

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 028 874**

51 Int. Cl.:

B63H 9/061

(2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.12.2022** **PCT/EP2022/087721**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.07.2023** **WO23126346**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2022** **E 22830281 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2025** **EP 4284712**

54 Título: **Vela de ala y método**

30 Prioridad:

28.12.2021 GB 202119051

22.06.2022 GB 202209179

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

20.06.2025

73 Titular/es:

GT GREEN TECHNOLOGIES LIMITED (100.00%)

The Spine, 2 Paddington Village

Liverpool L7 3FA, GB

72 Inventor/es:

THOMPSON, GEORGE

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 3 028 874 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

Vela de ala y método

5 Campo de la invención

La presente divulgación se refiere a una vela de ala y a un método para operar una vela de ala. Más particularmente, la presente divulgación se refiere a una vela de ala para una embarcación. La embarcación puede comprender una embarcación a motor en algunos ejemplos.

10 Antecedentes

Las velas de ala conocidas incluyen velas de ala que comprenden un solo perfil aerodinámico. También se conocen velas de ala que comprenden múltiples perfiles aerodinámicos. Las velas de ala se pueden usar en buques marítimos para reducir los requisitos de energía durante el funcionamiento, por ejemplo, durante el transporte de mercancías. Esta reducción de los requisitos de energía puede reducir las emisiones de carbono.

El documento de patente JPS6325195 describe un dispositivo de vela rígida diseñado para evitar que el flujo de aire a lo largo de la superficie del ala de una vela rígida forme burbujas, disponiendo una aleta plegable adyacente a cada parte de ala de un ala principal de la vela rígida.

El documento de patente WO 2020/115717 A1 describe una vela de ala que comprende un primer perfil aerodinámico con un borde de ataque en la parte delantera de la vela de ala y un borde de salida detrás del borde de ataque; y un segundo perfil aerodinámico que tiene un borde de ataque y un borde de salida, estando el borde de ataque del segundo perfil aerodinámico más cerca que el borde de salida del segundo perfil aerodinámico de un punto de anchura transversal máxima del segundo perfil aerodinámico; en donde la vela de ala está configurada de tal manera que el borde de ataque del segundo perfil aerodinámico puede colocarse detrás del borde de salida del primer perfil aerodinámico.

30 Sumario de la invención

Según la invención reivindicada, se proporciona una vela de ala que comprende: un primer perfil aerodinámico que tiene un borde de ataque en la parte delantera de la vela de ala y un borde de salida detrás del borde de ataque; y un segundo perfil aerodinámico que tiene un borde de ataque y un borde de salida, estando el borde de ataque del segundo perfil aerodinámico más cerca que el borde de salida del segundo perfil aerodinámico de un punto de anchura transversal máxima del segundo perfil aerodinámico; en donde la vela de ala está configurada de tal manera que el borde de ataque del segundo perfil aerodinámico puede situarse detrás del borde de salida del primer perfil aerodinámico; en donde el primer perfil aerodinámico comprende: una entrada de aire que comprende una entrada de aire de babor situada en el lado de babor del primer perfil aerodinámico y una entrada de aire de estribor situada en el lado de estribor del primer perfil aerodinámico; una salida de aire; un canal dentro del primer perfil aerodinámico que conecta la entrada de aire y la salida de aire; en donde el flujo de aire desde la entrada de aire es dirigido por el canal hacia la salida de aire y el flujo de aire desde la salida de aire es dirigido fuera de la salida de aire hacia el borde de ataque del segundo perfil aerodinámico.

Según algunos ejemplos, el segundo perfil aerodinámico tiene una primera parte que comprende el borde de ataque del segundo perfil aerodinámico, en donde la primera parte es redondeada.

Según algunos ejemplos, el segundo perfil aerodinámico es simétrico a lo largo de una línea de cuerda del segundo perfil aerodinámico.

Según algunos ejemplos, la línea de cuerda comprende un eje longitudinal desde el borde de ataque hasta el borde de salida.

Según algunos ejemplos, la salida de aire está situada en el borde de salida del primer perfil aerodinámico.

Según algunos ejemplos, en donde cuando la vela de ala se usa en una virada a estribor, el primer perfil aerodinámico está configurado de manera que el flujo de aire se dirige a través de la entrada de aire de babor y no se dirige a través de la entrada de aire de estribor, y en donde cuando la vela de ala se usa en una virada a babor, el primer perfil aerodinámico está configurado de manera que el flujo de aire se dirige a través de la entrada de aire de estribor y no se dirige a través de la entrada de aire de babor.

Según algunos ejemplos, la vela de ala está configurada para: girar el segundo perfil aerodinámico hacia estribor con respecto al primer perfil aerodinámico cuando la vela de ala se usa en una virada a estribor, de modo que la salida de aire del primer perfil aerodinámico dirija el flujo de aire hacia el borde de ataque de babor del segundo perfil aerodinámico; y girar el segundo perfil aerodinámico hacia babor con respecto al primer perfil aerodinámico cuando la vela de ala se usa en una virada a babor, de modo que la salida de aire del primer perfil aerodinámico

dirija el flujo de aire hacia el borde de ataque de estribor del segundo perfil aerodinámico.

Según algunos ejemplos, la vela de ala está configurada para: cuando la vela de ala se usa en una virada a estribor, aspirar aire en la entrada de aire de babor y no aspirar aire en la entrada de aire de estribor, y cuando la vela de ala se usa en una virada a babor, aspirar aire en la entrada de aire de estribor y no aspirar aire en la entrada de aire de babor.

Según algunos ejemplos, la vela de ala comprende: un generador de diferencial de presión en el primer perfil aerodinámico, el generador de diferencial de presión configurado para crear una presión interna negativa en el primer perfil aerodinámico, en donde la presión interna negativa aspira aire hacia el cuerpo principal del dispositivo a través de la entrada de aire.

Según algunos ejemplos, el generador de diferencial de presión comprende: uno o más ventiladores accionados por un motor; o una serie de ventiladores conectados por un eje de ventilador y accionados por un motor.

Según algunos ejemplos, el canal comprende el generador de diferencial de presión y una salida de aire.

Según algunos ejemplos, el segundo perfil aerodinámico gira hasta una posición de rotación máxima con respecto al primer perfil aerodinámico para minimizar la envergadura total de la vela de ala, y en donde la vela de ala se pliega en una base de la vela de ala para formar una configuración arriada.

Según algunos ejemplos, la base de la vela de ala está formada por al menos un tubo metálico soldado o sin costura.

Según algunos ejemplos, la vela de ala comprende una carcasa protectora para cubrir el primer perfil aerodinámico y el segundo perfil aerodinámico en la configuración arriada, en donde la carcasa protectora permite elevar y/o bajar la vela de ala y permite cubrir la vela de ala cuando está bajada y en la configuración arriada realizando al menos uno de lo siguiente: plegarse; girar; enrollarse a lo largo de una guía.

Según algunos ejemplos, la vela de ala comprende un software de control para abrir y cerrar la entrada o dirigir el flujo de una entrada de aire a la siguiente; un sistema de control mecánico para abrir y cerrar la entrada.

Según algunos ejemplos, la vela de ala comprende un sistema mecánico que se activa para abrir o cerrar la entrada en función del movimiento del segundo perfil aerodinámico.

Según algunos ejemplos, la vela de ala está configurada para formar una configuración arriada al: girar el segundo perfil aerodinámico con respecto al primer perfil aerodinámico, de modo que las líneas de cuerda de cada perfil aerodinámico sean sustancialmente perpendiculares entre sí; y, a continuación, girar ambos perfiles aerodinámicos desde la base de la vela hasta una posición horizontal para formar una configuración arriada.

Según algunos ejemplos, la vela de ala comprende una estructura de base, comprendiendo la estructura de base: tres o más pilares que soportan una plataforma, teniendo cada uno de los tres o más pilares una altura entre dos metros y cuatro metros, en donde el primer perfil aerodinámico y el segundo perfil aerodinámico están situados por encima de la plataforma.

Según algunos ejemplos, la vela de ala comprende un actuador lineal para subir y bajar la vela de ala, estando el actuador lineal situado por encima de la plataforma.

Breve descripción de las Figuras

La Figura 1 muestra una vista en perspectiva de una vela de ala;

la Figura 2 muestra una sección transversal horizontal de una vela de ala;

la Figura 3 muestra una vista en planta de una vela de ala en una configuración en pluma;

la Figura 4 muestra una vista en planta de una vela de ala en una virada a babor en una configuración curvada;

la Figura 5 muestra una vista en planta de una vela de ala en una virada a estribor en una configuración curvada;

la Figura 6 muestra una vista interior de una vela de ala en una virada a estribor en una configuración curvada;

la Figura 7 muestra una vista interior de una vela de ala en una virada a babor en una configuración curvada;

la Figura 8 muestra una sección transversal vertical de una vela de ala;

- la Figura 9 muestra una sección transversal vertical de una vela de ala;
- la Figura 10 muestra una sección transversal vertical de una vela de ala;
- 5 la Figura 11 muestra una vista exterior de una vela de ala modular;
- la Figura 12 muestra una sección transversal vertical de una vela de ala modular;
- la Figura 13 muestra una vista en planta de una vela de ala en una configuración curvada;
- 10 la Figura 14A muestra una vista en planta de una vela de ala en una configuración arriada y protegida;
- la Figura 14B muestra una vista en planta de una vela de ala en una configuración arriada y no protegida;
- 15 la Figura 15 muestra una vista de babor de una vela de ala;
- la Figura 16 muestra una vista de estribor de una vela de ala;
- la Figura 17 muestra una sección transversal de la vela de ala que muestra los puntos de rotación de una vela de
- 20 ala;
- la Figura 18 muestra secciones transversales de tres configuraciones de una vela de ala;
- la Figura 19 muestra secciones transversales de una virada a babor y una virada a estribor de una vela de ala;
- 25 la Figura 20 muestra una parte ampliada de la parte superior de una vela de ala;
- la Figura 21 muestra una parte ampliada de la base de una vela de ala;
- 30 la Figura 22 muestra cinco configuraciones de una vela de ala;
- la Figura 23 muestra un miembro de unión de una vela de ala, el miembro de unión usado para conectar los elementos de ataque y de salida de una vela de ala;
- 35 la Figura 24 muestra una configuración vertical y una configuración arriada de una vela de ala; y
- la Figura 25 muestra una vela de ala con los carenados aerodinámicos retirados;
- la Figura 26 muestra una vela de ala con los carenados aerodinámicos retirados;
- 40 la Figura 27 muestra una vela de ala con múltiples salidas en un perfil aerodinámico delantero;
- la Figura 28 muestra una vela de ala con múltiples salidas en un perfil aerodinámico delantero y un perfil aerodinámico trasero;
- 45 la Figura 29a muestra una vela de ala en una configuración vertical;
- la Figura 29b muestra una vela de ala en una configuración arriada;
- 50 la Figura 30 muestra una vela de ala en una configuración arriada con respecto a un barco;
- la Figura 31a muestra una estructura de base de un dispositivo de propulsión eólica;
- la Figura 31b muestra una estructura de base de un dispositivo de propulsión eólica;
- 55 la Figura 31c muestra una estructura de base de un dispositivo de propulsión eólica;
- la Figura 32a muestra el flujo de aire alrededor de una vela de ala en un primer ángulo de ataque, sin que la vela de ala incorpore aspiración;
- 60 la Figura 32b muestra el flujo de aire alrededor de una vela de ala en un primer ángulo de ataque, con la vela de ala incorporando aspiración y teniendo una entrada de aire hacia la parte trasera de un primer elemento de perfil aerodinámico;
- 65 la Figura 32c muestra el flujo de aire alrededor de una vela de ala en un segundo ángulo de ataque, sin que la vela de ala incorpore aspiración; y

la Figura 32d muestra el flujo de aire alrededor de una vela de ala en el segundo ángulo de ataque, incorporando la vela de ala aspiración y teniendo una entrada de aire hacia la parte delantera de un primer elemento de perfil aerodinámico.

5 Descripción detallada

Según algunos ejemplos, se describe una vela de ala y un método para operar una vela de ala. La vela de ala se puede usar para una embarcación. Una embarcación puede comprender, por ejemplo, al menos uno de: un buque marítimo, un bote, un barco. En algunos ejemplos, la embarcación puede comprender una embarcación a motor. En algunos ejemplos, la embarcación puede comprender un buque comercial, tal como un buque carguero o un buque cisterna.

Según algunos ejemplos, una vela de ala puede colocarse en una superficie de una embarcación, por ejemplo, en la cubierta de una embarcación.

Una vela de ala a modo de ejemplo puede ser rígida. La vela de ala puede montarse en un buque marítimo (por ejemplo, una embarcación a motor, un barco, etc.). Una vela de ala puede considerarse una estructura aerodinámica de curvatura variable que se monta en un buque, por ejemplo, un buque marítimo.

La longitud típica de un buque marítimo en el que se van a montar estas unidades puede estar entre 150 m y 360 m, pero también se pueden montar en buques más pequeños o más grandes. En algunos ejemplos, la vela de ala se usa para producir empuje que se transfiere al buque para impulsarlo hacia adelante y reducir el empuje requerido por el motor del barco. En algunos ejemplos, esto puede reducir la potencia requerida por el motor principal y reducir el consumo de combustible y las emisiones de carbono en aproximadamente un 20-30 %, dependiendo del tipo de buque, la ruta, el número de unidades de vela de ala y otras consideraciones.

Algunas velas de ala de ejemplo descritas en el presente documento pueden comprender al menos dos elementos de vela de ala. Cada elemento de vela de ala puede comprender un borde de ataque y un borde de salida. Cada elemento de vela de ala puede tener una forma aerodinámica (por ejemplo, una forma similar a la forma del elemento de perfil aerodinámico 103 o del elemento de perfil aerodinámico 105 en la Figura 1). La forma aerodinámica de cada elemento de vela de ala puede generar una fuerza de sustentación cuando el flujo de aire pasa sobre la superficie del elemento de vela de ala respectivo. Cada elemento de vela de ala puede comprender un perfil aerodinámico.

Según algunos ejemplos, el borde de ataque de cada perfil aerodinámico está más cerca de la parte más ancha del perfil aerodinámico, mientras que el borde de salida de cada perfil aerodinámico está más alejado de la parte más ancha del perfil aerodinámico. Sin embargo, se pueden usar otras formas de ejemplo para los perfiles aerodinámicos.

La vela de ala puede incorporar un control del flujo de la capa límite. Se puede considerar que la capa límite de una vela de ala comprende una fina capa de aire que fluye sobre la superficie. Según algunos ejemplos, el flujo de aire en la capa límite se controla para evitar la separación del flujo de aire sobre la vela de ala y reducir así la propensión de las velas de ala a entrar en pérdida. Esto permite obtener una mayor sustentación de la vela de ala.

La Figura 1 muestra una vista en perspectiva de una vela de ala 101 de ejemplo. La vela de ala 101 es una vela de ala de doble elemento que tiene un primer perfil aerodinámico 103 y un segundo perfil aerodinámico 105. Uno de los elementos dobles de la vela de ala 101 es el primer perfil aerodinámico 103 y uno de los elementos dobles de la vela de ala 101 es el segundo perfil aerodinámico 105. El primer perfil aerodinámico 103 comprende un borde de ataque 103a, un borde de salida 103b y una sección 103c de anchura transversal máxima. Como se puede ver en el ejemplo de la Figura 1, el borde de ataque 103a está más cerca de la sección 103c de anchura transversal máxima que el borde de salida 103b. Una parte del perfil aerodinámico 103 que comprende el borde de ataque 103a es redondeada, y una parte del perfil aerodinámico 103 que comprende el borde de salida 103b es puntiaguda (o puede tener una forma redondeada que tiene un radio menor que el de la curvatura del borde de ataque). En algunos ejemplos, la parte del perfil aerodinámico 103 que comprende el borde de ataque 103a tiene una anchura transversal más ancha que la parte del perfil aerodinámico 103 que comprende el borde de salida 103b. Sin embargo, se prevé que se puedan usar otras formas para el primer perfil aerodinámico 103.

El segundo perfil aerodinámico 105 comprende un borde de ataque 105a, un borde de salida 105b y una sección 105c de anchura transversal máxima. El borde de ataque 105a está más cerca de la sección 105c de anchura transversal máxima que el borde de salida 105b. Una parte del perfil aerodinámico 105 que comprende el borde de ataque 105a es redondeada, y una parte del perfil aerodinámico 105 que comprende el borde de salida 105b es puntiaguda. Sin embargo, se prevé que se puedan usar otras formas para el primer perfil aerodinámico 103.

El segundo perfil aerodinámico 105 puede ser simétrico a lo largo de una línea de cuerda del segundo perfil aerodinámico 105, como se muestra en las Figuras 1 y 2, por ejemplo.

El primer perfil aerodinámico 103 puede ser simétrico a lo largo de una línea de cuerda del segundo perfil aerodinámico 105, como se muestra en las Figuras 1 y 2, por ejemplo.

Una línea de cuerda de un perfil aerodinámico puede considerarse un eje longitudinal desde el borde de ataque hasta el borde de salida del perfil aerodinámico.

Se puede considerar que el borde de ataque 103a está en una "parte delantera" nominal de la vela de ala 101. El borde de salida 103b se encuentra detrás del borde de ataque 103a. En la configuración en pluma de la Figura 1, el segundo perfil aerodinámico 105 se encuentra detrás del primer perfil aerodinámico 103, y el borde de ataque 105a del segundo perfil aerodinámico 105 se encuentra delante del borde de salida 105b del segundo perfil aerodinámico 105.

Los perfiles aerodinámicos 103 y 105 tienen forma de "lágrima", pero se pueden usar otras formas aerodinámicas. En general, un perfil aerodinámico, tales como los perfiles aerodinámicos 103 o 105, puede tener cualquier forma que produzca una reacción aerodinámica (sustentación) perpendicular a la dirección del flujo de aire sobre él, para una pequeña fuerza de resistencia (arrastre) en la dirección del flujo de aire.

El dispositivo de vela de ala 101 puede girar alrededor de su base para variar el ángulo de ataque con respecto a la dirección aparente del viento. De esta manera, el dispositivo de vela de ala 101 puede optimizar la sustentación producida. La sustentación se genera por la creación de un diferencial de presión entre ambos lados de la vela de ala 101, lo que da lugar a un lado de alta presión y otro de baja presión debido a una diferencia en la velocidad del aire sobre cada lado del dispositivo de vela de ala 101. El viento aparente es el viento que experimenta una embarcación en movimiento. El viento aparente es una combinación del viento que se experimenta debido al movimiento hacia adelante del barco combinado con el viento predominante. Los dos vectores se combinan para producir el 'viento aparente', que puede tener un ángulo y una velocidad del viento diferentes a los del viento que se experimenta debido al movimiento hacia adelante del barco y al viento predominante.

El segundo perfil aerodinámico 105 es giratorio con respecto al primer perfil aerodinámico 103, lo que permite ajustar e invertir la curvatura del dispositivo 101.

Cuando el dispositivo de vela de ala 101 está en una virada a babor (cuando el viento aparente golpea el lado de babor del dispositivo 101), el segundo perfil aerodinámico 105 puede girarse hacia el lado de babor con respecto al primer perfil aerodinámico 103.

Cuando el dispositivo de vela de ala 101 está en una virada a estribor (cuando el viento aparente golpea el lado de estribor del dispositivo), el segundo perfil aerodinámico 105 se gira hacia el lado de estribor con respecto al primer perfil aerodinámico 103.

Cuando el segundo perfil aerodinámico 105 gira con respecto al primer perfil aerodinámico 103, como se ve, por ejemplo, en las Figuras 4, 5, 6, 6, 7, 13, 14A y 14B, las líneas de cuerda del primer perfil aerodinámico 103 y del segundo perfil aerodinámico 105 no son paralelas. Esto proporciona una configuración curvada al dispositivo de vela de ala 103. Esto se puede conseguir girando el segundo perfil aerodinámico 105 con respecto al primer perfil aerodinámico 103.

En una configuración curvada del dispositivo 101, se forma una ranura entre el primer perfil aerodinámico 103 y el segundo perfil aerodinámico 105. Esta ranura permite que una corriente de aire a alta presión fluya desde el lado de alta presión hacia la superficie del lado de baja presión. Esto reenergiza el flujo que viaja sobre el segundo perfil aerodinámico y permite que el flujo permanezca adherido en ángulos de ataque más extremos y evite la entrada en pérdida de la vela de ala, lo que permite alcanzar mayores coeficientes de sustentación.

En algunos ejemplos, la vela de ala 101 puede estar equipada con un generador de diferencial de presión 111 (como se muestra en la Figura 1, por ejemplo). El generador de diferencial de presión 111 se puede usar para proporcionar control del flujo de aire alrededor del dispositivo 101. Este flujo controlado permite usar el dispositivo con un mayor ángulo de ataque y un mayor ángulo de curvatura sin que se produzca una entrada en pérdida, lo que aumenta considerablemente los coeficientes de sustentación que puede alcanzar la vela de ala 101. En algunos ejemplos, el generador de diferencial de presión puede comprender una o más palas giratorias (por ejemplo, palas de ventilador) que pueden estar conectadas por un eje.

