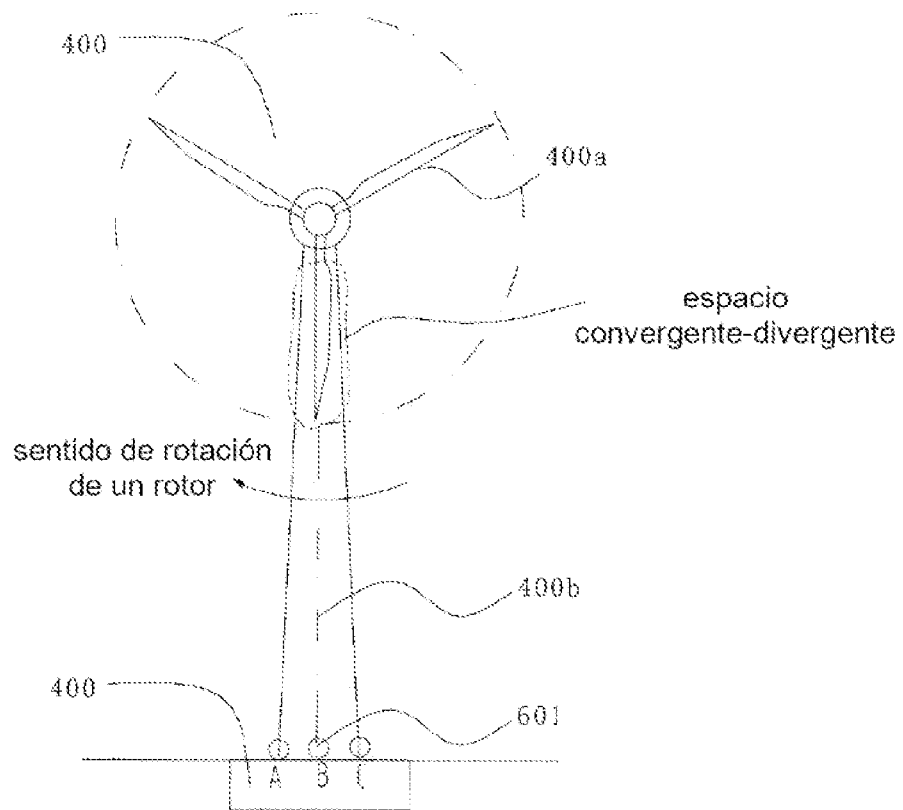


Figura 6

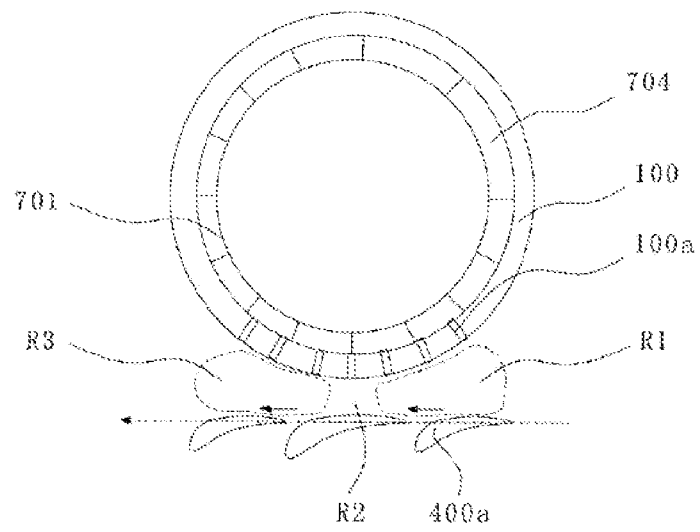