Para proporcionar el control del flujo de aire alrededor de la vela de ala 101, la entrada de aire 107 aspira aire hacia el interior de la vela de ala 101. La vela de ala 101 también comprende una salida 109. En algunos ejemplos, por ejemplo como se muestra en las Figuras 1 y 2, la salida 109 puede estar situada en un borde de salida 103b del primer perfil aerodinámico 103. Sin embargo, se apreciará que en otros ejemplos la salida 109 puede estar situada en otras posiciones en el primer perfil aerodinámico 103.

El aire aspirado en la entrada 107 puede dirigirse a través de un canal interior 119 dentro del perfil aerodinámico 103. El canal interior 119 conecta la entrada de aire 107 y la salida de aire 109. La salida de aire 109 emite un flujo

de aire, que puede comprender un chorro de aire enfocado, fuera del perfil aerodinámico 103. Este flujo de aire puede dirigirse hacia la superficie del segundo elemento de perfil aerodinámico 103. En el ejemplo de las Figuras 1 y 2, el flujo de aire puede emitirse fuera de la salida 109 en el borde de salida 103b del primer perfil aerodinámico 103 hacia y sobre un borde de ataque 105a del perfil aerodinámico 105.

El generador de diferencial de presión 111 puede estar accionado por uno o más motores. Estos motores pueden comprender, por ejemplo, motores hidráulicos o eléctricos. Cuando está en funcionamiento, el generador de diferencial de presión 111 puede crear una zona de baja presión en la entrada 107 del canal 119, de modo que se aspira aire, y una zona de alta presión en la salida 109 del canal 119, de modo que el aire es empujado fuera de la salida 109.

El generador de diferencial de presión 111 puede estar configurado para crear una presión interna negativa en el primer perfil aerodinámico, en donde la presión interna negativa aspira aire hacia el cuerpo principal del primer perfil aerodinámico a través de la entrada de aire 107.

El generador de diferencial de presión 111 puede comprender, por ejemplo, un ventilador accionado por un motor; o una serie de ventiladores conectados por un eje de ventilador y accionados por un motor.

Según algunos ejemplos, el flujo golpea el borde de ataque del primer elemento de perfil aerodinámico 103 y fluye alrededor de la superficie (en ambos lados). A medida que el flujo de aire se desplaza sobre la superficie de baja presión, la capa límite laminar comienza a pasar a un flujo turbulento, si se aumenta el ángulo de ataque del dispositivo 101 en este punto, el flujo se separará y el dispositivo 101 entrará en pérdida.

Para que el dispositivo 101 pueda funcionar con ángulos de ataque más altos (y, por lo tanto, generar más sustentación), en algunos ejemplos, el aire que se desplaza sobre la superficie del perfil aerodinámico delantero 103 es aspirado internamente en una ubicación cercana al extremo trasero del perfil aerodinámico delantero 103. Esto elimina parte de la capa límite turbulenta y mantiene el flujo adherido a ángulos de ataque más altos, logrando así un mayor empuje producible del dispositivo 101.

Un segundo perfil aerodinámico 105 está situado detrás del primer perfil aerodinámico 103 y, cuando el perfil aerodinámico 105 se curva, produce una ranura entre el primer perfil aerodinámico 103 y el segundo perfil aerodinámico 105. Esta ranura permite un chorro de aire a alta presión desde el lado de alta presión (113 en la Figura 6, 115 en la Figura 7) hacia el lado de baja presión (115 en la Figura 6, 113 en la Figura 7), lo que permite que el flujo se mantenga adherido a ángulos de ataque y ángulos de curvatura más altos, lo que de manera similar significa que el dispositivo puede producir un mayor empuje al buque.

Se puede colocar una salida de aire 109 en el borde de salida del primer elemento de perfil aerodinámico 103 para mejorar aún más el chorro de aire a alta presión que viaja a través de la ranura y permitir así que la vela de ala 101 maximice el ángulo de ataque alcanzable antes de la entrada en pérdida y maximice el empuje producido, al tiempo que se reduce el arrastre.

De este modo, usando al menos una entrada 103 y al menos una salida 109 en el primer perfil aerodinámico 103, se pueden alcanzar ángulos de ataque más elevados del dispositivo 101 sin entrada en pérdida. Además, o de forma alternativa, se pueden alcanzar ángulos de ataque más elevados del dispositivo 101 sin entrar en pérdida curvando el segundo perfil aerodinámico 105 con respecto al primer perfil aerodinámico 103.

La Figura 2 muestra una vista en planta transversal de la vela de ala 101. Como se muestra en la Figura 2, la entrada de aire 107 comprende dos entradas de aire 107s y 107p dispuestas en ambos lados 113 y 115 (el lado de babor 113 y el lado de estribor 115, respectivamente) del primer perfil aerodinámico 103. En el ejemplo de la Figura 2, la entrada de aire 107 está situada hacia el borde de salida 103b del primer perfil aerodinámico 103. Cada entrada de aire 107 puede comprender una tira vertical (o tiras verticales) que permite que el aire fluya hacia el perfil aerodinámico 103. La tira o tiras verticales pueden comprender un espacio en el dispositivo que permite que el aire fluya hacia el interior. En otros ejemplos, la entrada de aire puede comprender una superficie con aberturas cortadas (tales como orificios circulares u otras formas) u otro material poroso que permita que el aire fluya hacia el primer perfil aerodinámico 103. Esta superficie con formas cortadas o material poroso controla la velocidad y el volumen del flujo de aire hacia la vela de ala para optimizar la aerodinámica del dispositivo. También aporta la ventaja añadida de que puede evitar que los residuos sean aspirados hacia el interior del perfil aerodinámico 103.

La entrada de aire 107 aspira el flujo inestable cercano a la superficie del dispositivo 101 hacia el cuerpo principal del primer perfil aerodinámico 103, lo que permite que el flujo permanezca adherido en ángulos de ataque mayores, lo que da lugar a que se produzcan mayores coeficientes de sustentación.

En el ejemplo de la Figura 2, se proporciona una partición 112 entre el cuerpo principal del perfil aerodinámico 103 y el generador de diferencial de presión 111. De este modo, el flujo de aire generado afecta al flujo de aire interno en una parte del borde de salida 103b del dispositivo, pero se evita que el flujo de aire generado por el generador de diferencial de presión 111 afecte al flujo de aire interno dentro del cuerpo principal (es decir, en el cuerpo situado en

el borde de ataque 103a) del perfil aerodinámico 103.

Las Figuras 3 a 7 muestran ejemplos de una vela de ala 101 bajo la influencia del viento 130. Aunque en esta figura se muestra la vela de ala 101, los mismos principios pueden aplicarse a la vela de ala 401, 621 o cualquier otra vela de ala descrita en el presente documento.

Cuando la dirección del viento 130 se dirige directamente hacia el borde de ataque de un perfil aerodinámico delantero 103 de la vela de ala 101 (es decir, la dirección del viento se dirige entre el lado de babor 113 y el lado de estribor 115 de la vela de ala), la vela de ala 101 puede disponerse en una configuración en pluma. En esta configuración, la línea de cuerda del perfil aerodinámico 103 y el perfil aerodinámico 105 están alineadas y paralelas entre sí.

La Figura 4 muestra un ejemplo de una vela de ala 101 en una virada a babor. Cuando la vela de ala 101 está funcionando en una virada a babor, es decir, cuando el viento aparente 130 cruza el lado de babor del buque en el que está montada la vela de ala 101, el ángulo de ataque de la vela de ala 101 puede configurarse de modo que el viento aparente 130 se dirija hacia el borde de ataque de babor de la vela de ala 101. La vela de ala 101 puede curvarse en una configuración de babor en la que el segundo perfil aerodinámico 105 se gira hacia el lado de babor 113 con respecto al primer perfil aerodinámico 103. En la configuración de babor, la entrada de aire de estribor 107s está abierta y la entrada de aire de babor 107p está cerrada. La salida de aire 109 del primer perfil aerodinámico 103 dirige el flujo de aire hacia el borde de ataque de estribor del segundo perfil aerodinámico 105, reenergizando así el flujo de aire en este punto crítico y aumentando el ángulo de pérdida del dispositivo 101.

La Figura 5 muestra un ejemplo de una vela de ala 101 en una virada a estribor. Cuando la vela de ala 101 está funcionando en una virada a estribor, es decir, cuando el viento aparente 130 cruza el lado estribor del buque en el que está colocada la vela de ala 101, el ángulo de ataque de la vela de ala 101 puede configurarse de manera que el viento aparente 130 se dirija hacia el borde de ataque de estribor de la vela de ala 101. La vela de ala 101 puede curvarse en una configuración de babor en la que el segundo perfil aerodinámico 105 se gira hacia el lado de estribor 115 con respecto al primer perfil aerodinámico 103. En la configuración de estribor, la entrada de aire de estribor 107s está cerrada y la entrada de aire de babor 107p está abierta. La salida de aire 109 del primer perfil aerodinámico 103 dirige el flujo de aire hacia el borde de ataque de babor del segundo perfil aerodinámico 105, reenergizando así el flujo de aire en este punto crítico y aumentando el ángulo de pérdida del dispositivo 101.

La Figura 6 muestra un ejemplo de cómo se puede cerrar una entrada de aire de estribor 107s durante una virada a estribor mientras que una entrada de aire de babor 107p está abierta. Una pared interior 129 está situada para cerrar una entrada de aire de estribor 107s mientras que una entrada de aire de babor 107p se deja abierta. La pared interior 129 puede girar alrededor de un punto de rotación 127. Esta rotación puede realizarse usando un motor, por ejemplo, un motor eléctrico o hidráulico. La rotación puede realizarse automáticamente basándose en la detección por un sistema informático de la vela de ala 101 de si la vela de ala 101 está en una virada a babor o a estribor. En algunos ejemplos, la rotación puede realizarse basándose en una entrada del usuario en un sistema informático. En otros ejemplos, la rotación se realiza basándose en una operación manual de un usuario de la vela de ala 101. Cuando la vela 101 se usa en una virada a estribor, la vela de ala 101 puede aspirar aire por la entrada de aire de babor 107p y no aspirar aire por la entrada de aire de estribor 107s.

La Figura 7 muestra un ejemplo de cómo una entrada de aire de estribor 107s puede estar abierta durante una virada a babor mientras que una entrada de aire de babor 107p está cerrada. La vela de ala 101 puede accionarse para moverse entre la configuración de las Figuras 6 y 7. Una pared interior 129 está situada para cerrar una entrada de aire de babor 107s mientras que una entrada de aire de babor 107p se deja cerrada. La pared interior 129 puede girar alrededor de un punto de rotación 127. Esta rotación puede realizarse usando un motor, por ejemplo, un motor eléctrico o hidráulico. La rotación puede realizarse automáticamente basándose en la detección por un sistema informático de la vela de ala 101 de si la vela de ala 101 está en una virada a babor o a estribor. En algunos ejemplos, la rotación puede realizarse basándose en una entrada del usuario en un sistema informático. En otros ejemplos, la rotación se realiza basándose en una operación manual de un usuario de la vela de ala 101. Cuando la vela de ala 101 se usa en una virada a babor, la vela de ala 101 no puede aspirar aire en la entrada de aire de babor 107p y aspirar aire en la entrada de aire de estribor 107s.

Un sistema informático como se describe en el presente documento puede comprender al menos un procesador y una memoria asociada. El sistema informático puede usarse para ejecutar un software de control para abrir y cerrar al menos una entrada de la vela de ala 101.

La Figura 8 muestra una sección transversal a través del centro de la vela de ala 101, en una configuración en la que las líneas de cuerda del perfil aerodinámico 103 y del perfil aerodinámico 105 están alineadas y paralelas. La Figura 10 también muestra una vista lateral de una sección transversal de la vela de ala 101. Como se puede ver en las Figuras 8 y 10, una salida de aire interna 119 (un canal) conecta la entrada de aire 107 con la salida de aire 109. En el ejemplo de la Figura 3, la salida de aire está situada en el borde de salida del perfil aerodinámico 103. El canal 119 puede estar configurado para dirigir el flujo desde la entrada 107 en una primera posición a lo largo de una envergadura de la vela de ala 101 y dirigir este flujo hacia la salida de aire 109, en donde la envergadura de la vela

de ala 101 es una distancia desde una base de la vela de ala 101 hasta una punta de la vela de ala 101.

El volumen de la salida de aire es menor en la salida de aire 109 que en la entrada de aire 107. El aire del generador de diferencial de presión 111 se concentra a medida que se desplaza hacia la salida de aire 109 debido a una reducción del volumen de la salida de aire interna 119 desde el generador de diferencial de presión 111 hasta la salida de aire 109, dando esto una mayor concentración de flujo energizado que se dirige hacia el segundo perfil aerodinámico. El aire se emite por la salida de aire 109 como una corriente de aire concentrada, donde fluye hacia la superficie del segundo elemento de perfil aerodinámico 105. En algunos ejemplos, el segundo perfil aerodinámico 105 puede tener una configuración curvada. El flujo de aire concentrado de la salida de aire 109 reenergiza la capa límite, lo que permite que el flujo permanezca adherido a ángulos de curvatura y ángulos de ataque mayores, aumentando así el ángulo de pérdida y aumentando el coeficiente de sustentación máximo alcanzable de la vela de ala 101.

En los ejemplos de las Figuras 8, 9 y 10, el canal 119 está inclinado de modo que el canal es más largo a lo largo del eje vertical 132 de la vela de ala 101 en la salida de aire 109 que en la entrada de aire 107. El eje vertical 132 se muestra en la Figura 10. Esta forma de canal inclinado es útil cuando los módulos de vela de ala, tales como la vela de ala 101, se apilan uno encima de otro, como se explica más adelante con referencia a las Figuras 11 y 12. En este ejemplo, los módulos de vela de ala que tienen la forma de canal (la forma de 117) pueden apilarse uno encima de otro para crear una vela de ala más grande que comprende múltiples módulos. En este caso, dirigirá el flujo de aire desde la entrada de aire de una sección modular más alta a través de un generador de diferencial de presión hacia la salida de aire de una sección modular más baja. Sin embargo, se pueden usar otras formas de canal para proporcionar resultados alternativos. Por ejemplo, si el canal está inclinado de modo que el canal es más largo a lo largo del eje vertical 132 de la vela de ala 101 en la entrada de aire 107 que en la salida de aire 109, el flujo de aire se dirigirá desde la entrada de aire de una sección modular más baja a través de un generador de diferencial de presión hacia la salida de aire de una sección modular más alta. Además, se pueden usar canales no inclinados (sustancialmente rectos o rectos a lo largo de un eje vertical 132) para dirigir el flujo de aire hacia una entrada de aire de una sección modular a través de un generador de diferencial de presión hacia la salida de aire de la misma sección modular.

En situaciones en las que la vela de ala está compuesta por una sola unidad (por ejemplo, la vela de ala 101 de la Figura 1), se puede usar cualquiera de las tres formas de canal descritas anteriormente. En algunos ejemplos, se puede usar un canal no inclinado para una sola unidad, de modo que el flujo de aire interno se desplace desde una entrada de aire en un nivel a través de un generador de diferencial de presión y salga por una salida de aire en el mismo nivel.

Según algunos ejemplos, una vela de ala modular (por ejemplo, la vela de ala 621) puede estar hecha de dos o más módulos internos cubiertos por una carcasa exterior.

Según algunos ejemplos, la vela de ala 101 puede tener una dimensión similar a 101, que tiene una altura mayor que la longitud.

La Figura 9 muestra una sección transversal a través del centro de una parte de ejemplo de la vela de ala 401, en una configuración en la que las líneas de cuerda de un perfil aerodinámico delantero y un perfil aerodinámico trasero de la vela de ala 401 están alineadas y en paralelo. La vela de ala 401 puede comprender una estructura similar a la vela de ala 101. La vela de ala 401 incluye además al menos un enderezador de flujo de aire 425 situado en una salida de aire 405 del perfil aerodinámico delantero de la vela de ala 401 para permitir que el flujo salga de la salida de aire de forma controlada, para maximizar la ventaja aerodinámica del flujo de aire controlado. Además, o de forma alternativa, se puede situar al menos un enderezador de flujo de aire en una entrada de aire del perfil aerodinámico delantero. Además, en lugar de, o adicional a al menos un enderezador de flujo de aire situado en una entrada de aire o una salida de aire del perfil aerodinámico delantero de la vela de ala 401, se puede colocar al menos un enderezador de flujo de aire entre la entrada de aire y la salida de aire de la vela de ala 401. Un enderezador de flujo de aire puede comprender una o más paredes colocadas a lo largo de una entrada de aire, una salida de aire o un canal que conecta una salida de aire y una entrada de aire.

Como se muestra en la Figura 11, en algunos ejemplos, los módulos de vela de ala, tales como el módulo de vela de ala 601a y 601x, pueden apilarse uno encima de otro para formar una vela de ala 621. Cada módulo de vela de ala 601a, 601x, etc. puede comprender una estructura similar a la de la vela de ala 101, la vela de ala 401 o cualquier otra vela de ala descrita anteriormente.

Cada módulo de vela de ala 601 puede comprender una entrada de aire 607, una salida de aire y un generador de diferencial de presión. Cada módulo de vela de ala 601 puede estar configurado para apilarse uno encima de otro.

La Figura 11 muestra una vista externa de una vela de ala 621 que comprende los módulos de vela de ala 601a y 601x. En algunos ejemplos, también se pueden incluir otros módulos, como se muestra en la Figura 11. La Figura 12 muestra una sección transversal interna de la vela de ala 621 que comprende los módulos de vela de ala 601a y 601x.

La vela de ala 621 comprende al menos dos módulos de vela de ala 601a y 601x, cada uno de los cuales tiene una entrada 607a y 607x que están alineadas entre sí. El módulo de vela de ala 601a comprende una salida de aire 619a. El módulo de vela de ala 601x comprende una salida de aire 619x. En la vela de ala 621, una salida de aire para cada módulo de vela de ala 601a y 601x (tal como la salida de aire 619a y 619x) guía el flujo de aire interno desde un generador de flujo de presión hasta una salida de aire para cada módulo de vela de ala 601a y 601x. Cada módulo de vela de ala (por ejemplo, el módulo de vela de ala 601a y 601x) puede tener su propio generador de diferencial de presión. Una salida de aire para cada módulo de vela de ala puede guiar el flujo de aire interno desde un generador de diferencial de presión interno hasta una salida de aire.

La vela de ala 621 puede comprender al menos un ventilador en el borde de salida del perfil aerodinámico delantero (similar al perfil aerodinámico 103 en la vela de ala 101) de cada módulo de vela de ala 601a, 601x, etc. Cada ventilador puede ser accionado por uno o más motores hidráulicos o eléctricos. Cada ventilador puede estar conectado por un eje central formado por módulos de eje para cada módulo de vela de ala. En el ejemplo de la Figura 11, el módulo de eje 617a del módulo de vela de ala 601a está conectado al módulo de eje 617x del módulo de vela de ala 601x.

El módulo de vela de ala 601x está situado en la parte superior de la vela de ala 621. El módulo de vela de ala 601a es un módulo de vela de ala distinto del módulo de vela de ala superior 601x. El canal de cada módulo (por ejemplo, los canales 617x y 617a) están inclinados de manera que cada canal es más largo a lo largo de un eje vertical de cada módulo de vela de ala 617a y 617x (donde ambos ejes son similares al eje 132 de la vela de ala 101) en una salida de aire de cada módulo de vela de ala que en una entrada de aire de cada módulo de vela de ala 607a y 607x. Como cada módulo de vela de ala tiene esta forma de canal, el flujo de aire desde la entrada de aire de una sección modular más alta a través de un generador de diferencial de presión hacia la salida de aire de una sección modular más baja. Por ejemplo, el flujo de aire desde la entrada de aire 607x se dirigirá a una salida de aire de un módulo de vela de ala directamente debajo del módulo de vela de ala 601x. El flujo de aire desde una entrada de aire de un módulo de vela de ala directamente encima del módulo de vela de ala 601a se dirigirá hacia una salida de aire del módulo de vela de ala 601a. El flujo de aire desde la entrada de aire 607a se dirigirá a una salida de aire de un módulo de vela de ala directamente debajo del módulo de vela de ala 601a. Como el módulo de vela de ala 601x se encuentra en la parte superior de la vela de ala 621, el flujo de aire se aspira desde arriba del módulo de vela de ala 601 x y se dirige hacia una salida de aire del módulo de vela de ala 601x.

Como se trata anteriormente con relación a las Figuras 8, 9 y 10, se pueden usar otras formas de canal para proporcionar un flujo de aire diferente entre los módulos de una vela de ala modular. Por ejemplo, si el canal está inclinado de manera que es más largo a lo largo del eje vertical de un módulo de vela de ala en una entrada de aire que en una salida de aire, el flujo de aire se dirigirá desde la entrada de aire de una sección modular más baja a través de un generador de diferencial de presión hacia la salida de aire de una sección modular más alta. En este caso, el módulo de vela de ala inferior aspirará aire desde debajo del velo de ala modular. Además, se pueden usar canales no inclinados (sustancialmente rectos o rectos a lo largo de un eje vertical del módulo de vela de ala) para dirigir el flujo de aire hacia una entrada de aire de una sección modular a través de un generador de diferencial de presión hacia la salida de aire de la misma sección modular.

En otra realización de la invención, la vela de ala puede comprender una entrada de aire como se muestra en los ejemplos anteriores y una salida de aire en la base o la punta de la vela de ala. En donde el aire es aspirado hacia la entrada de aire por un ventilador situado en la salida de aire en la base o la punta de la vela de ala y el flujo interno se dirige hacia arriba o hacia abajo a lo largo de la envergadura de la vela de ala.