Figura 7

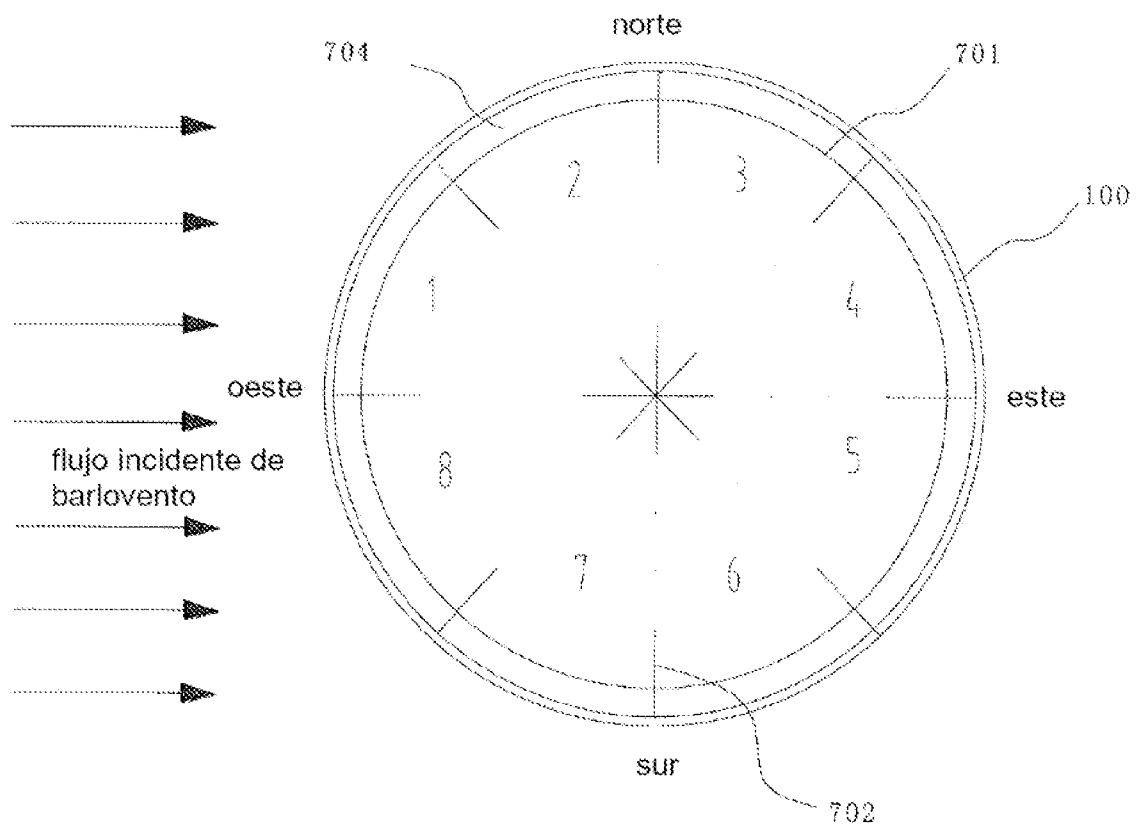


Figura 8

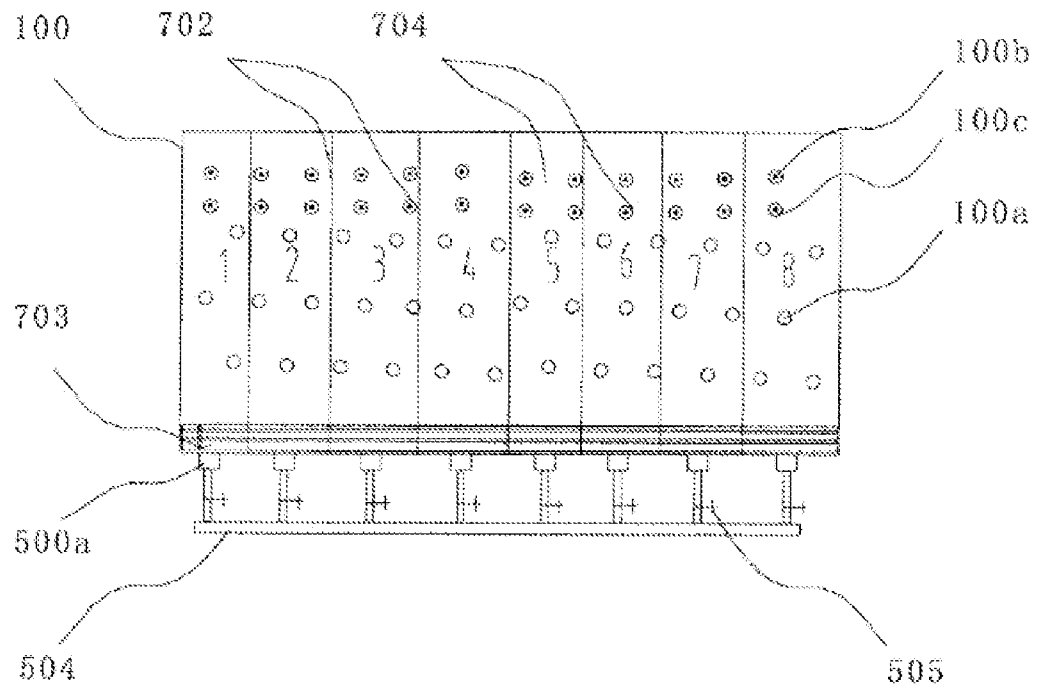


Figura 9

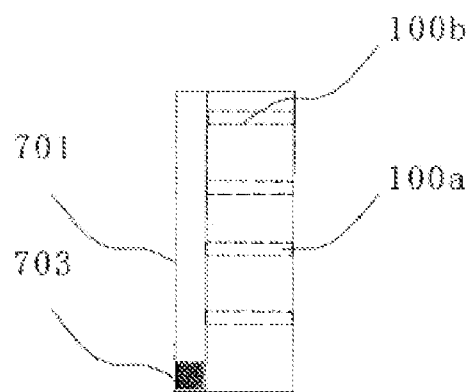


Figura 10

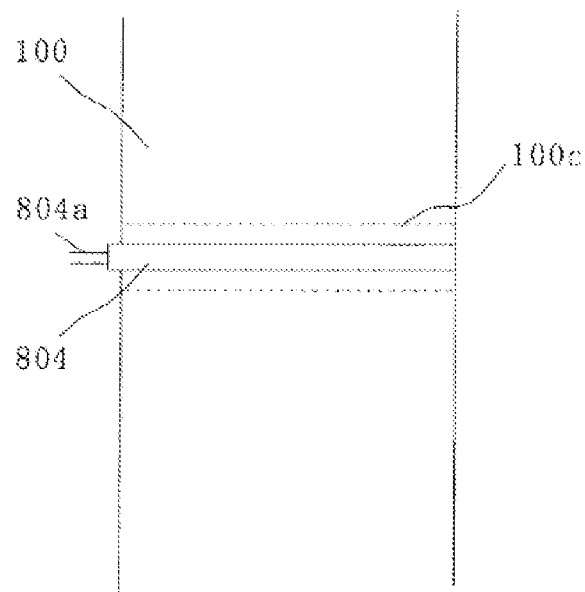