Los dispositivos de vela de ala descritos en el presente documento pueden comprender uno o más miembros estructurales internos. Por ejemplo, una vela de ala o un módulo de vela de ala puede comprender, por ejemplo, al menos uno: de un larguero principal de acero estructural; un larguero principal de aluminio; un larguero principal de material compuesto. La vela de ala también puede comprender refuerzos transversales y/o longitudinales fabricados de un material similar. En dichos ejemplos, una piel exterior puede producir la forma aerodinámica externa del dispositivo del dispositivo y puede comprender, por ejemplo, al menos uno de: acero; aluminio; material compuesto. Las salidas de aire internas (canales) pueden comprender, por ejemplo, al menos uno de: acero; aluminio; material compuesto.

En algunos ejemplos, el dispositivo puede tener una estructura monocasco que tiene una piel externa más gruesa compuesta de, por ejemplo, al menos uno de: acero; aluminio; material compuesto. Esta estructura monocasco puede soportar gran parte de las cargas estructurales del dispositivo.

El dispositivo puede girar su ángulo de ataque al viento aparente usando un cojinete de engranaje de giro o un cojinete con sistema de cremallera y piñón, en donde este cojinete puede estar conectado a la sección inferior de la vela de ala y conectar la vela de ala a su base (que está conectada al buque). Este cojinete puede estar situado debajo del primer perfil aerodinámico 103 en una posición en la que la vela 101 pueda girar naturalmente como una veleta si fallan todos los sistemas. En una configuración de veleta natural, la vela de ala 101 se orientará hacia el viento en una configuración similar a la mostrada en la Figura 3.

En los ejemplos descritos anteriormente, solo se describe una entrada de aire (compuesta por una entrada de aire a estribor y la correspondiente entrada de aire a babor) en el perfil aerodinámico delantero. En otros ejemplos, los dispositivos pueden tener múltiples entradas de aire, cada una de las cuales comprende una entrada de aire a estribor y una entrada de aire a babor en el perfil aerodinámico delantero.

5 En los ejemplos descritos anteriormente, solo se describe una salida de aire en el perfil aerodinámico delantero. En otros ejemplos, los dispositivos pueden tener múltiples salidas de aire en el perfil aerodinámico delantero.

10 En otros ejemplos, una vela de ala puede comprender al menos una entrada de aire en el segundo perfil aerodinámico. En otros ejemplos, una vela de ala puede comprender al menos una salida de aire en el segundo perfil aerodinámico.

15 Según algunos ejemplos, la vela de ala 101 puede arriarse y protegerse con una cubierta protectora 123. Este proceso se muestra en las Figuras 14A y 14B. En la Figura 14A, la vela de ala 101 se encuentra en una configuración arriada y protegida por la cubierta protectora 123. En la Figura 14B, la cubierta protectora 123 está abierta, lo que permite que la vela de ala 101 se ajuste a diferentes orientaciones. La cubierta protectora 123 puede estar compuesta de acero u otro material, y esta cubierta puede plegarse o girarse sobre el dispositivo para proteger el dispositivo de las garras de las grúas, la caída de materiales, tales como el mineral de hierro, u otros escenarios que causen impactos que puedan dañar el ala.

20 Según algunos ejemplos, una vela de ala como se describe en el presente documento puede comprender una placa de base y una placa terminal. Estas placas pueden mejorar el rendimiento aerodinámico del dispositivo al reducir la formación de vórtices como resultado de la generación de sustentación.

25 Según algunos ejemplos, una vela de ala como se describe en el presente documento puede comprender una placa de base y una placa terminal que puede comprender vallas a lo largo de la envergadura del dispositivo para ayudar a dirigir el flujo a través de la superficie del dispositivo y reducir la formación de vórtices y las pérdidas asociadas.

30 A continuación, se describe con más detalle una vela de ala de doble elemento compuesta de dos perfiles aerodinámicos situados debajo, con referencia a las Figuras 15 a 26. Se describe un método para mover los dos perfiles aerodinámicos uno respecto al otro. Cabe señalar que los perfiles aerodinámicos descritos con respecto a las Figuras 15 a 26 a continuación pueden tener entradas y salidas de aire para controlar el flujo de aire como se ha descrito anteriormente. Cualquiera de las características descritas con respecto a las Figuras 15 a 26 a continuación puede incorporarse a cualquiera de las velas de ala descritas anteriormente, tales como las velas de ala 101, 401 y 623, por ejemplo.

35 Las Figuras 15 y 16 muestran una vela de ala 1. La Figura 15 muestra una vista de babor y la Figura 16 muestra una vista de estribor. La vela de ala 701 está compuesta por un primer elemento de perfil aerodinámico 703 y un segundo elemento de perfil aerodinámico 705, siendo el primer elemento de perfil aerodinámico 703 el elemento de ataque y el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 el elemento de salida. El segundo elemento de perfil aerodinámico 705 puede girar con respecto al primer elemento de perfil aerodinámico 703 para formar una forma curvada (como se muestra en la Figura 17), lo que es beneficioso para producir una fuerza de sustentación. Entre el primer elemento de perfil aerodinámico 703 y el segundo elemento de perfil aerodinámico 705, se forma una 'ranura' 704 cuando el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 gira con respecto al primer elemento de perfil aerodinámico 703, y esta ranura 704 permite que un flujo de alta energía desde el lado de presión fluya hacia el lado de succión y permite que el flujo permanezca adherido en un ángulo de ataque más alto, lo que es beneficioso para producir sustentación. El segundo elemento de perfil aerodinámico 705 puede tener la misma longitud de cuerda que el primer elemento de perfil aerodinámico 703, pero en algunos casos puede ser más corto o más largo. El grosor del primer elemento de perfil aerodinámico 703 puede ser más grueso que el del segundo elemento de perfil aerodinámico 705 para aumentar el segundo momento de área de la estructura interna y optimizar el rendimiento aerodinámico del dispositivo. La forma de la sección del perfil aerodinámico que comprende el primer elemento de perfil aerodinámico 703 y el segundo elemento de perfil aerodinámico 703 tiene un grosor máximo dentro de la mitad de ataque de la sección. La curvatura de cada sección de perfil aerodinámico que comprende los elementos de perfil aerodinámico 703 y 705 es convexa a lo largo de la longitud total de cada sección, la curvatura permanece positiva a lo largo de la longitud total y no incluye ninguna inflexión.

40 El primer elemento de perfil aerodinámico 703 está conectado directamente a la base 706 de la vela de ala 701. La base 706 conecta la vela de ala 701 a un buque marítimo asociado. El segundo elemento de perfil aerodinámico 705 está conectado a la base 706 de la vela de ala 701 a través de una conexión con el primer elemento de perfil aerodinámico 705.

45 La Figura 18 muestra algunas configuraciones diferentes de ejemplo de la vela de ala 701. La vela de ala 701, como se muestra en la Figura 18, es capaz de pasar de una configuración en pluma 755, en la que la línea central transversal 758 de ambos elementos aerodinámicos 703 y 705 están alineados, a una configuración curvada 756, en la que el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 gira en relación con el primer elemento de perfil aerodinámico 702. La vela de ala 701 también es capaz de articularse en una configuración en la que el primer

elemento de perfil aerodinámico 703 y el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 forman una configuración muy compacta 757.

La vela de ala 701 puede invertir su curvatura en ambas direcciones para permitir que la vela de ala produzca sustentación 759 con el ángulo del viento 760 procedente tanto de su lado derecho como de su lado izquierdo, como se muestra en la Figura 19. La vela de ala 701 también puede girar 360 grados alrededor de su base 706 alrededor de un eje de ángulo de ataque 748 para permitir que el ángulo de ataque de la vela de ala 701 se ajuste y optimice en función de la dirección del viento en relación con el buque marítimo. Ajustando tanto el ángulo de ataque de la vela de ala 701 como la curvatura de la vela de ala 701, se puede optimizar el flujo aerodinámico alrededor de la vela de ala 701 para producir una cantidad deseada de fuerza de empuje.

Para permitir que la vela de ala 701 se repliegue a la vez que produce una interferencia mínima durante las operaciones portuarias, la vela de ala 701 puede minimizar su altura de repliegue por encima de la cubierta del buque marítimo y garantizar que el primer elemento de perfil aerodinámico 703 y el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 no sobresalgan en modo alguno. Para ello, la vela de ala 701 forma una configuración muy compacta, como se presenta en la configuración 757 de la Figura 18, y se pliega desde una posición vertical a una posición horizontal para minimizar la altura total de la vela de ala 701. Este proceso se describe en los párrafos siguientes.

Para permitir que la vela de la 701 ajuste su curvatura y se pliegue en la configuración muy compacta como se muestra en la configuración 757 de la Figura 18, el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 puede girar con respecto al primer elemento de perfil aerodinámico 703 alrededor de al menos un eje vertical. Según algunos ejemplos, el al menos un eje vertical comprende dos ejes verticales. Al menos un actuador lineal (preferiblemente un pistón hidráulico) puede conectarse al primer y segundo elemento de perfil aerodinámico.

Según algunos ejemplos, el eje principal 762 para la rotación del segundo elemento de perfil aerodinámico 705 con respecto al primer elemento de perfil aerodinámico 703 puede estar situado dentro del primer elemento de perfil aerodinámico 703 y el eje secundario 763 para la rotación del segundo elemento de perfil aerodinámico 705 con respecto al primer elemento de perfil aerodinámico 703 puede estar situado dentro del segundo elemento de perfil aerodinámico 705. Se puede proporcionar un eje 798 para la rotación del primer elemento de perfil aerodinámico 703 con respecto a la base de la vela de ala. Para conectar el primer elemento de perfil aerodinámico 703 y el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 y crear dos ejes de rotación, los dos elementos aerodinámicos pueden estar conectados por un miembro de unión central 771. El miembro de unión central 771 puede albergar cojinetes esféricos o de rodillos, u otras formas de cojinetes mecánicos o juntas giratorias para conectar libremente el miembro de unión al primer elemento de perfil aerodinámico 702 y al segundo elemento de perfil aerodinámico 705. El miembro de unión 770 puede comprender una barra superior 772 y una barra inferior 773, y la barra superior 772 y la barra inferior 773 pueden estar conectadas por un miembro estructural torsional 774 para alinear la barra superior e inferior y resistir cualquier momento torsional entre la punta y la base del ala. El miembro estructural torsional 774 puede comprender un larguero torsional y puede ser esférico y estar compuesto de acero, aluminio o un material compuesto. Un actuador lineal inferior 765 en la base del ala (preferiblemente un pistón hidráulico) se conecta tanto al miembro de unión 771 (preferiblemente a la barra inferior 773) como a la estructura del primer elemento de perfil aerodinámico 703, preferiblemente a una estructura de base del primer elemento 784, y controla el movimiento relativo de ambas partes. De manera similar, la vela de ala 701 puede comprender un actuador lineal superior 764 (preferiblemente un pistón hidráulico) que conecta la barra superior 772 del miembro de unión 771 con la estructura del primer elemento de perfil aerodinámico 703 y puede conectarse a la estructura del extremo del primer elemento 783. La conexión de los actuadores lineales 764 y 765 a la vela de ala 701 puede fijarse a pasadores fijados entre dos soportes fijados a cada parte de la vela de ala 701 y permitir que las fijaciones giren libremente con los ángulos cambiantes. El actuador lineal superior 764 y un actuador lineal inferior 765 se usan preferiblemente para impulsar la rotación del miembro de unión 771 en relación con el primer elemento de perfil aerodinámico 703. Los puntos de conexión entre los pistones 764 y 765 y el miembro de unión 771 pueden estar tanto en la barra superior como en la barra inferior, y su conexión puede girar preferiblemente con respecto al miembro de unión 771. El miembro de unión puede comprender, además de la barra superior 772 y la barra inferior 773, otras barras de conexión espaciadas entre estas dos barras, que también pueden fijarse a la estructura torsional. Estas barras de conexión también pueden comprender cojinetes giratorios que conectan el primer elemento de perfil aerodinámico 703 al segundo elemento de perfil aerodinámico 705 y permiten la rotación entre sí mediante dos ejes verticales. El eje principal 762 es un eje vertical, preferiblemente dentro del primer elemento de perfil aerodinámico 703, y pasa por el centro de cada uno de los cojinetes que conectan el primer elemento de perfil aerodinámico 703 al miembro de unión 771. El eje secundario 763 es un eje vertical, preferiblemente dentro del segundo elemento de perfil aerodinámico 705, y pasa por el centro de cada uno de los cojinetes que conectan el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 al miembro de unión 771.

El intervalo completo de movimiento de la vela de ala 701 según algunos ejemplos se presenta en la Figura 22. Para ajustar e invertir la curvatura de la vela de ala 701, el segundo elemento de perfil aerodinámico gira alrededor del eje principal 762 para completar el intervalo de movimiento necesario para recortar activamente el ala para optimizar el flujo aerodinámico. Este movimiento puede controlarse mediante uno o más actuadores lineales, preferiblemente un actuador lineal superior 764 en la parte superior 791 de la vela de ala 701 y un actuador lineal inferior 765 en la parte

inferior 792 de la vela de ala 701, como se muestra en las Figuras 20 y 21. Como se representa en la Figura 22, la configuración 766 muestra la configuración neutra 'en pluma', la configuración 767 muestra la curvatura máxima de trabajo a estribor (normalmente en el intervalo de 10-25 grados desde el centro) y la configuración 768 muestra la curvatura máxima de trabajo a babor (normalmente en el mismo intervalo que la curvatura máxima de trabajo a estribor 767).

Para plegar la vela de ala 701 en su configuración arriada, el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 se gira alrededor de su eje principal 762 hasta una posición de rotación máxima. La posición de rotación máxima puede ser, en algunos ejemplos, aquella en la que se alcanza la carrera mínima de un pistón (u otro actuador lineal). Esto se muestra como la configuración 769. A continuación, el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 gira en relación con el primer elemento de perfil aerodinámico 705 2 alrededor de su eje secundario 763 aproximadamente 90 grados para crear una configuración muy compacta 770. Esta configuración muy compacta 770 minimiza preferiblemente la longitud combinada 793 y el grosor 794 tanto del primer elemento de perfil aerodinámico 703 como del segundo elemento de perfil aerodinámico 705 y da como resultado una orientación del segundo elemento de perfil aerodinámico 705 en relación con el primer elemento de perfil aerodinámico 703 que es inversa a su configuración en pluma 766. La línea central del primer elemento de perfil aerodinámico 703 y del segundo elemento de perfil aerodinámico 705 puede quedar paralela en esta configuración o hasta aproximadamente 40°, y el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 queda preferiblemente dentro de la longitud del primer elemento de perfil aerodinámico 703. Esta rotación alrededor del eje secundario 763 puede controlarse mediante un actuador rotativo o un dispositivo de pistón secundario conectado entre el miembro de unión 771 y el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 y, preferiblemente, ser un pistón lineal hidráulico o un actuador rotativo hidráulico. En el caso de que se use un pistón hidráulico lineal, se forma una disposición de pistón doble en serie que permite que el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 gire en relación con el primer elemento de perfil aerodinámico 703 en un ángulo superior a 180 grados. Se consigue el mismo ángulo si se usa un actuador giratorio.

Cuando se completa la rutina de articulación de plegado del segundo elemento de perfil aerodinámico 705 (como se ha descrito anteriormente y en la Figura 22), la vela de ala 701 está lista para plegarse hacia la cubierta y prepararse para las operaciones en puerto. La Figura 24 muestra este proceso. La base 706 de la vela de ala 701 está conectada a una placa pivotante 778 que está conectada a la estructura de base 706, preferiblemente una estructura fabricada de acero con placas y bridas soldadas, mediante una disposición articulada. Esta disposición permite que la vela de ala 701 gire alrededor de un eje horizontal 795 para pasar de una configuración condensada vertical 775 (vertical) a una configuración arriada 776 (horizontal). El cableado hidráulico y otro cableado electrónico de baja tensión pueden pasar desde el interior de la base 761 a través de una abertura en la placa pivotante 778 y subir hasta la vela de ala 701.

La vela de ala 701 en su configuración condensada vertical 775 se baja a su configuración arriada 776 mediante dos actuadores lineales, preferiblemente pistones hidráulicos 777, que soportan la carga del peso de la vela de ala 701 como tensión. Un solo pistón es capaz de elevar y bajar la vela de ala 701, y el segundo de estos dos pistones reduce la carga en un solo pistón y proporciona redundancia en el sistema en caso de fallo de uno de los pistones o de sus sistemas. El mismo proceso se repite a la inversa para transferir la vela de ala 701 desde su configuración arriada a su configuración vertical y de trabajo.

En su configuración arriada, la vela de ala 701 se coloca horizontalmente e idealmente se coloca paralela a la cubierta del buque. La punta de la vela de ala 701 se apoya en un soporte de cubierta y un pasador de bloqueo la fija en su sitio. En un buque carguero, la base de la vela se montará preferiblemente en la cubierta lateral entre las correderas de las tapas de las escotillas y se bajará a una configuración arriada por encima de las tapas de las escotillas. Las tapas de las escotillas podrán deslizarse por debajo de la vela de ala 701 arriada para permitir que las operaciones portuarias no se interrumpan. La vela de ala 701 se colocará preferiblemente al menos dos metros por encima de la cubierta para permitir el paso por debajo. Para instalaciones en buques cargueros y otras instalaciones en las que el espacio de cubierta es limitado, los pistones pueden montarse en la parte inferior de la placa pivotante 778 y colocarse en una cavidad dentro de la cubierta. Cuando el espacio de cubierta no sea limitado, los pistones se pondrán por encima de la cubierta, como se muestra en la Figura 24.

La construcción de la vela de ala 701, según algunos ejemplos, es sencilla y robusta, y su simplicidad minimiza el coste total de la vela de ala 701, lo que permite que el combustible ahorrado gracias a la vela 'amortice' la vela en un periodo de tiempo más corto. La Figura 25 muestra la estructura desnuda 779 de la vela de ala 701 y el carenado del primer elemento de perfil aerodinámico 780 y el carenado del segundo elemento de perfil aerodinámico 781 retirados para mayor claridad. La estructura principal puede comprender un larguero principal 782 que puede estar conectado a una estructura de base del primer elemento 784 y a una estructura terminal del primer elemento 783, y también puede estar conectado a una serie de nervios estructurales 797 para proporcionar soporte al carenado aerodinámico del primer elemento de perfil aerodinámico 780. En otra realización de la invención, la estructura puede no incluir nervios estructurales 797. El larguero principal 782 sobresale por debajo del primer elemento de perfil aerodinámico 703 y de la estructura de base del primer elemento 784 y se fija a la parte superior de una disposición de cojinetes 785, preferiblemente un cojinete de engranaje de giro accionado hidráulicamente, que permite que la vela de ala 701 gire aproximadamente 360 grados con respecto a la base y al buque. Las cargas se transfieren y se distribuyen uniformemente al cojinete para minimizar las concentraciones de tensión localizadas que

pueden afectar a la rotación del dispositivo. Estas cargas pueden distribuirse y transferirse a través de bridas triangulares, preferiblemente soldadas al larguero principal 782 y a una placa que posteriormente se atornilla a la parte superior de la disposición de cojinetes. Estas bridas triangulares pueden estar compuestas por chapa de acero. Se pueden usar otros métodos para transferir las cargas desde el larguero principal 782 y el cojinete.

5 Según algunos ejemplos, la parte inferior de la disposición de cojinetes 785 está atornillada a la placa pivotante 778, que es preferiblemente una placa de acero con bridas de refuerzo estructural. La placa pivotante 778 está conectada a la base de vela de ala 761 mediante una disposición articulada con un eje horizontal 795 a lo largo de un borde de la placa pivotante 778 y mediante un dispositivo de pasador de bloqueo en el otro borde de la placa pivotante 778.

10 La base 761 comprende preferiblemente una estructura fabricada de acero con placas de acero soldadas y secciones de bridas de acero soldadas para transmitir las fuerzas y los momentos desde la vela de ala 701 a la cubierta y a la estructura existente y modificada de los barcos. La base 761 está preferiblemente atornillada o soldada a la cubierta y las cargas se transfieren a la estructura subyacente.

15 Según algunos ejemplos, la estructura de base del primer elemento 784, la estructura terminal del primer elemento 783 y los nervios estructurales 797 pueden estar compuestos preferiblemente por secciones de chapa de acero fabricadas soldadas entre sí para formar un soporte para el carenado del primer elemento 780. También pueden estar compuestas de aluminio o de un material compuesto. El carenado del primer elemento está conectado a la estructura de soporte de la base 34 y a la estructura de soporte terminal 783. Este carenado puede unirse mediante

20 fijaciones mecánicas o uniones químicas. El carenado aerodinámico del primer elemento de perfil aerodinámico 780 y el carenado aerodinámico del segundo elemento de perfil aerodinámico 781 pueden estar compuestos preferiblemente de material compuesto, pero pueden estar compuestos de chapa curvada de acero o aluminio.

25 El larguero principal 782 puede estar compuesto por una sección de caja fabricada en acero o una sección de viga en I u otros métodos de construcción para proporcionar una forma estructuralmente eficiente en flexión y torsión. El larguero principal 782 debe transferir la acumulación total de cargas generadas por la vela de ala 701 a la base del ala.

30 El primer elemento de perfil aerodinámico 703 puede estar conectado a un miembro de unión 771 que puede girar con respecto al primer elemento de perfil aerodinámico 703 alrededor del eje principal 762. El primer elemento de perfil aerodinámico 703 puede comprender un mínimo de dos cojinetes para conectarlo al miembro de unión 771 que puede girar. Preferiblemente, el primer elemento de perfil aerodinámico puede comprender una disposición de doble plano de cizallamiento 786, 790, como se muestra en la Figura 25.

35 La Figura 25 presenta una vista estructural de la vela de ala 701 con el miembro de unión 771 resaltado para indicar cómo se ajuste el miembro de unión 771 en el resto de la estructura de la vela de ala. La Figura 25 también presenta una vista ampliada de la estructura de base del primer elemento 784, la estructura de base del segundo elemento 788 y el miembro de unión 771 para representar cómo estas piezas se unen y giran juntas y forman la disposición de doble plano de cizallamiento. Aunque a continuación se describe el detalle para la base del ala, se supone que el mecanismo es similar para el extremo del ala y puede encontrarse en cualquier otra ubicación a lo largo del eje principal 762.

40

Según algunos ejemplos, la estructura del primer elemento (que puede estar compuesta por la estructura de base del primer elemento 784, la estructura terminal del primer elemento 783 y los nervios estructurales 797) puede

45 albergar un mínimo de dos cojinetes, pero preferiblemente comprende más de dos cojinetes. La Figura 26 proporciona un ejemplo de un conjunto de doble cojinete incrustado en la estructura de base del primer elemento, aunque este conjunto puede encontrarse en cualquier punto dentro de la estructura del primer elemento de perfil aerodinámico 703 a lo largo del eje principal 762, y en este ejemplo se repite dentro de la estructura terminal del primer elemento 783, pero no se muestra en detalle.

50 El conjunto de cojinetes representado en la Figura 26 puede comprender un cojinete superior 796a y un cojinete inferior 766b, y estos cojinetes pueden estar separados entre sí por una abertura para alojar la barra inferior 773. El cojinete superior 766a y el cojinete inferior 766b pueden estar conectados mecánicamente o unidos al miembro estructural torsional de los miembros de unión 774 para permitir la rotación del miembro de unión 771 en relación

55 con la estructura de base del primer elemento 784. El uso de dos cojinetes 796a y 796b crea una disposición de doble plano de cizallamiento que proporciona a la unión una mayor estabilidad y restringe la rotación transversal del miembro de unión 771 en relación con la estructura de base del primer elemento 784. También se puede proporcionar un cojinete 796c para la rotación del segundo elemento de perfil aerodinámico con respecto al miembro de unión 771. En otra realización de la invención, se usa un único cojinete para conectar el miembro de unión 771 a

60 la estructura de base del primer elemento 784. Si se usa un solo cojinete, el cojinete puede ser un cojinete autoalineable y capaz de girar con un eje descentrado, es decir cuando la parte superior de la vela de ala 701 se desvía y gira en un ángulo mayor que la parte inferior de la vela de ala 701 debido a la desviación bajo carga de la estructura de la vela de ala, el cojinete es capaz de autoalinearse para mantener el movimiento entre el miembro de unión 771 y la estructura de base del primer elemento 784 alrededor del eje principal 762.

65 Los cojinetes 796a y 796b pueden ser cilíndricos o autoalineables y deben permitir que el miembro de unión gire

libremente alrededor del eje principal 762, a la vez que proporcionan soporte para la carga del segundo elemento de perfil aerodinámico 705. Estos cojinetes pueden transferir toda la carga del miembro de unión 771 a la estructura de base del primer elemento 784 y a la estructura terminal del primer elemento 783, incluido el peso propio del miembro de unión 771 y del segundo elemento de perfil aerodinámico 705. Los cojinetes también pueden estar alojados dentro de los nervios estructurales 797 o de cualquier otra estructura dentro del primer elemento de perfil aerodinámico 703. Por el contrario, los nervios estructurales pueden contener espacio a lo largo del eje principal 762 para permitir que el larguero torsional 774 del miembro de unión 771 gire libremente sin entrar en contacto con los nervios estructurales 797.

El miembro de unión 771 gira en relación con el primer elemento de perfil aerodinámico 703 y puede estar conectado al segundo elemento de perfil aerodinámico 705 a través de una disposición de cojinetes alojada dentro de la estructura del segundo elemento de perfil aerodinámico 705 que actúa a lo largo del eje secundario 763. Esta disposición de cojinetes puede estar conectada a un miembro estructural torsional 787 que conecta la parte superior y la base del segundo elemento de perfil aerodinámico 705 para soportar las fuerzas y momentos torsionales que actúan entre la parte superior y la base del segundo elemento de perfil aerodinámico 705 y garantiza que el elemento de perfil aerodinámico no se retuerza de forma adversa.

La conexión del miembro de unión 771 al segundo elemento de perfil aerodinámico 705 puede ser a través de dos o más cojinetes fijados al miembro estructural torsional 787, que puede estar fijado a una estructura de base del segundo elemento 788 y a una estructura terminal del segundo elemento 789. Esta disposición de cojinetes permite que el segundo elemento de perfil aerodinámico 705 pueda girar con respecto al miembro de unión alrededor del eje secundario 763. Este miembro estructural torsional 787 soporta las fuerzas y momentos torsionales entre la parte superior e inferior del segundo elemento de perfil aerodinámico 705 y minimiza la deflexión de la parte superior de este elemento en relación con la parte inferior. Esto proporciona rigidez estructural y evita daños por flexión excesiva del elemento de perfil aerodinámico.

De manera similar a los carenados aerodinámicos del primer elemento de perfil aerodinámico 780, los carenados aerodinámicos del segundo elemento de perfil aerodinámico 781 pueden conectarse a la estructura del segundo elemento de perfil aerodinámico 705. Los carenados aerodinámicos del segundo elemento 781 pueden conectarse a la estructura del segundo elemento de perfil aerodinámico 705 mediante fijación mecánica o unión a la estructura de base del segundo elemento 788, la estructura terminal del segundo elemento 789 y los nervios estructurales 797 del segundo elemento de perfil aerodinámico 705, o conexión a cualquier combinación de estas partes. Estas conexiones comprenden preferiblemente fijaciones mecánicas o unión, y el carenado del segundo elemento de perfil aerodinámico 781 está compuesto preferiblemente de material compuesto, pero puede estar compuesto de chapa de acero o aluminio.

El carenado del primer elemento de perfil aerodinámico 780 y el carenado del segundo elemento 781 pueden estar contruidos preferiblemente en dos mitades y unidos o fijados mecánicamente entre sí, o pueden estar compuestos por placas más pequeñas unidas o fijadas mecánicamente a los nervios estructurales 797 o fabricadas de mitades más pequeñas. La estructura del segundo elemento de perfil aerodinámico 705 puede estar compuesta por placas fabricadas de acero o puede estar compuesta por material compuesto o aluminio.

Todas las estructuras metálicas de la vela de ala 701 pueden pintarse con pintura anticorrosiva para reducir la corrosión durante su uso en entornos salinos altamente corrosivos.

La estructura de soporte de la base y terminal del primer y segundo elementos aerodinámicos (783, 784, 788 y 789) puede comprender una placa de base y una terminal, acopladas para mejorar el rendimiento aerodinámico del dispositivo al reducir la formación de vórtices como resultado de la generación de sustentación.

La Figura 27 muestra una sección transversal de un ejemplo de vela de ala 801 que comprende múltiples salidas 809a, 809b, 809c, 809d, 809e, 809f, 809g y 809h en el perfil aerodinámico de ataque (delantero). La vela de ala 801 puede funcionar de manera similar a la vela de ala 101, aunque en lugar de una única salida (salida 109 en el perfil aerodinámico 103), la vela de ala 801 tiene múltiples salidas en el perfil aerodinámico delantero. La vela de ala 801 puede comprender una cavidad presurizada 880.

Las múltiples salidas 809a, 809b, 809c, 809d, 809e, 809f, 809g y 809h pueden estar provistas a una altura particular de la vela de ala 801, por ejemplo, en la base de la vela de ala 801 o en la parte superior de la vela de ala 801. En algunos ejemplos, las salidas están situadas a intervalos regulares entre la base de la vela de ala 801 y la parte superior de la vela de ala 801. La vela de ala 801 también puede comprender una o más entradas en el perfil aerodinámico delantero (no mostradas en la Figura 27 para mayor claridad). En algunos ejemplos, la una o más entradas pueden estar a una altura diferente a la de las salidas. Las múltiples salidas de aire 809a, 809b, 809c, 809d, 809e, 809f, 809g y 809h pueden actuar de manera similar a la única salida de aire 109 de la vela de ala 101, en el sentido de que las múltiples salidas proporcionan una corriente de aire de alta energía sobre la superficie del ala para reenergizar la capa límite, aumentando así el ángulo de ataque de la vela de ala 801 que se puede alcanzar antes de entrar en pérdida y también aumentando el coeficiente de sustentación que se puede alcanzar de la vela de ala 801. Las múltiples salidas de aire 809a, 809b, 809c, 809d, 809e, 809f, 809g y 809h se configurarán de manera

que el flujo de aire se dirija hacia el lado de alta presión y no hacia el lado de baja presión del perfil aerodinámico, cerrando las salidas de aire del lado de baja presión. En algunos ejemplos, las salidas de aire del primer elemento de perfil aerodinámico mostrado en la Figura 27 estarán situadas hacia la mitad trasera del elemento de perfil aerodinámico, hacia el borde de salida. En otro ejemplo, una o más de estas salidas de aire pueden estar situadas en la mitad delantera del elemento de perfil aerodinámico de ataque (delantero).

En algunos ejemplos, la vela de ala 801 puede, comprender una "unidad" de vela de ala que puede repetirse para proporcionar una vela de ala modular, tal como la vela de ala 621.

Aunque se muestran 8 salidas en el perfil aerodinámico de ataque de la vela de ala 801, se entenderá que en otros ejemplos pueden usarse más o menos salidas.

La Figura 28 muestra una sección transversal de una vela de ala 901 de ejemplo que comprende múltiples salidas 909a, 909b, 909c, 909d, 909e, 909f, 909g y 909h. La vela de ala 901 puede funcionar de manera similar a la vela de ala 801, aunque la vela de ala 901 tiene múltiples salidas 984a, 984b, 984c, 984d, 984e, 984f, 984g, 984h en un perfil aerodinámico de salida. La vela de ala 801 puede comprender una cavidad presurizada 880.

Las múltiples salidas 984a, 984b, 984c, 984d, 984e, 984f, 984g, 984h pueden proporcionarse a una altura particular de la vela de ala 901, por ejemplo, en la base de la vela de ala 801 o en la parte superior de la vela de ala 901. En algunos ejemplos, las salidas están situadas a intervalos regulares entre la base de la vela de ala 901 y la parte superior de la vela de ala 901. La vela de ala 901 también puede comprender una o más entradas en el perfil aerodinámico delantero (no mostradas en la Figura 28 para mayor claridad). En algunos ejemplos, la una o más entradas pueden estar a una altura diferente a la de las salidas. Las múltiples salidas de aire 909a, 909b, 909c, 909d, 909e, 909f, 909g y 909h pueden actuar de manera similar a la única salida de aire 109 de la vela de ala 101, en el sentido de que las múltiples salidas proporcionan un flujo de aire de alta energía sobre la superficie del ala para reenergizar la capa límite, aumentando así el ángulo de ataque de la vela de ala 901 que se puede alcanzar antes de la pérdida y también aumentando el coeficiente de sustentación alcanzable de la vela de ala 901. Las múltiples salidas de aire 909a, 909b, 909c, 909d, 909e, 909f, 909g y 909h se configurarán de manera que el flujo de aire se dirija hacia el lado de alta presión y no hacia el lado de baja presión del perfil aerodinámico, cerrando las salidas de aire del lado de baja presión. En algunos ejemplos, las salidas de aire del primer elemento de perfil aerodinámico mostrado en la Figura 28 estarán situadas hacia la mitad trasera del elemento de perfil aerodinámico, hacia el borde de salida. En otro ejemplo, una o más de estas salidas de aire pueden estar situadas en la mitad delantera del elemento de perfil aerodinámico de ataque (delantero).

En algunos ejemplos, la vela de ala 901 puede comprender una "unidad" de vela de ala que puede repetirse para proporcionar una vela de ala modular, tal como la vela de ala 621.

Aunque se muestran 8 salidas en los perfiles aerodinámicos de ataque y salida de la vela de ala 901, se entenderá que en otros ejemplos pueden usarse más o menos salidas.

La Figura 29a muestra la vela de ala 101 en una configuración vertical.

La Figura 29b muestra la vela de ala 101 en una configuración plegada y arriada en donde el perfil aerodinámico trasero (de salida) 105 gira con respecto al perfil aerodinámico delantero (de arranque) 103 de modo que las líneas de cuerda de cada perfil aerodinámico quedan sustancialmente a 90 grados entre sí, y ambos perfiles aerodinámicos 103 y 105 se giran desde la base de la vela de ala hasta una posición horizontal para formar una configuración arriada, como se muestra en la Figura 29b, controlada por uno o dos pistones articulados 777 en la base de la vela de ala. La configuración arriada de la Figura 29b es tal que, en algunos ejemplos, la vela de ala 101 encaja en el canal lateral entre las escotillas de los barcos y el costado de los barcos, y que las escotillas de los barcos pueden deslizarse a una posición abierta debajo del (primer) perfil aerodinámico de ataque 103 o plegarse junto al perfil aerodinámico delantero (primero) 103, de modo que la vela de la 101 no restringe el movimiento de las escotillas de los barcos. En la configuración arriada que mostrada en la Figura 29b, el (segundo) perfil aerodinámico de salida 105 gira con respecto al primer elemento de perfil aerodinámico sustancialmente 90 grados, y, en algunos ejemplos, esto permite que el segundo elemento de perfil aerodinámico permanezca dentro de los límites de la manga del barco. La longitud de la cuerda del segundo elemento de perfil aerodinámico 105 está dimensionada de manera que pueda plegarse a esta configuración arriada y descansar sobre la cubierta lateral del barco, y la altura del primer elemento de perfil aerodinámico 103 sobre la cubierta lateral del barco está dimensionada para permitir que la cubierta de la escotilla del barco se deslice por debajo. La incorporación del control del flujo de la capa límite en el diseño de la vela de ala 101 permite montar un dispositivo más pequeño en el barco mientras se sigue produciendo un empuje similar al de un dispositivo más grande, en donde este dispositivo más pequeño es capaz de producir una configuración arriada como se ha descrito anteriormente para minimizar el impacto en las operaciones portuarias y la carga y descarga del buque, en donde las escotillas de los buques deben articularse para abrirse y cerrarse y la carga se retira de las bodegas de los buques y puede desplazarse por encima de la vela de ala 101 en su configuración arriada mostrada en la Figura 29b. Para proporcionar una cierta cantidad de empuje, se requiere una superficie en planta menor de una vela de ala que use las capacidades de control del flujo de la capa límite que si la vela de ala no tuviera control del flujo de la capa límite. En otras palabras, las velas de ala descritas en el presente

documento pueden producir más empuje con menos superficie total en planta (la superficie total en planta puede considerarse como la superficie transversal combinada de ambos perfiles aerodinámicos a lo largo de la línea de cuerda del perfil aerodinámico respectivo desde la base hasta la punta del perfil aerodinámico respectivo) que las velas de ala anteriores, debido al control del flujo de la capa límite de las velas de ala descritas en el presente documento. Con una superficie de planta más pequeña, en algunos ejemplos, las velas de ala descritas en el presente documento pueden alcanzar una configuración compacta arriada que se adapta al canal lateral entre las escotillas de los barcos y el costado de los barcos, a la vez que producen el empuje necesario para un barco.

La Figura 30 muestra la vela de ala 101 en una configuración arriada con respecto a un buque marítimo (barco). Como se puede ver, la vela de ala 101 en una configuración arriada encaja en el canal lateral entre las escotillas del barco y el costado del barco, lo que permite que las escotillas del barco se deslicen por debajo.

La Figura 31a muestra una estructura de base para un dispositivo de ahorro de energía para un buque marítimo. El dispositivo de ahorro de energía puede comprender un sistema de propulsión eólica (tal como una vela de ala como se describe en el presente documento, un rotor Flettner, una vela turbo, una cometa) o para un dispositivo de generación de energía, tal como una turbina eólica (que tiene un eje vertical u horizontal). La base está diseñada para fijarse a la cubierta de un buque (por ejemplo, cualquier buque como se describe en el presente documento, un carguero, un buque cisterna, un buque portacontenedores, un buque ro-ro, un buque metanero, un transbordador, un crucero, etc.) y comprende tres o más pilares verticales 3003. Cada uno de los pilares verticales 3003 puede tener una sección transversal cilíndrica, una sección transversal en forma de viga en I, una sección transversal cuadrada u otra sección transversal. Cada pilar vertical 3003 puede fijarse a la cubierta de un buque marítimo mediante un patrón de bridas y de atornillado o cualquier otro método. Los pilares 3003 sostienen una plataforma estructural 3004 del dispositivo a una altura de al menos 2 m por encima de la cubierta para permitir un espacio libre de trabajo completo debajo y permitir el funcionamiento normal del buque.

Un actuador lineal 3002 para subir y bajar el dispositivo de propulsión eólica 3001 puede estar situado en la cubierta o puede estar situado en la plataforma 3004 por encima de los pilares 3003, como se muestra en las Figuras 31 a-c. El actuador lineal 3002 puede comprender uno o más pistones de elevación, por ejemplo. Al situar el actuador lineal en la plataforma 3004 por encima de la cubierta, se reduce la probabilidad de accidentes que involucren al actuador lineal 3004 y a los miembros de la tripulación que trabajan en la cubierta.

Al elevar el dispositivo de propulsión eólica por encima de la altura de la cubierta, el dispositivo de propulsión eólica 3001 tiene menos efecto en la disposición de la cubierta (ya que se ahorra espacio en la cubierta). Según algunos ejemplos, los pilares 3003 tienen al menos 2 m de altura, para permitir que la tripulación realice operaciones debajo de la plataforma 3004. Según algunos ejemplos, los pilares 3003 tienen menos de 4 m de altura, para reducir la longitud del brazo de momento entre la cubierta y la plataforma 3004 y, por lo tanto, reducir la tensión en las fijaciones de los pilares 3003 a la cubierta del buque marítimo cuando la fuerza del viento aplica un momento al dispositivo por encima de la base y/o la carga dinámica del momento de balanceo o cabeceo del buque marítimo.

La Figura 31b muestra una vista más detallada de la estructura de la base de la Figura 31a. La Figura 31c muestra una de estructura de base de ejemplo que tiene tres pilares 3003 en lugar de cuatro pilares como se muestra en las Figuras 31a y 31b.

Las Figuras 32a a 32d comparan las diferencias de flujo de aire entre las velas de ala de ejemplo que tienen entradas y las velas de ala que no tienen entradas, y también comparan diferentes posiciones de las entradas en una vela de ala de ejemplo.

La Figura 32a muestra una vela de ala con un ángulo de ataque de 20 grados 3210a con respecto al flujo de aire 3230. En esta imagen no hay aspiración (entrada de aire ni salida presurizada). El flujo permanece adherido hasta que alcanza el 60 % de la longitud de la cuerda de un primer elemento de perfil aerodinámico 3203a de la vela de ala, momento en el que el flujo se separa en una región turbulenta y la vela de ala se describe como en parada. El flujo no alcanza el segundo elemento de perfil aerodinámico 3203b. Esto crea poca sustentación y también provoca arrastre.

La Figura 32b muestra de nuevo una vela de ala con un ángulo de ataque de 20 grados 3210b con respecto al flujo 3230. La vela de ala de ejemplo de la Figura 32b incorpora aspiración mediante una entrada de aire 3207b hacia el cuarto trasero de la longitud de la cuerda del primer elemento de perfil aerodinámico 3203b, y una salida de aire presurizada en el borde de salida del primer elemento. La entrada presurizada 3207b está situada cerca de la ubicación de la separación del flujo y 'aspira' el flujo en este punto, eliminando la capa límite turbulenta y manteniendo el flujo adherido a lo largo del elemento de perfil aerodinámico 3203b y del elemento de perfil aerodinámico 3205b. Esto significa que en un ángulo 3210b que, de otro modo, estaría en pérdida, la vela de ala sigue funcionando bien como perfil aerodinámico y es capaz de alcanzar una mayor sustentación debido al mayor diferencial de presión entre las regiones de alta (H) y baja (L) presión, debido al elevado ángulo de ataque.

La Figura 32c muestra una vela de ala con un ángulo de ataque de 30 grados 3210c respecto al flujo 3230. En este ejemplo no hay aspiración (entrada de aire ni salida presurizada). El flujo permanece adherido solo hasta que

alcanza el primer 30 % de la longitud de la cuerda del primer elemento. En comparación con la Figura 32a, la separación se produce más cerca del borde de ataque del primer elemento que de su borde de salida debido al mayor ángulo de ataque 3210c de la vela de ala. Una vez más, esta configuración está en parada y proporciona poca sustentación y un arrastre significativo, por lo que debe evitarse.