Figura 11

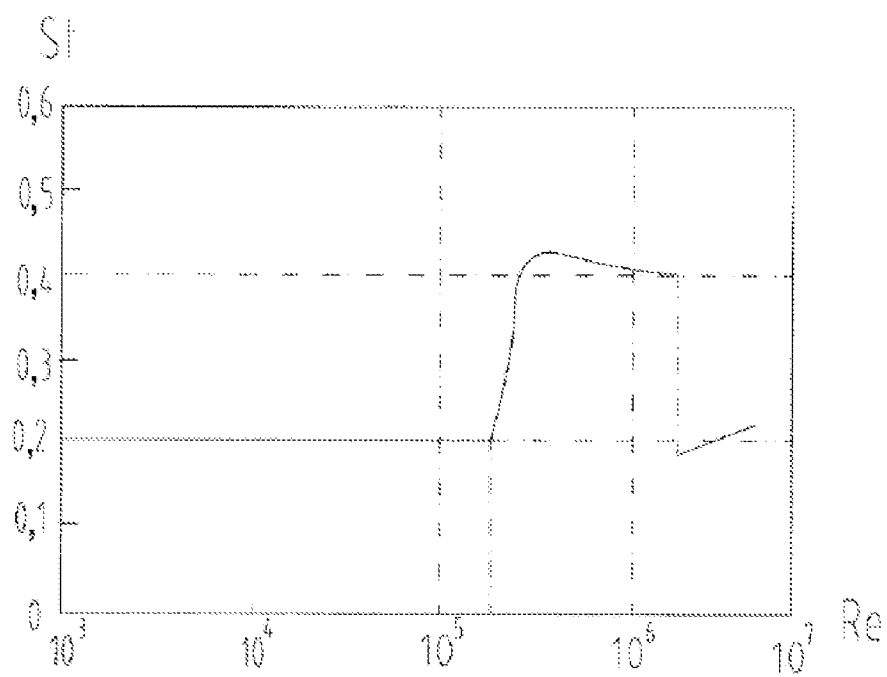


Figura 12

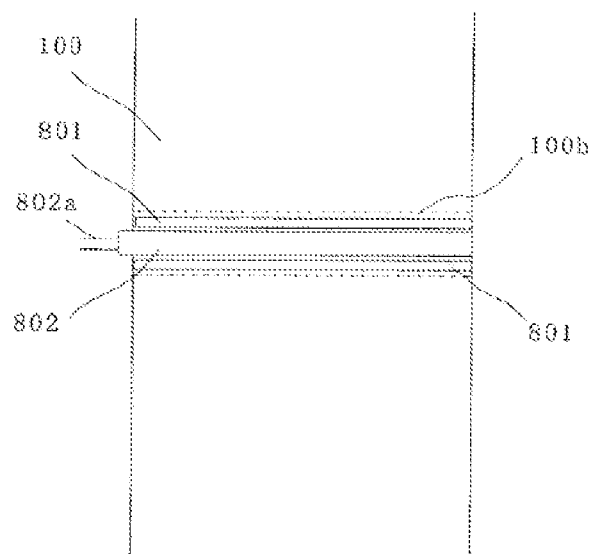


Figura 13

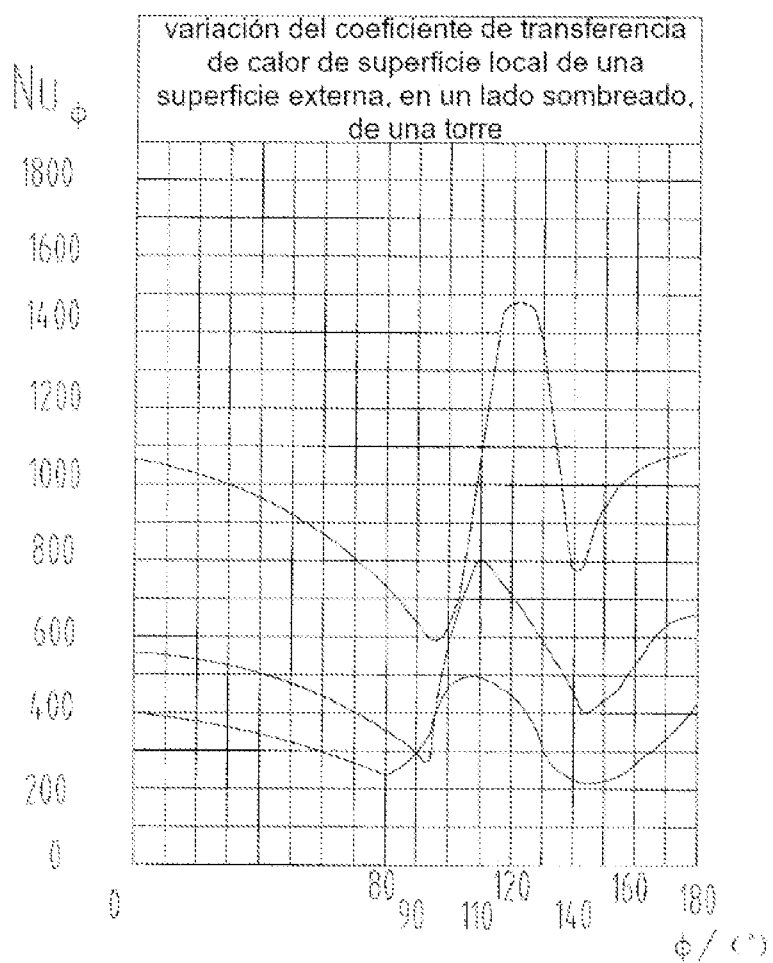


Figura 14