5 La Figura 32d muestra de nuevo una vela de ala con un ángulo de ataque de 30 grados 3210d con respecto al flujo 3230. La vela de ala de la Figura 32d incorpora aspiración, que tiene una entrada de aire hacia (dentro) el cuarto delantero de la longitud de la cuerda del primer elemento de perfil aerodinámico 3203d y una salida de aire presurizado en el borde de salida del primer elemento de perfil aerodinámico 3203d. En este caso, la entrada
10 presurizada 3207 se encuentra cerca de la ubicación de la separación del flujo, que en este caso se produce mucho más cerca del borde de ataque que del borde de salida, y 'aspira' el flujo en este punto, eliminando la capa límite turbulenta y manteniendo el flujo adherido. Dado que la entrada de aire 3207d está situada mucho más cerca del borde de ataque del primer elemento 3203d, esto significa que se puede conseguir un mayor ángulo de ataque 3210d para toda la vela de ala en comparación con la vela de ala de la Figura 32a, aumentando así el diferencial de presión entre las regiones presurizadas alta (H) y baja (L) y creando una mayor cantidad de empuje y una reducción
15 del consumo de combustible del buque.

Por supuesto, se entenderá que los ejemplos descritos son solo a modo de ejemplo y no pretenden limitar el alcance de la invención, que se define por las reivindicaciones adjuntas. El término "vela de ala" no impone ninguna limitación al tamaño o la aplicación de la vela de ala. El término "buque marítimo" no impone ninguna limitación al tamaño o la aplicación del buque marítimo. El buque marítimo y/o la vela de ala pueden proporcionarse a diferentes escalas.

20 Por supuesto, se entenderá que los ejemplos descritos son solo a modo de ejemplo y no pretenden limitar el alcance de la invención, que se define por las reivindicaciones adjuntas. También se entenderá que cualquiera de los ejemplos mencionados puede combinarse.

Las figuras son de naturaleza esquemática y no están necesariamente dibujadas a escala. Se entenderá además que los aspectos de los ejemplos descritos pueden combinarse de cualquier manera.
30

REIVINDICACIONES

1. Una vela de ala (101) que comprende:

5 un primer perfil aerodinámico (103) que tiene un borde de ataque (103a) en la parte delantera de la vela de ala (101) y un borde de salida (103b) detrás del borde de ataque (103a); y

10 un segundo perfil aerodinámico (105) que tiene un borde de ataque (105a) y un borde de salida (105b), estando el borde de ataque (105a) del segundo perfil aerodinámico (105) más cerca que el borde de salida (105b) del segundo perfil aerodinámico (105) de un punto de anchura transversal máxima (105c) del segundo perfil aerodinámico;

en donde la vela de ala (101) está configurada de tal manera que el borde de ataque (105a) del segundo perfil aerodinámico (105) puede situarse detrás del borde de salida (103b) del primer perfil aerodinámico (103);

15 caracterizada por que el primer perfil aerodinámico (103) comprende:

una entrada de aire (107) que comprende una entrada de aire de babor (107p) situada en el lado de babor del primer perfil aerodinámico (103) y una entrada de aire de estribor (107s) situada en el lado de estribor del primer perfil aerodinámico;

20 una salida de aire (109);

un canal (119) dentro del primer perfil aerodinámico (103) que conecta la entrada de aire y la salida de aire (109);

25 en donde el flujo de aire de la entrada de aire (107) se dirige por el canal (119) hacia la salida de aire (109) y el flujo de aire de la salida de aire (109) se dirige fuera de la salida de aire (109) hacia el borde de ataque (105a) del segundo perfil aerodinámico (105).

30 2. Una vela de ala (101) según la reivindicación 1, en donde el segundo perfil aerodinámico (105) tiene una primera parte que comprende el borde de ataque (105a) del segundo perfil aerodinámico (105), en donde la primera parte es redondeada.

35 3. Una vela de ala (101) según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el segundo perfil aerodinámico (105) es simétrico a lo largo de una línea de cuerda del segundo perfil aerodinámico (105).

4. Una vela de ala (101) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la salida de aire (109) está situada en el borde de salida (103c) del primer perfil aerodinámico (103).

40 5. Una vela de ala (101) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde, cuando la vela de ala (101) se usa en una virada a estribor, el primer perfil aerodinámico (103) está configurado de manera que el flujo de aire se dirige a través de la entrada de aire de babor (107p) y no se dirige a través de la entrada de aire de estribor (107s), y en donde, cuando la vela de ala (101) se usa en una virada a babor, el primer perfil aerodinámico (103) está configurado de manera que el flujo de aire se dirige a través de la entrada de aire de estribor (107s) y no se dirige a través de la entrada de aire de babor (107p).

45 6. Una vela de ala (101) según la reivindicación 5, en donde la vela de ala (101) está configurada para:

50 girar el segundo perfil aerodinámico (105) hacia estribor con respecto al primer perfil aerodinámico (103) cuando la vela de ala se usa en una virada a estribor, de modo que la salida de aire (109) del primer perfil aerodinámico (103) dirija el flujo de aire hacia el borde de ataque de babor del segundo perfil aerodinámico (105); y girar el segundo perfil aerodinámico (105) hacia babor con respecto al primer perfil aerodinámico (103) cuando la vela de ala (101) se usa en una virada a babor, de modo que la salida de aire (109) del primer perfil aerodinámico (103) dirija el flujo de aire hacia el borde de ataque de estribor del segundo perfil aerodinámico (105).

55 7. Una vela de ala (101) según la reivindicación 5 o la reivindicación 6, en donde la vela de ala (101) está configurada para:

60 cuando la vela de ala (101) se usa en una virada a estribor, aspirar aire en la entrada de aire de babor (107p) y no aspirar aire en la entrada de aire de estribor (107s), y

cuando la vela de ala se usa en una virada a babor, aspirar aire en la entrada de aire de estribor (107s) y no aspirar aire en la entrada de aire de babor (107p).

65 8. Una vela (101) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la vela de ala (101) comprende:

un generador de diferencial de presión (111) en el primer perfil aerodinámico (103), el generador de diferencial de

- presión (111) configurado para crear una presión interna negativa en el primer perfil aerodinámico (103), en donde la presión interna negativa aspira aire hacia el cuerpo principal del dispositivo a través de la entrada de aire (107), preferiblemente en donde el generador de diferencial de presión (111) comprende: uno o más ventiladores accionados por un motor; o una serie de ventiladores conectados por un eje de ventilador y accionados por un motor, y preferiblemente, en donde el canal (119) comprende el generador de diferencial de presión (111) y una salida de aire.
9. Una vela de ala (101) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el segundo perfil aerodinámico (105) gira hasta una posición de rotación máxima con respecto al primer perfil aerodinámico (103) para minimizar la envergadura total de la vela de ala (101), y en donde la vela de ala (101) se pliega en una base de la vela de ala (101) para formar una configuración arriada.
10. Una vela de ala (101) según la reivindicación 9, en donde la vela de ala (101) comprende una carcasa protectora para cubrir el primer perfil aerodinámico (103) y el segundo perfil aerodinámico (105) en la configuración arriada, en donde la carcasa protectora permite elevar y/o bajar la vela de ala (101) y permite cubrir la vela de ala (101) cuando la vela de ala (101) está bajada y en la configuración arriada realizando al menos una de lo siguiente: plegarse; girar; enrollarse a lo largo de una guía.
11. Una vela de ala (101) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos uno de: software de control para abrir y cerrar la entrada de aire (107) o dirigir el flujo desde una entrada de aire a la siguiente entrada de aire; un sistema de control mecánico para abrir y cerrar la entrada.
12. Una vela de ala (101) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la vela de ala (101) comprende un sistema mecánico que se activa para abrir o cerrar la entrada de aire (107) basándose en el movimiento del segundo perfil aerodinámico (105).
13. Una vela de ala (101) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la vela de ala (101) está configurada para formar una configuración arriada al:
- girar el segundo perfil aerodinámico (105) con respecto al primer perfil aerodinámico (103) de manera que las líneas de cuerda de cada perfil aerodinámico sean sustancialmente perpendiculares entre sí; y a continuación
- girar ambos perfiles aerodinámicos desde la base de la vela de ala (101) hasta una posición horizontal para formar una configuración arriada.
14. Una vela de ala (101) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la vela de ala (101) comprende una estructura de base, comprendiendo la estructura de base:
- tres o más pilares que soportan una plataforma, teniendo cada uno de los tres o más pilares una altura entre dos metros y cuatro metros, en donde el primer perfil aerodinámico y el segundo perfil aerodinámico están situados por encima de la plataforma.
15. Una vela de ala (101) según la reivindicación 14, que comprende:
- un actuador lineal (101) para elevar y bajar la vela de ala, estando el actuador lineal (101) situado por encima de la plataforma.

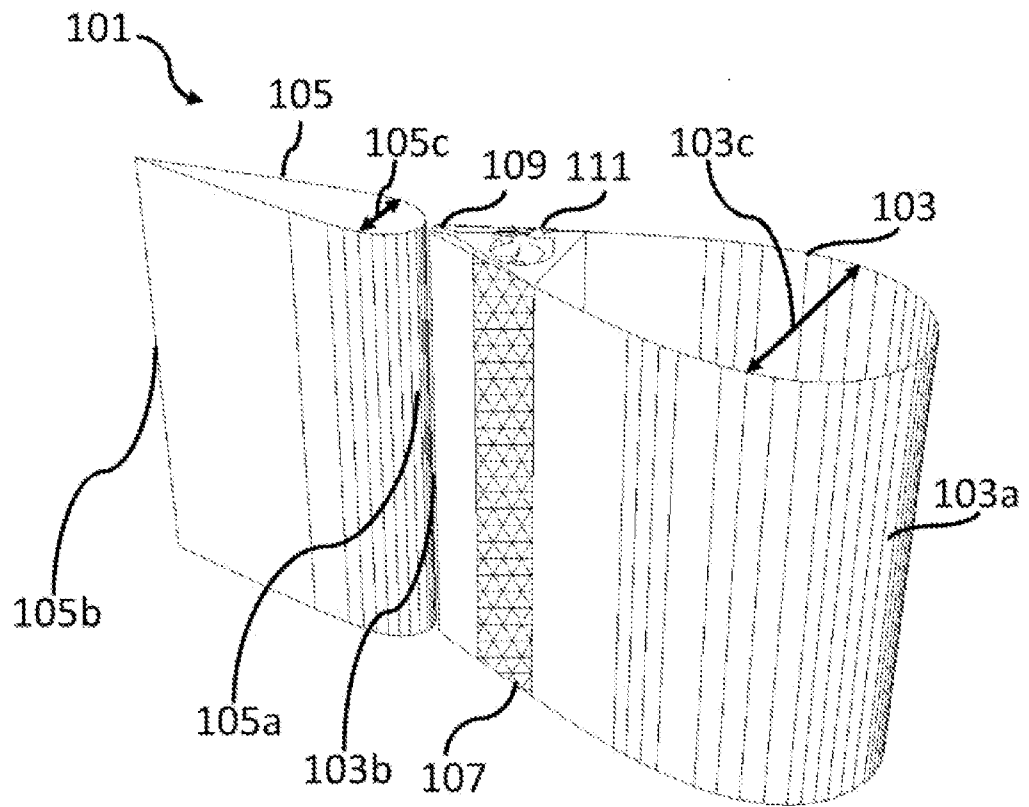


Fig.1

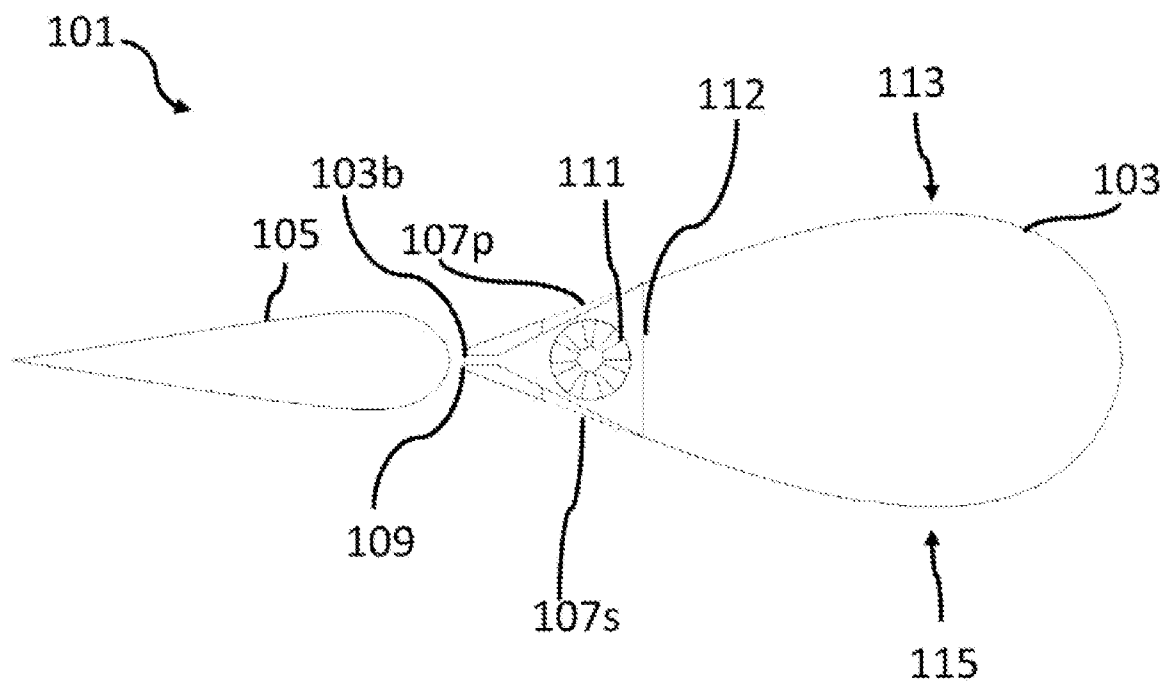
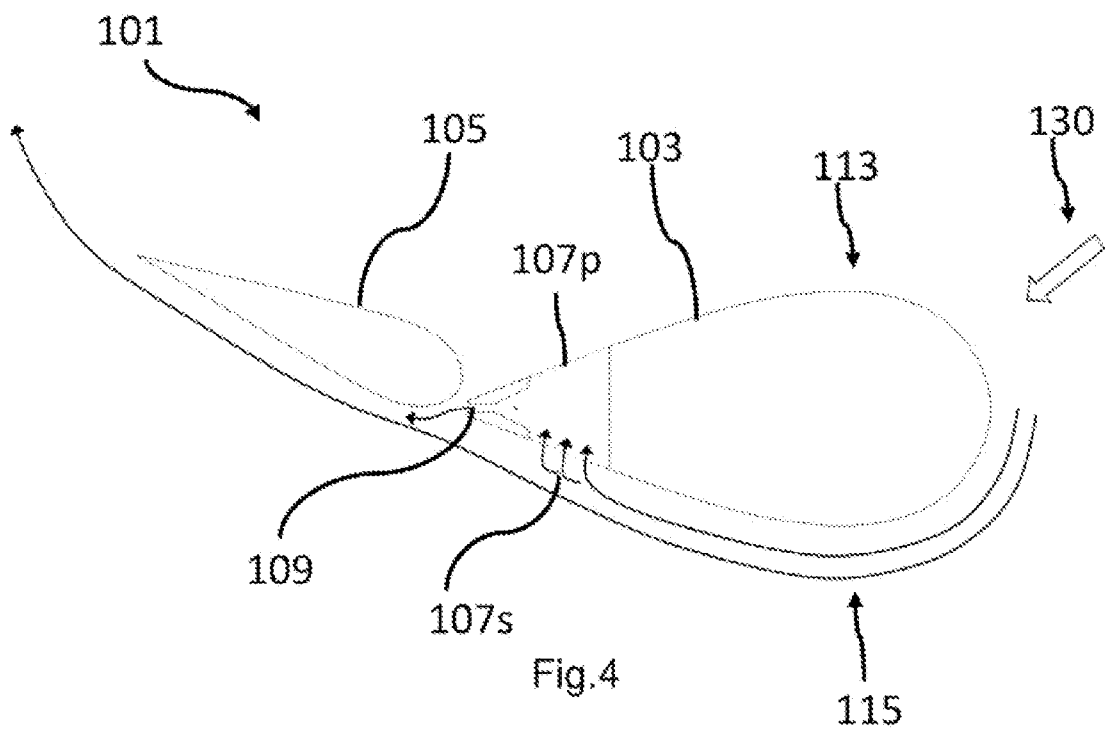
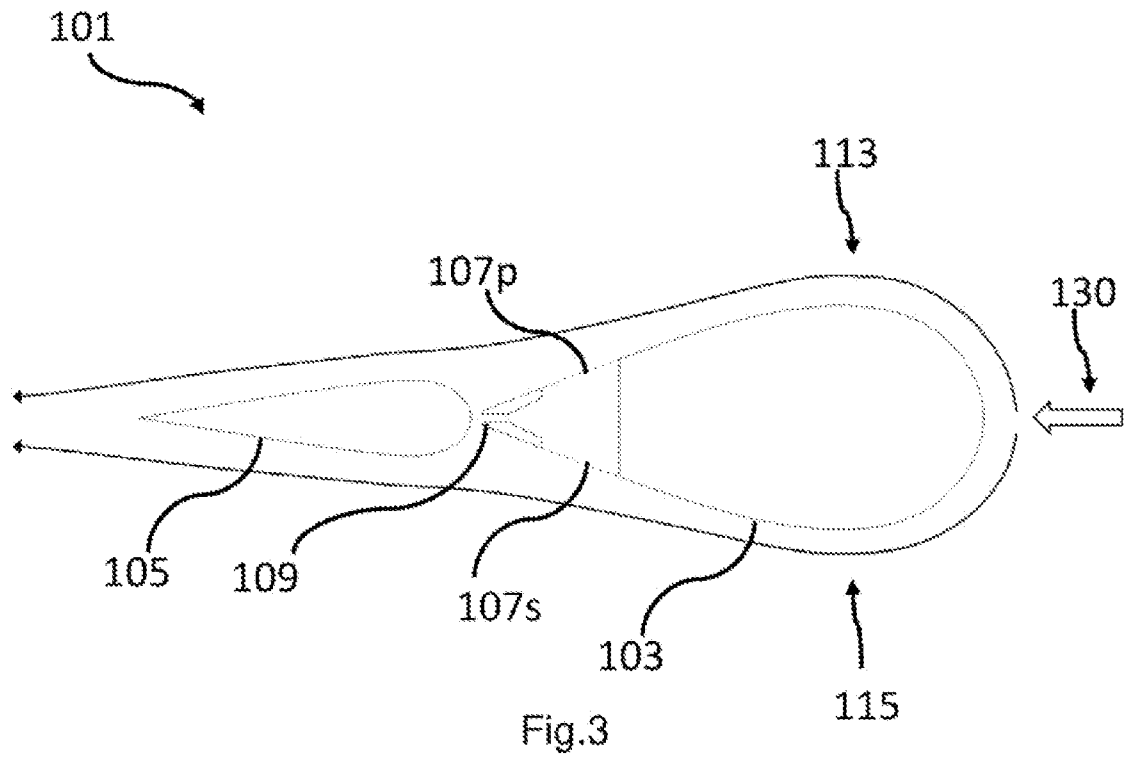


Fig. 2



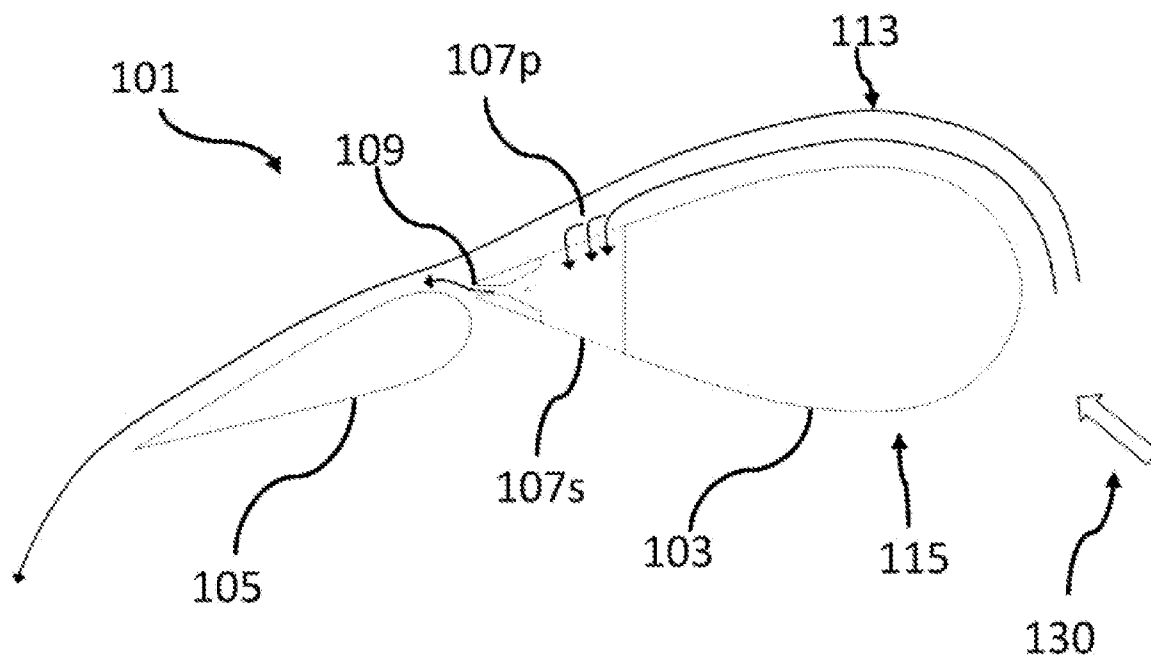
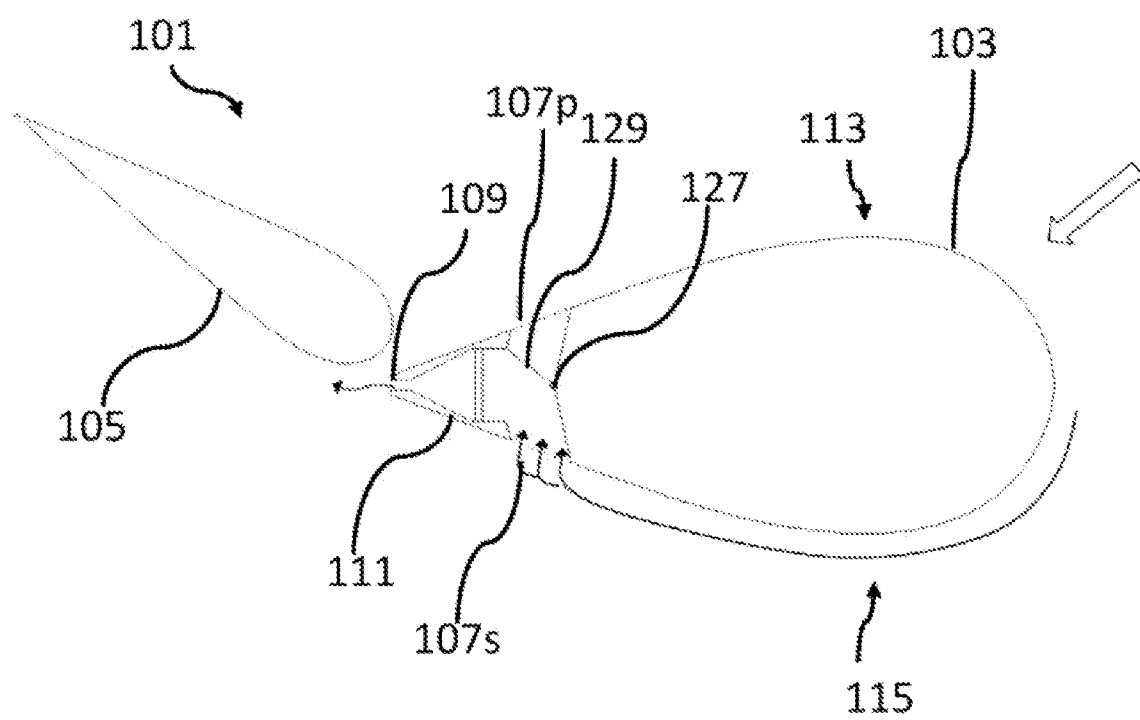
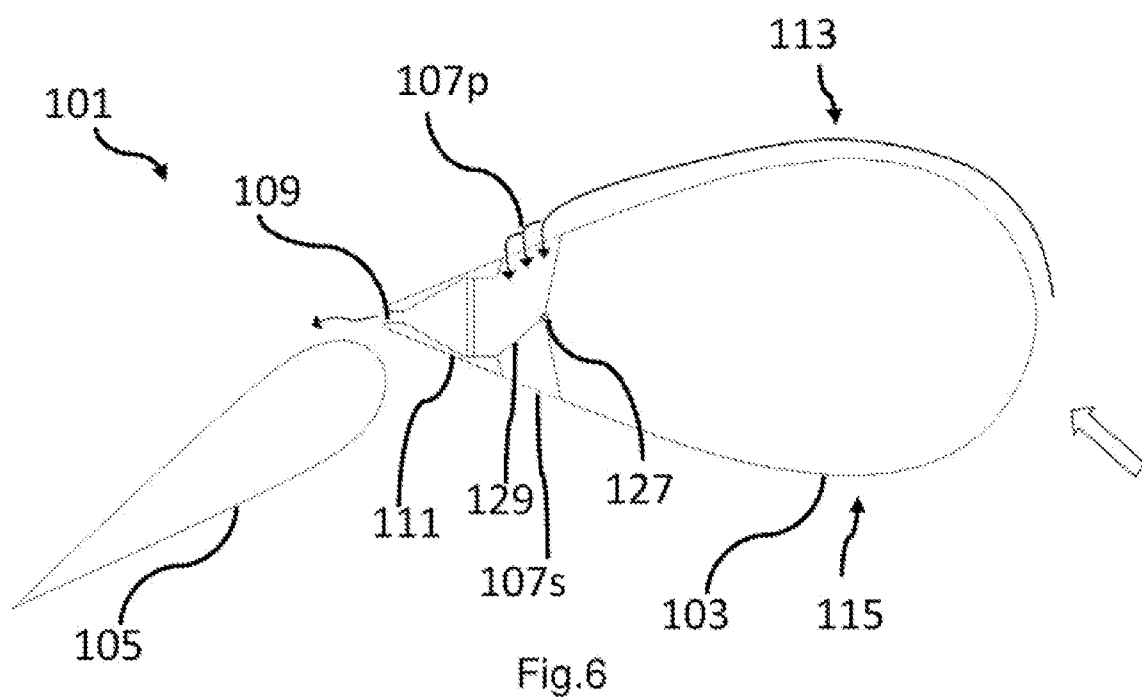