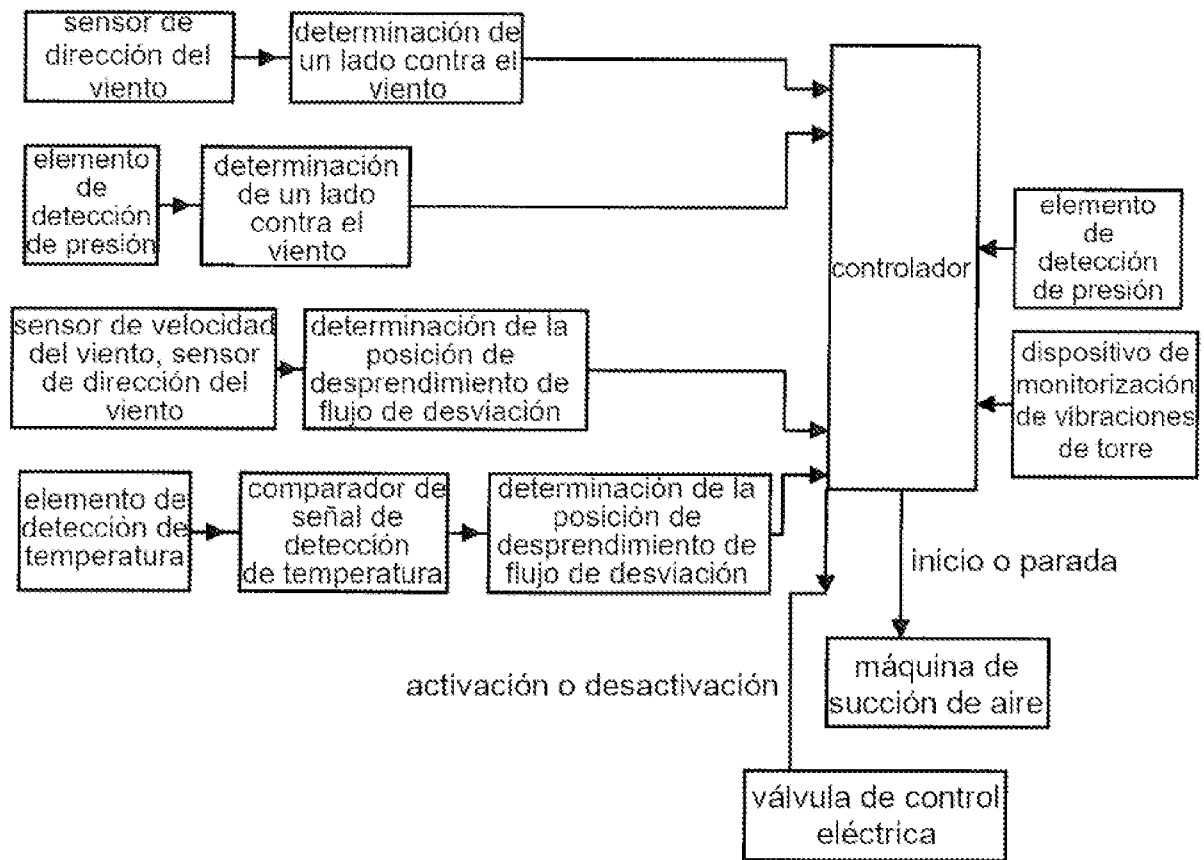


Figura 15

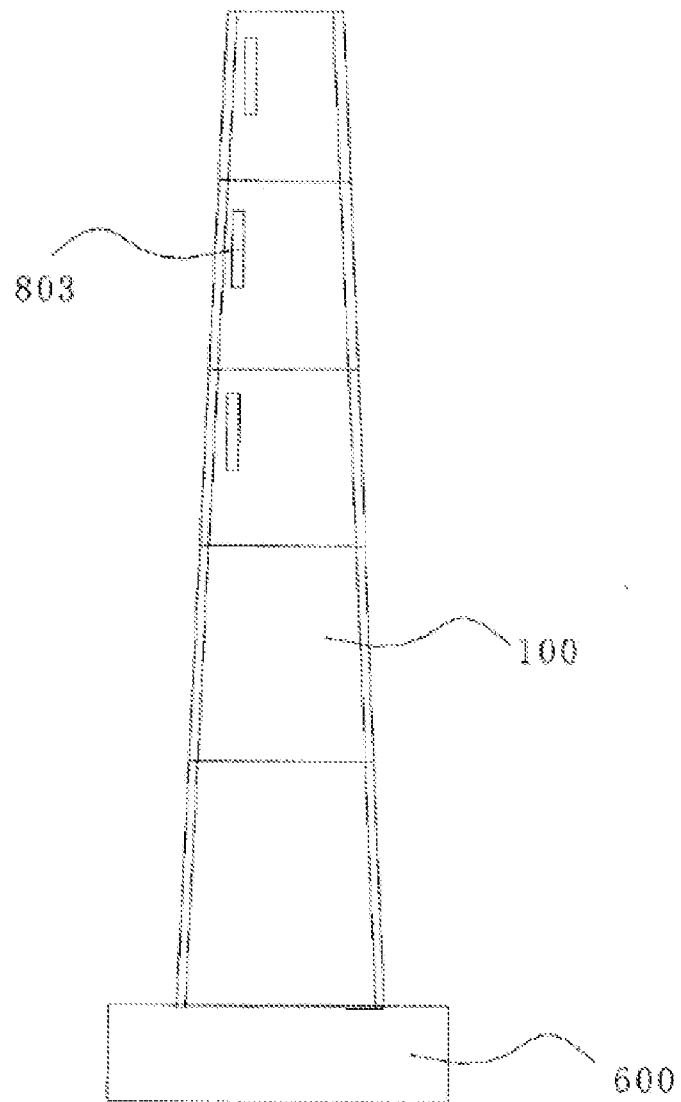


Figura 16