Fig.5



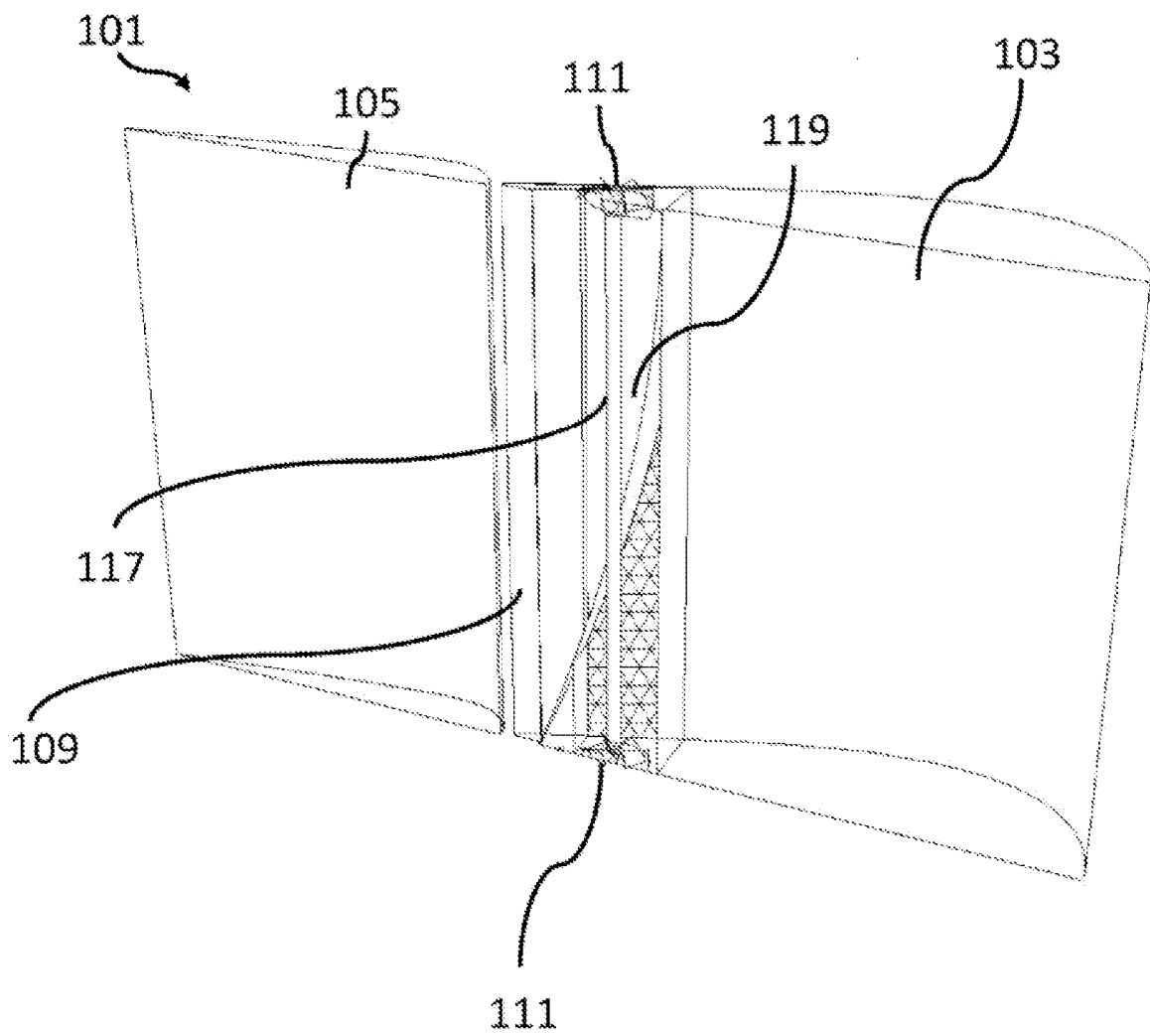


Fig.8

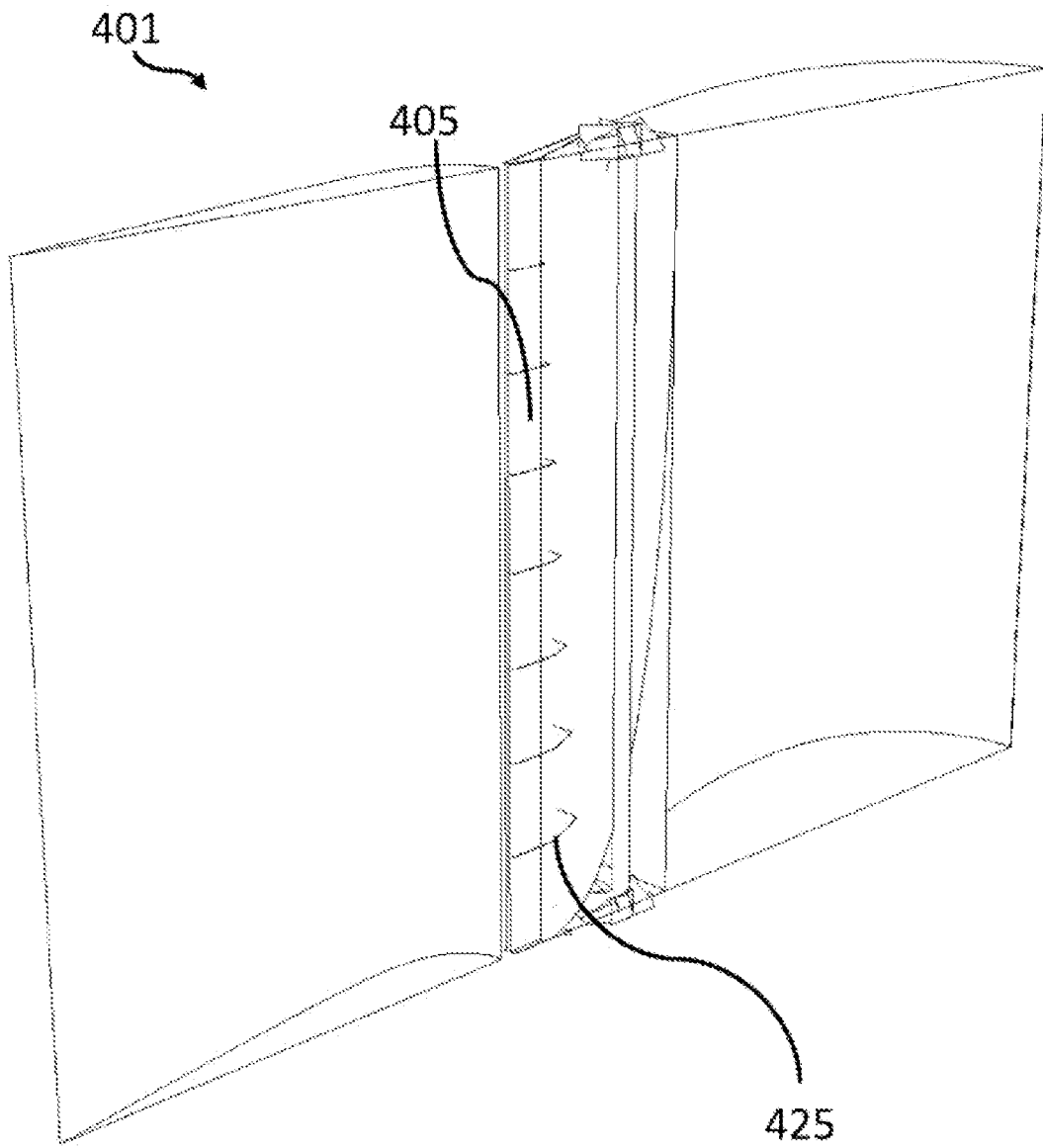


Fig.9

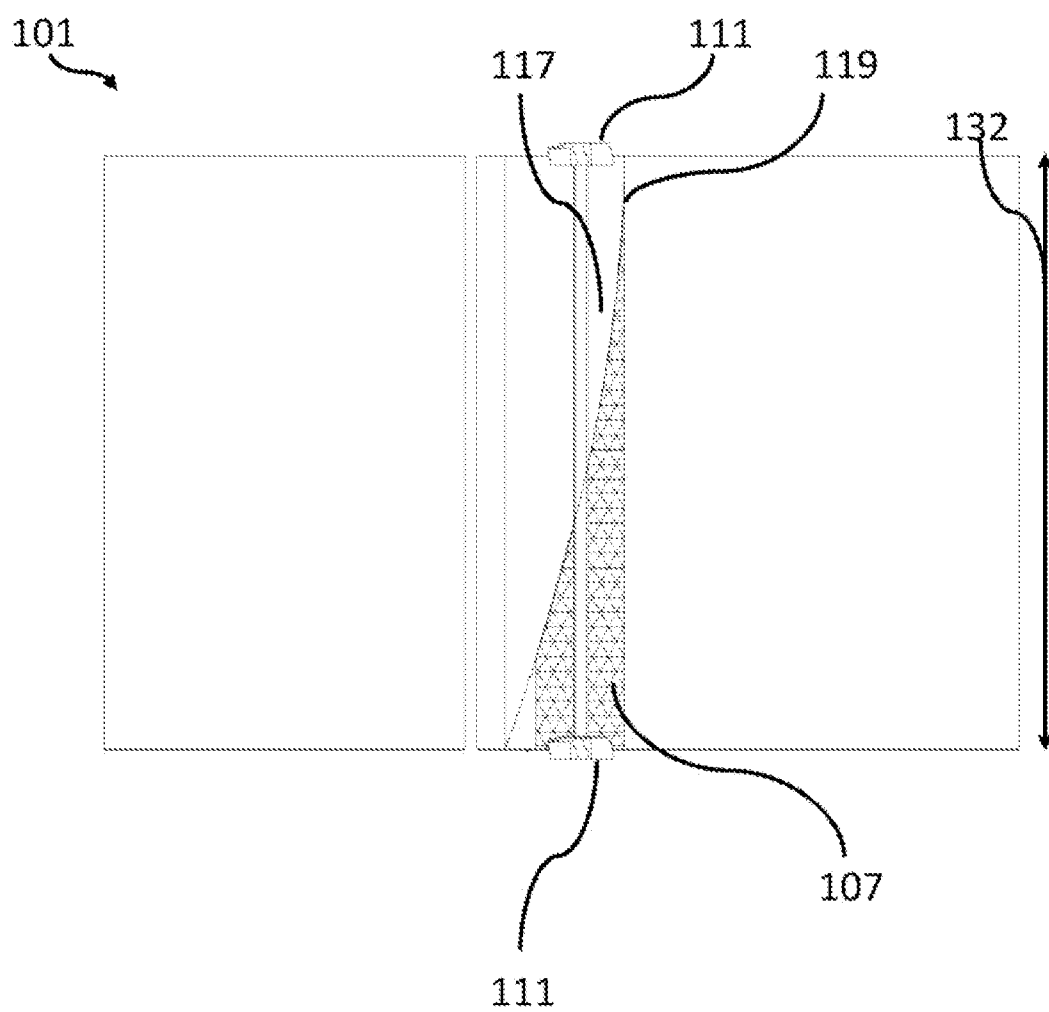


Fig.10

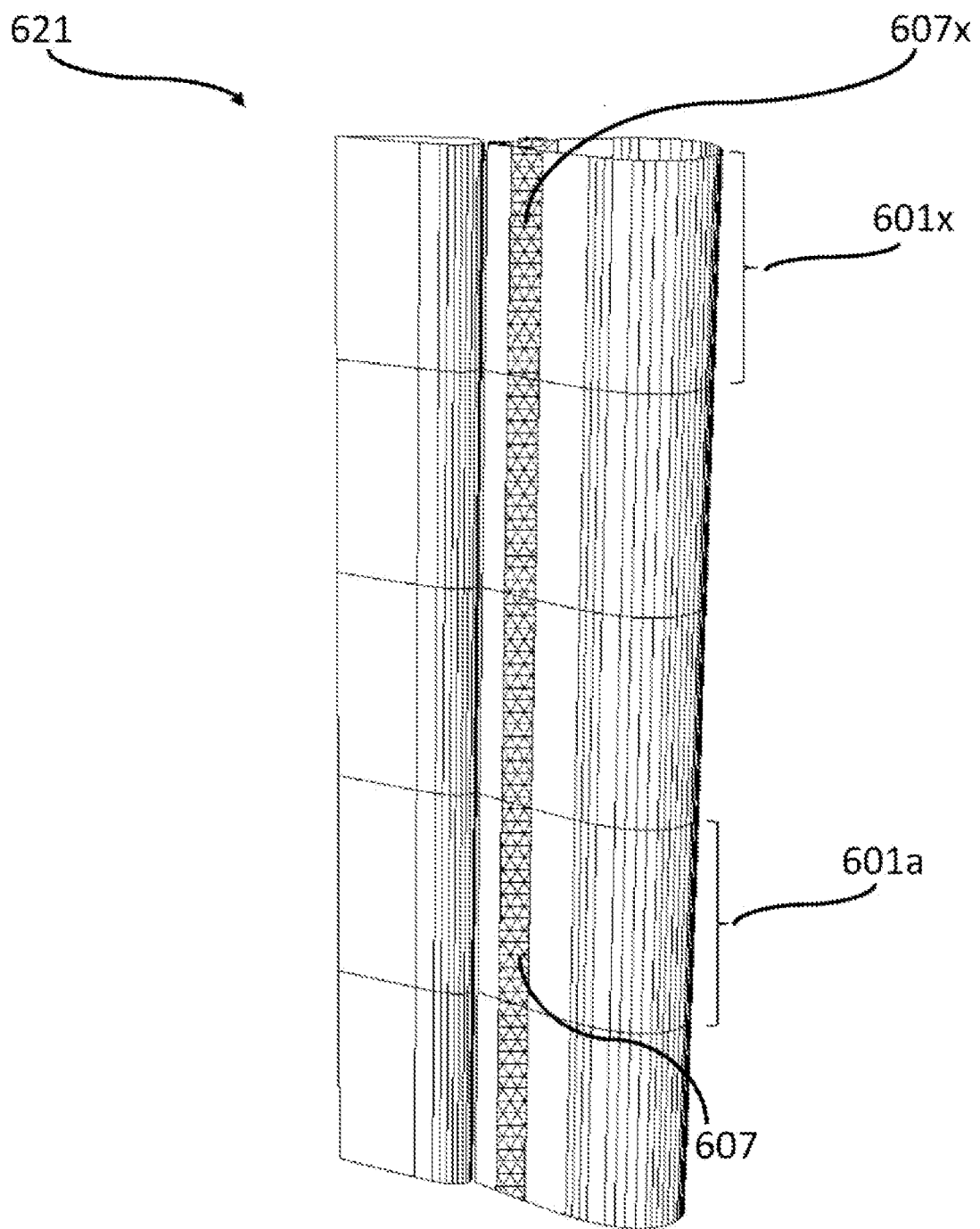


Fig.11

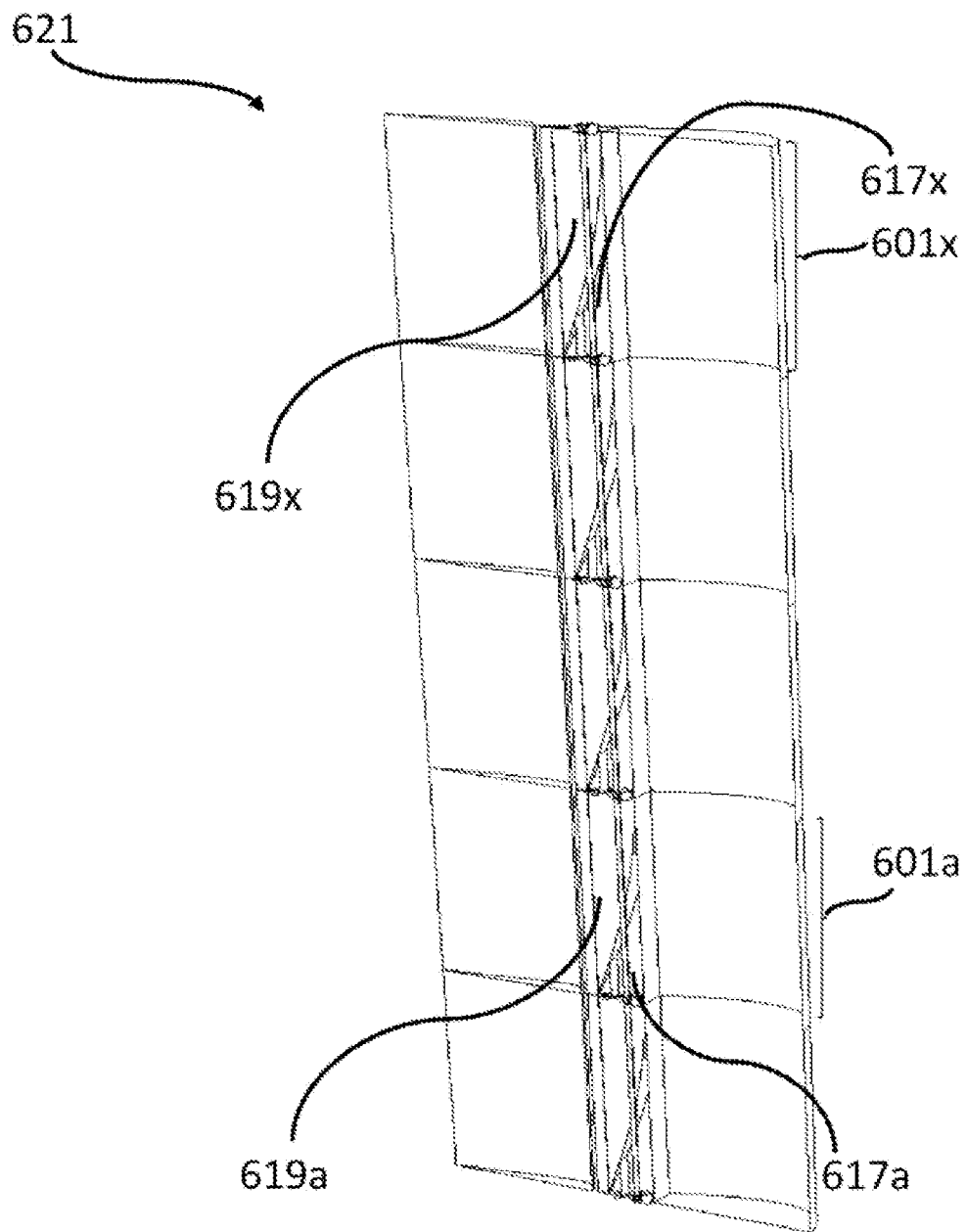
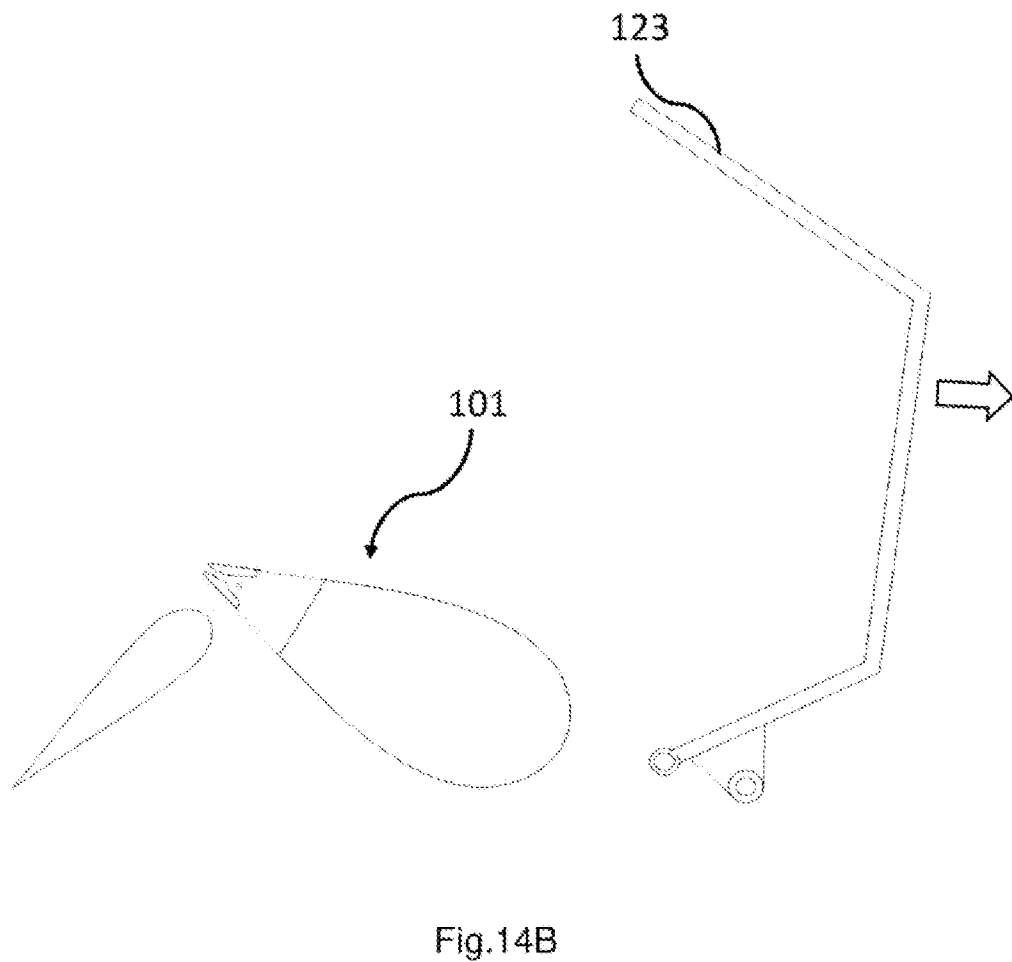
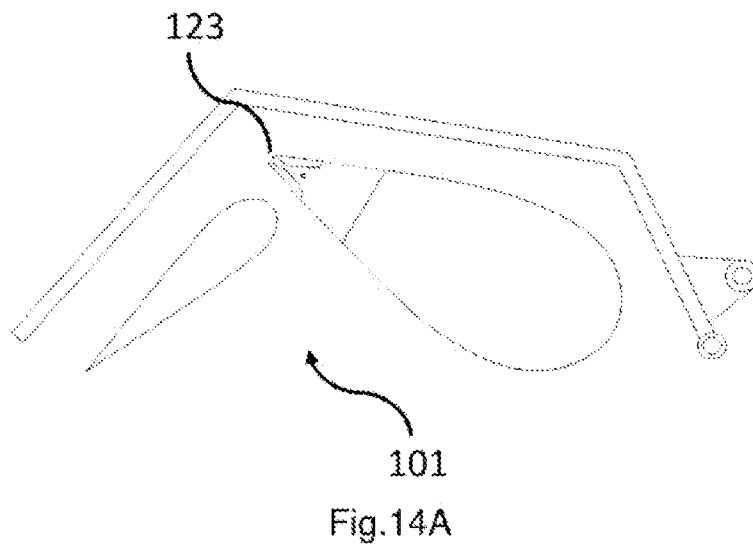


Fig.12



Fig.13



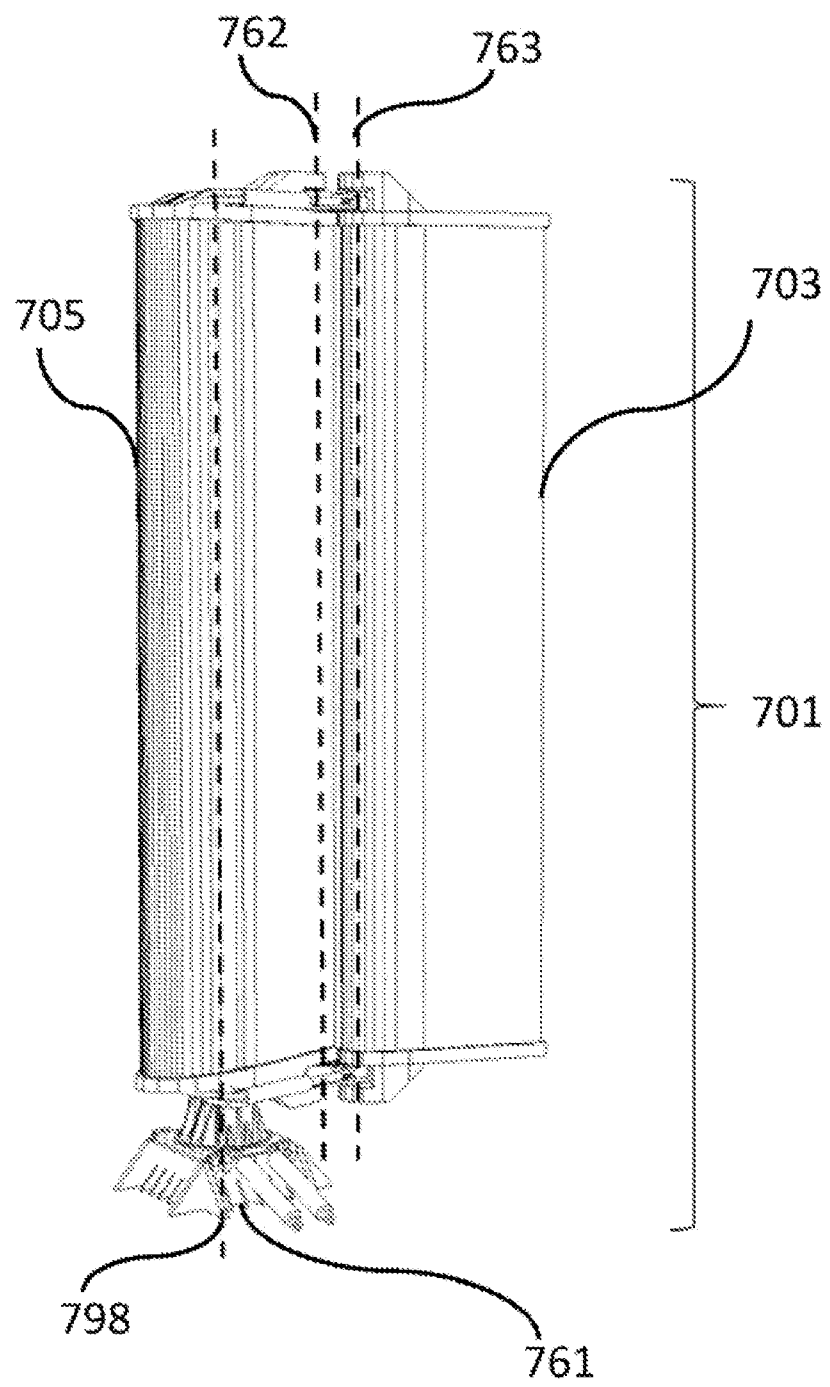
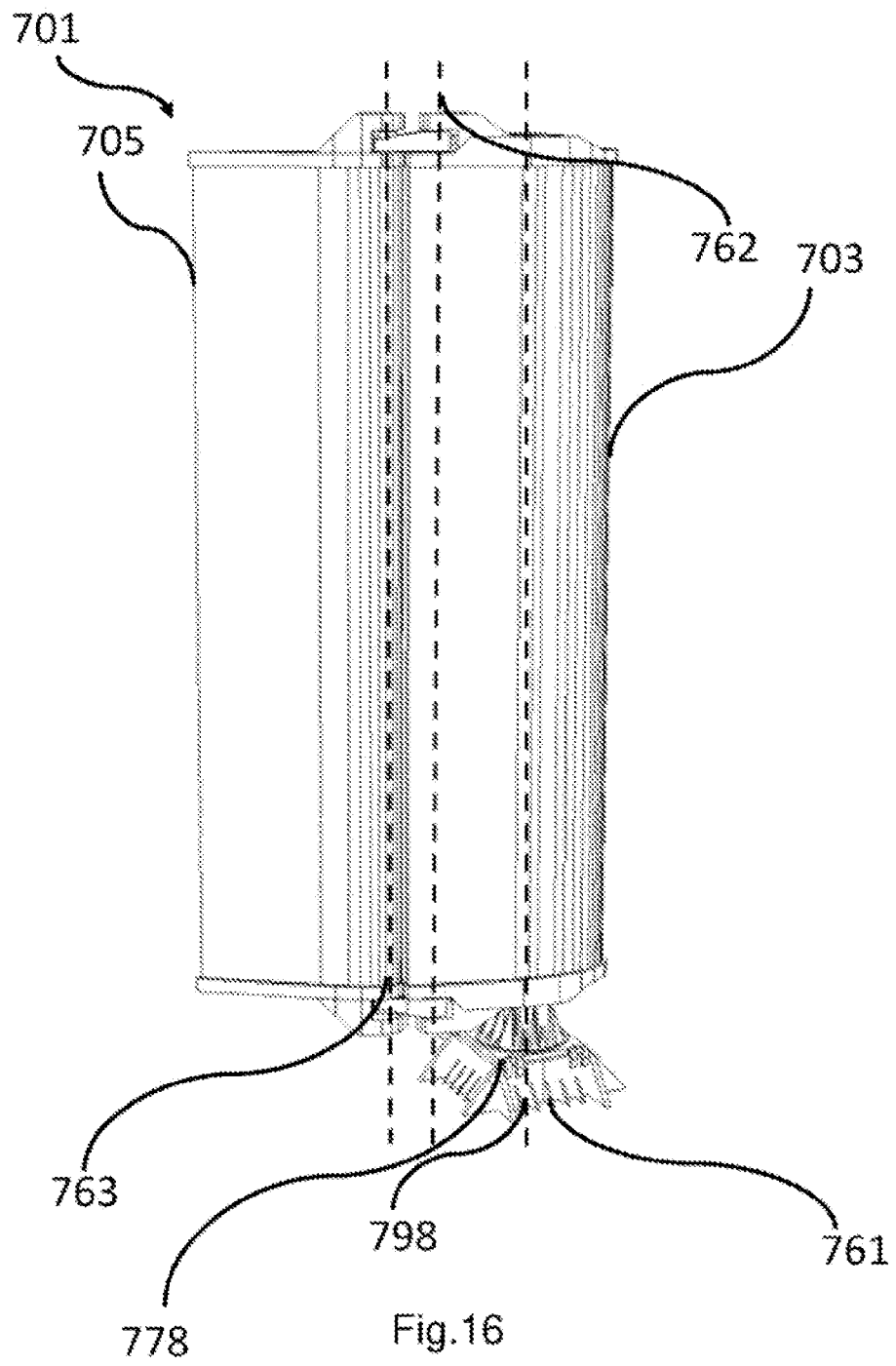