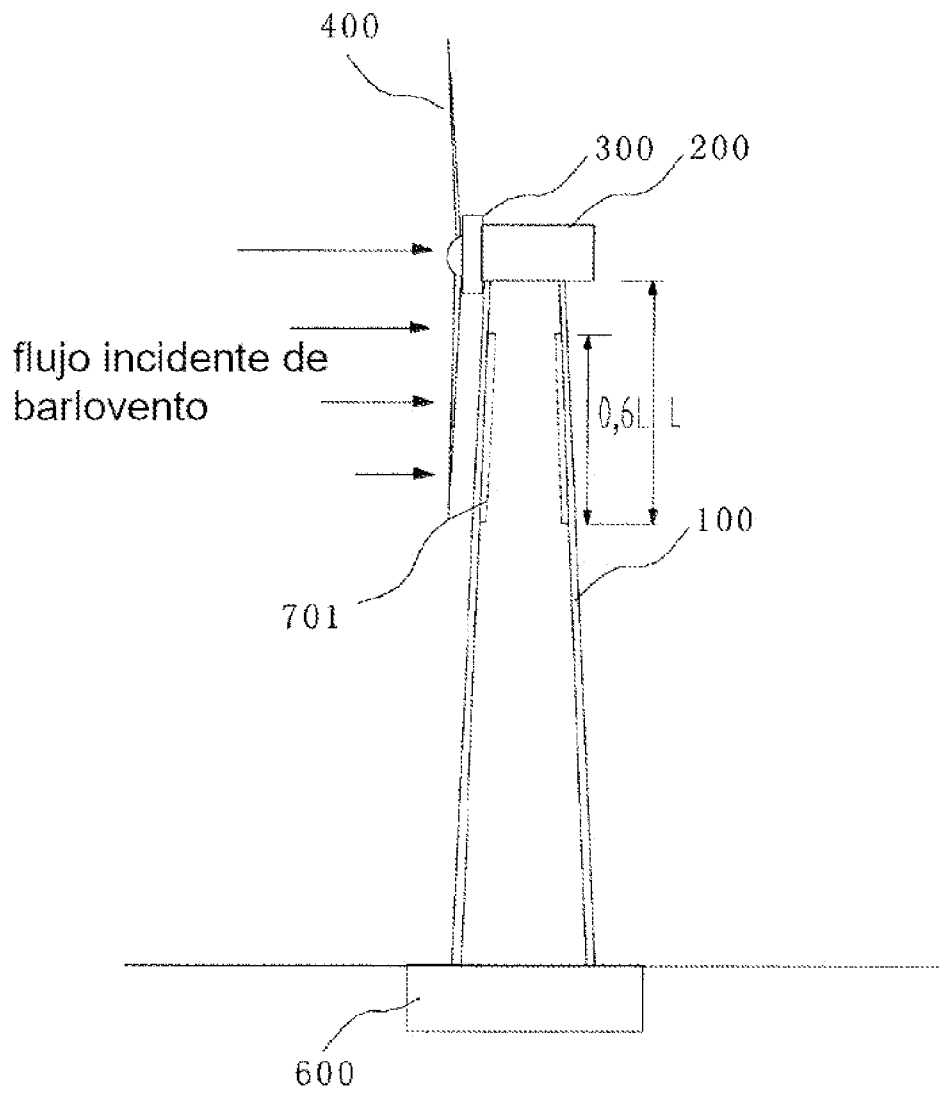


Figura 17

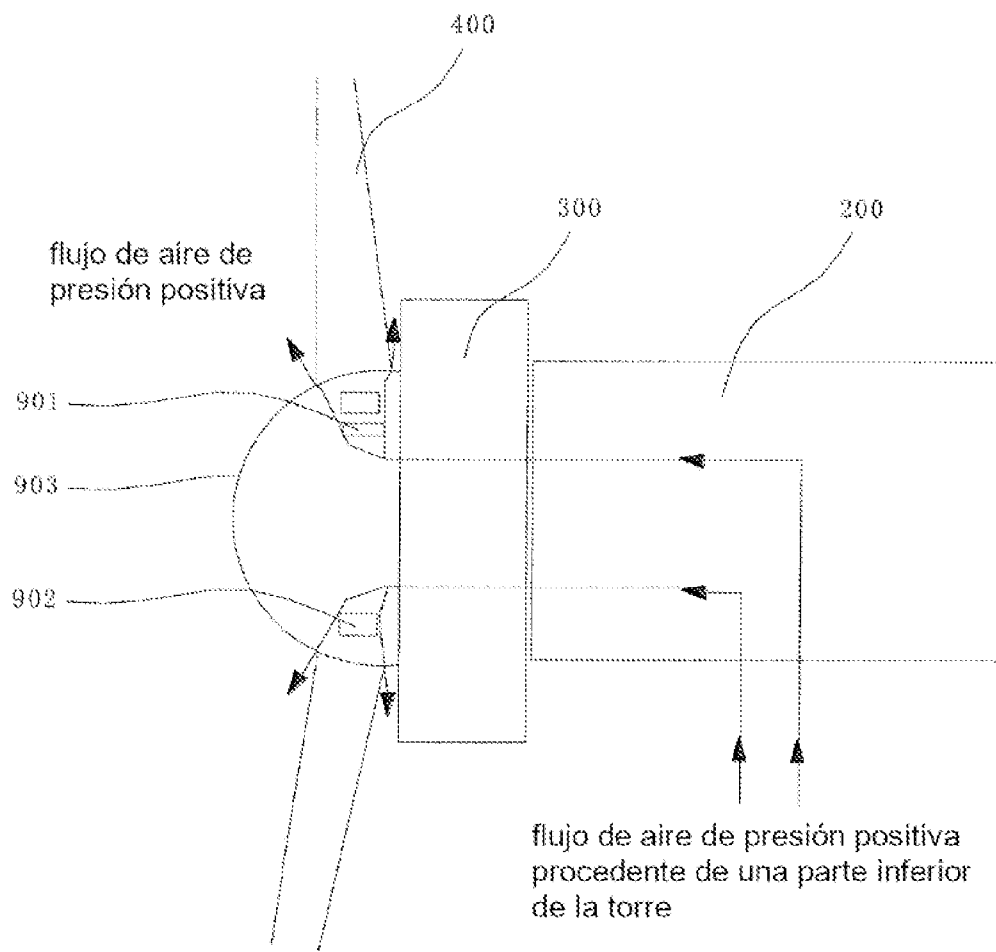


Figura 18