Fig.15



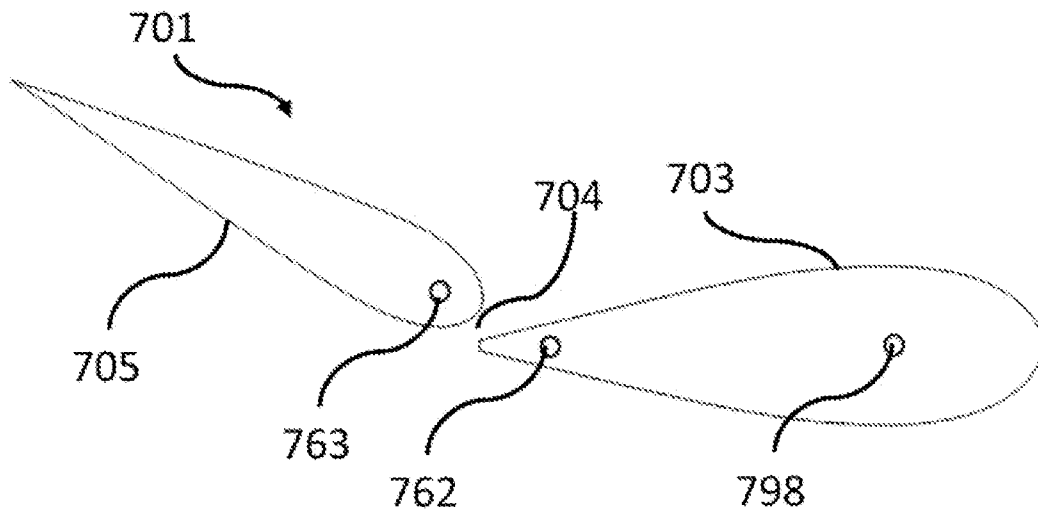


Fig.17

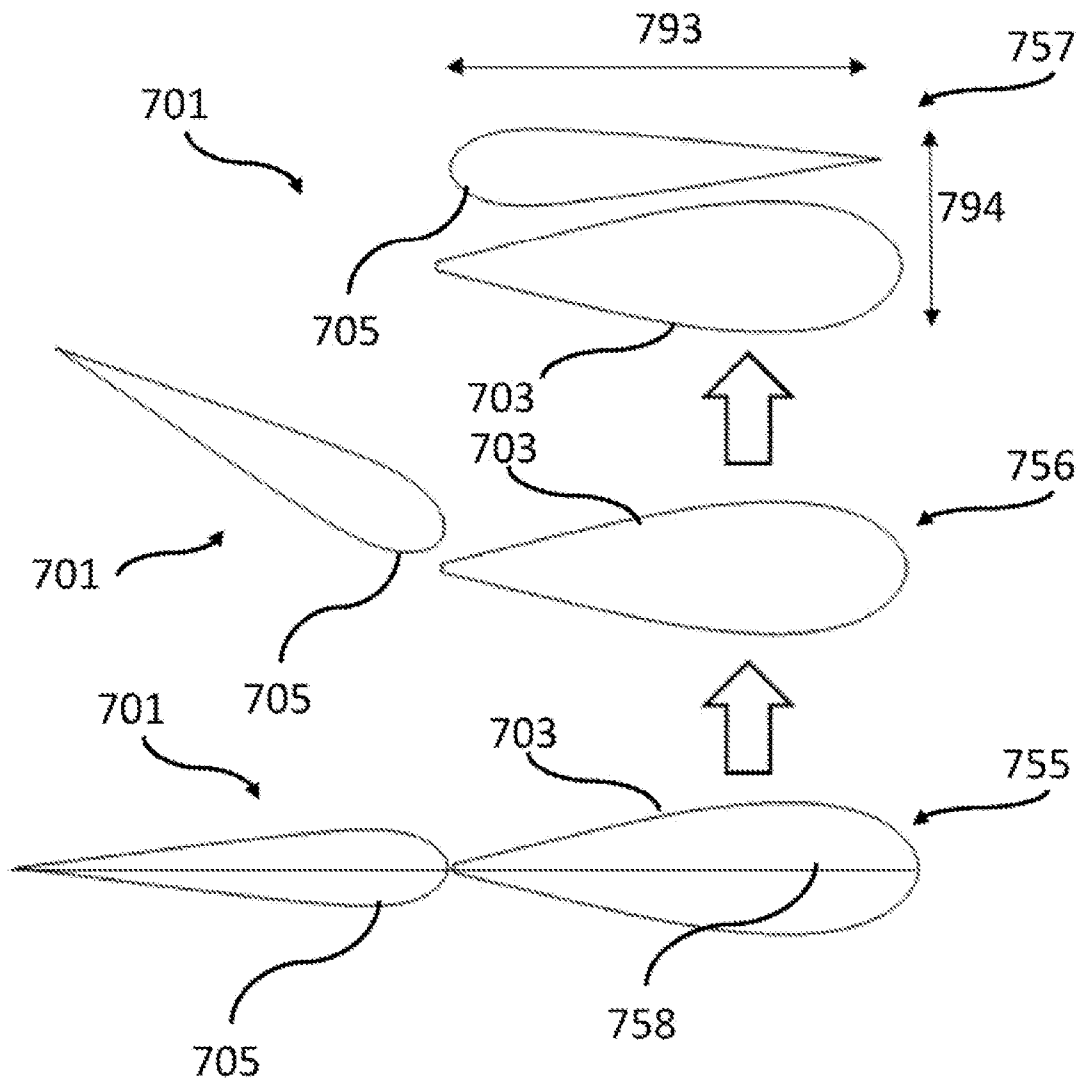


Fig.18

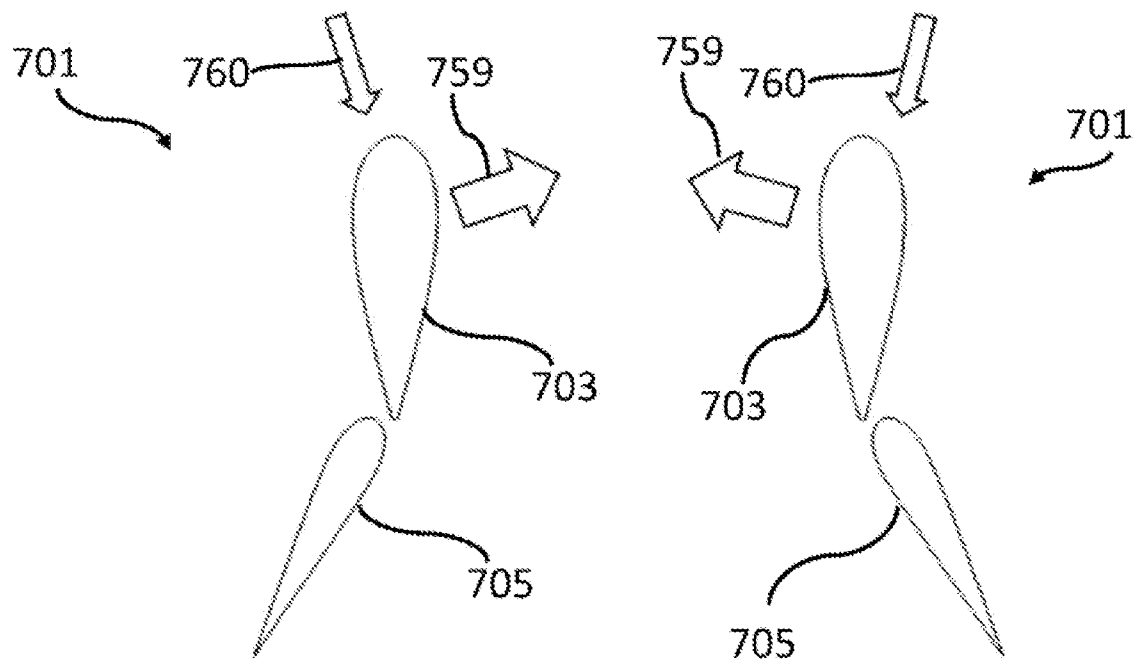


Fig.19

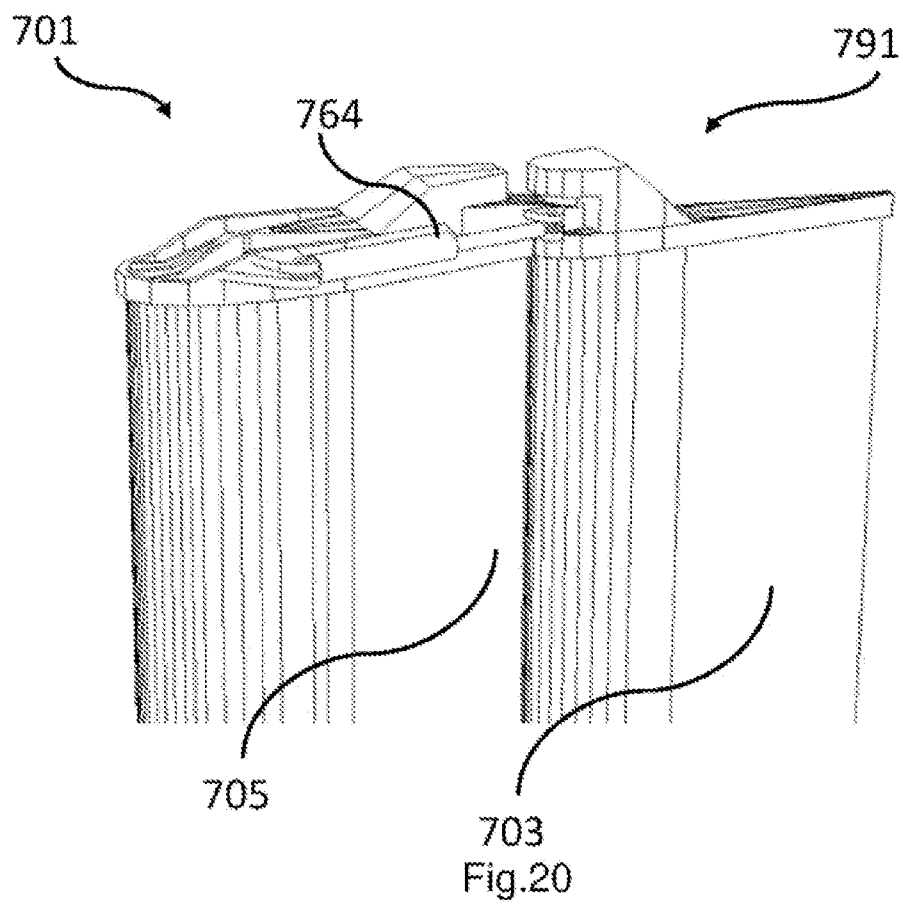
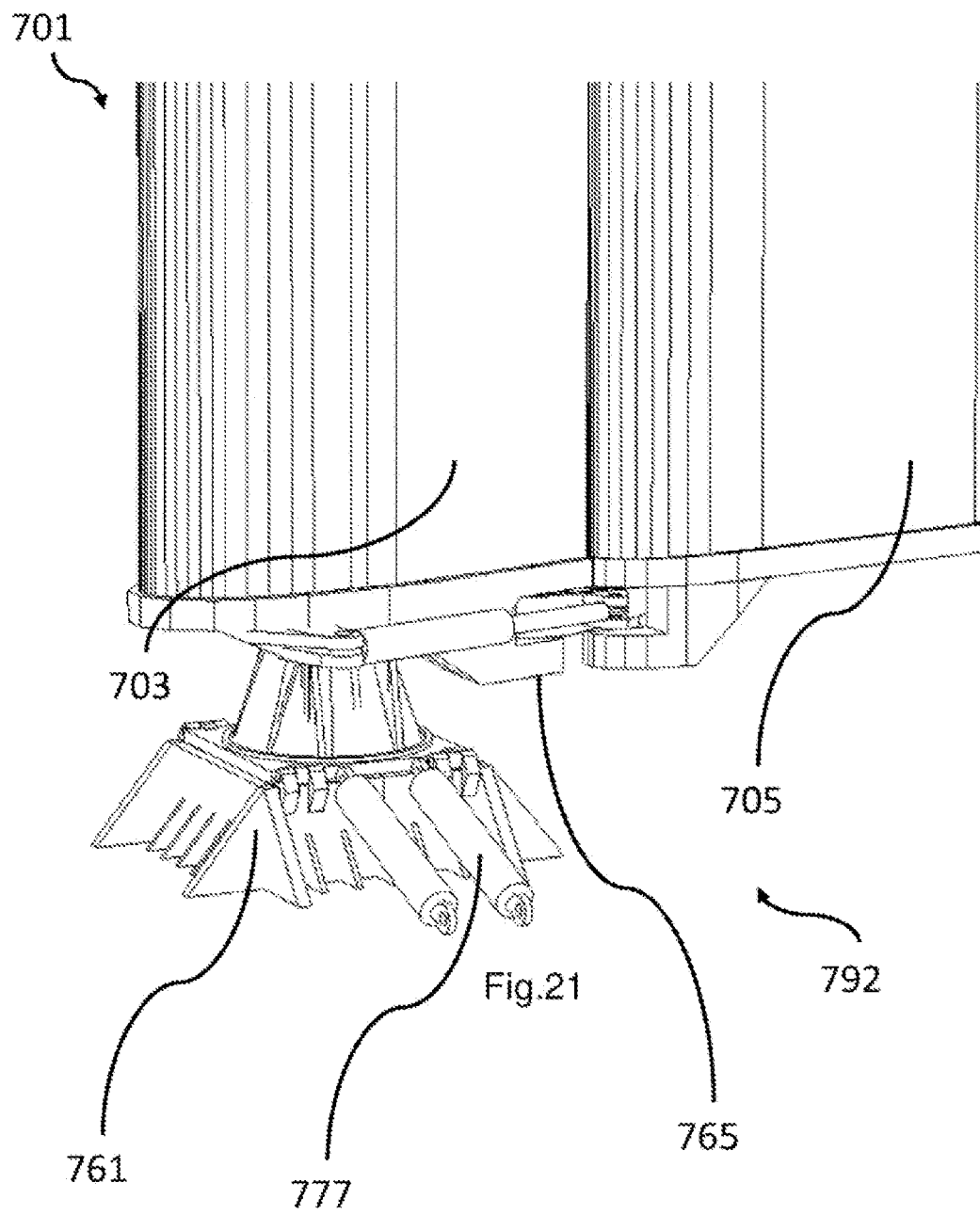


Fig.20



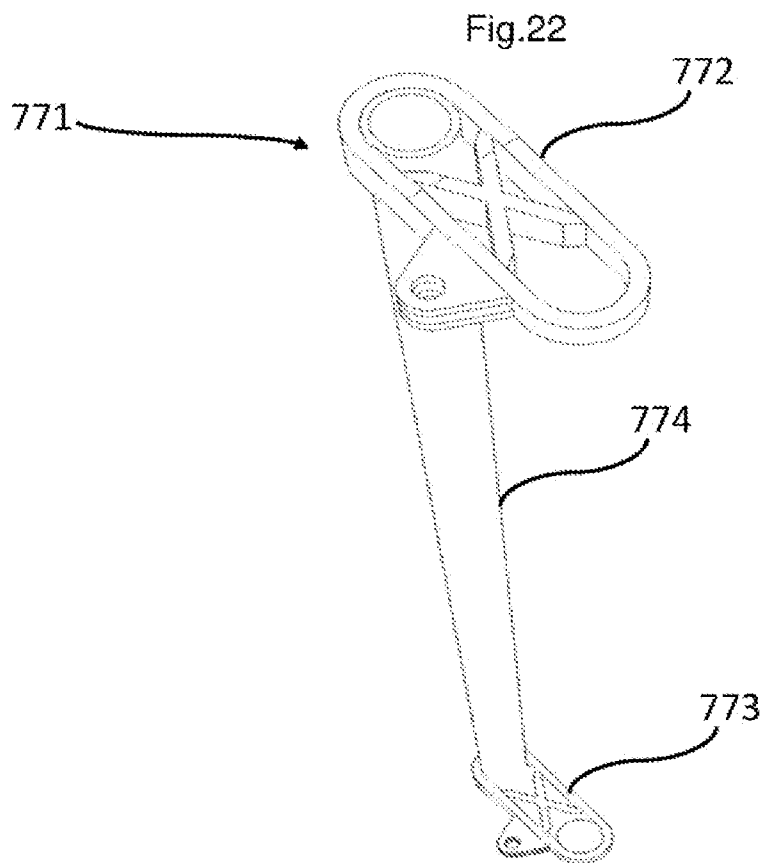
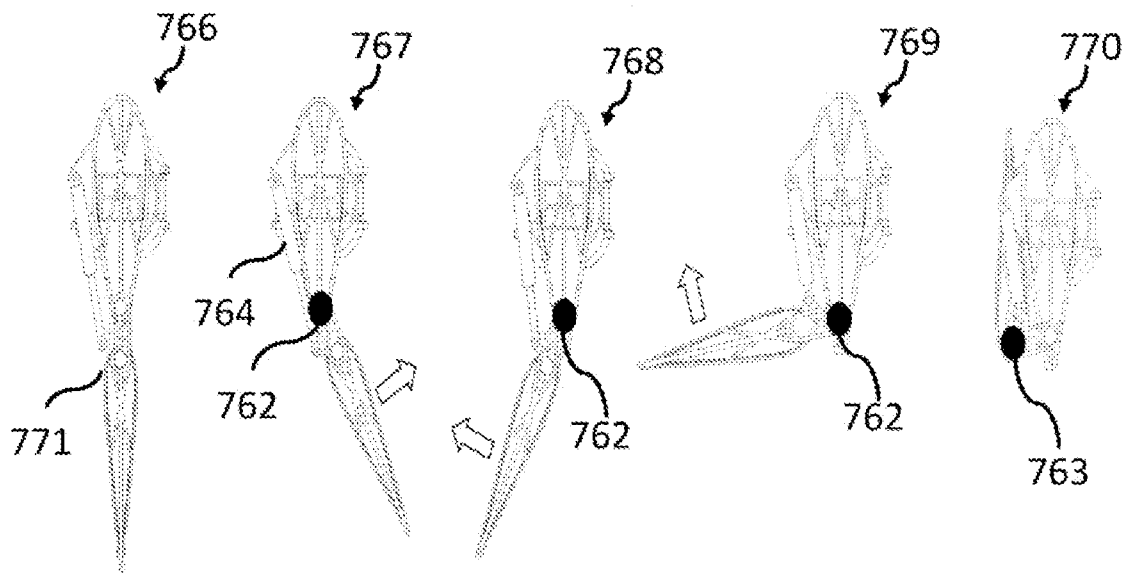
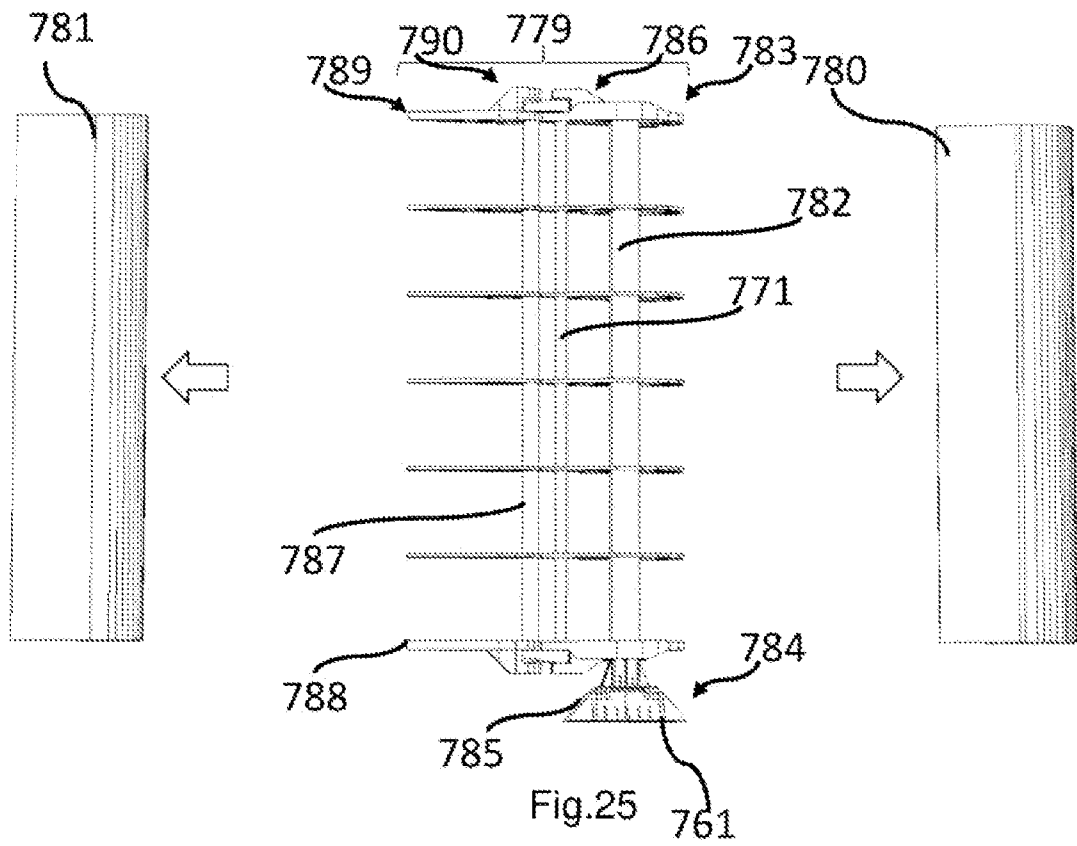
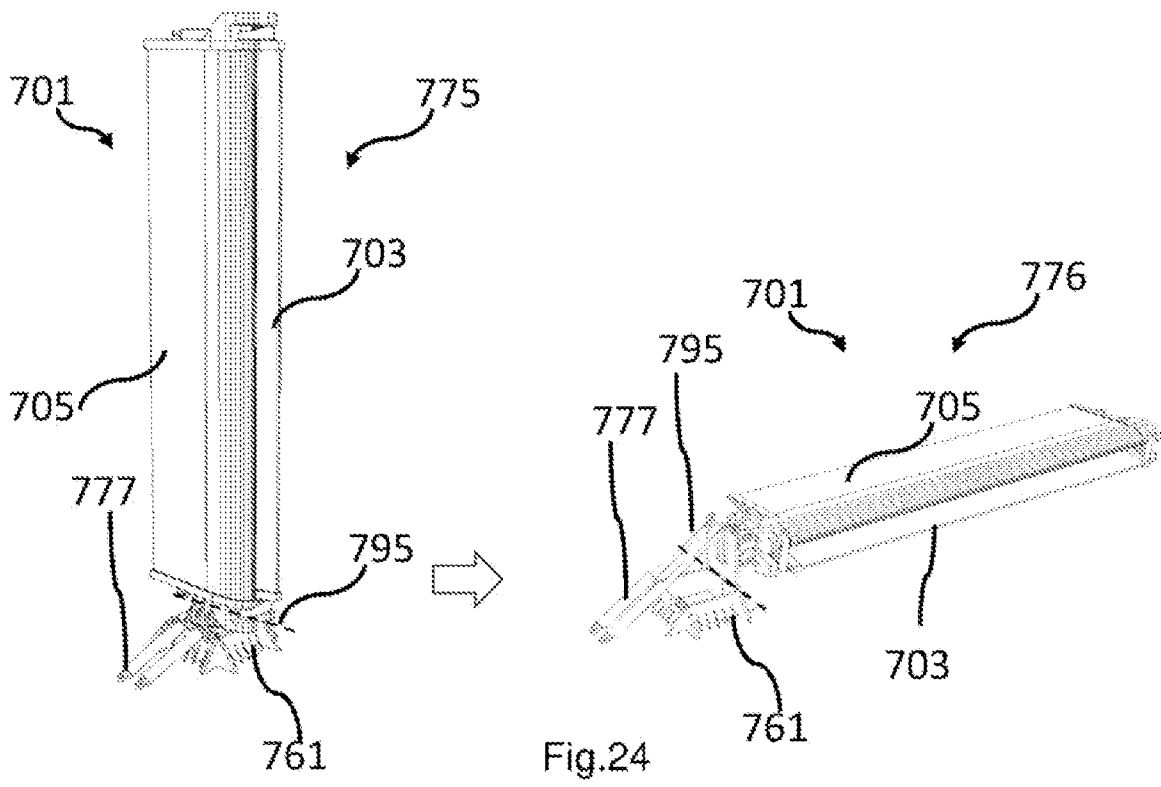


Fig.23



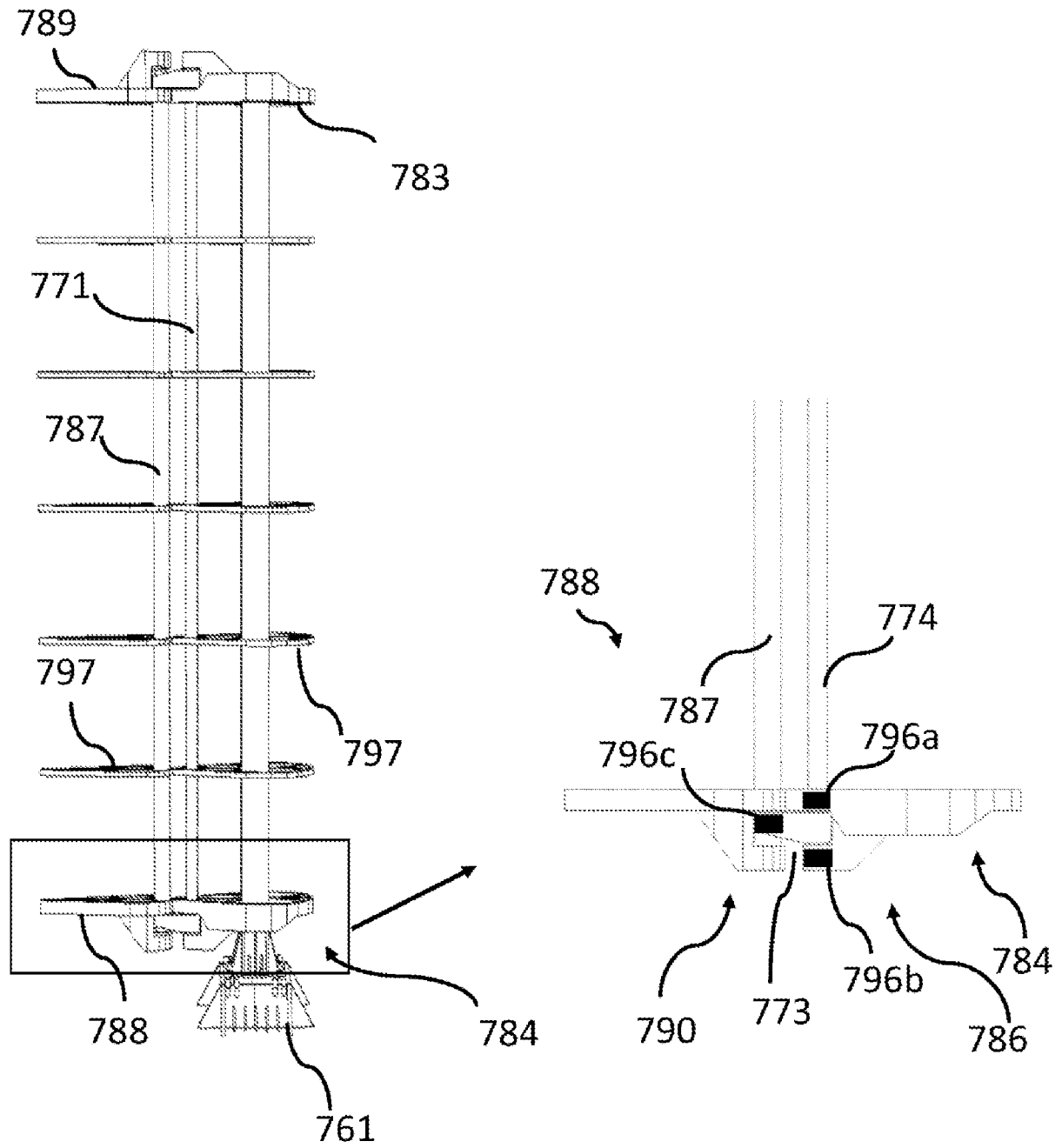


Fig.26

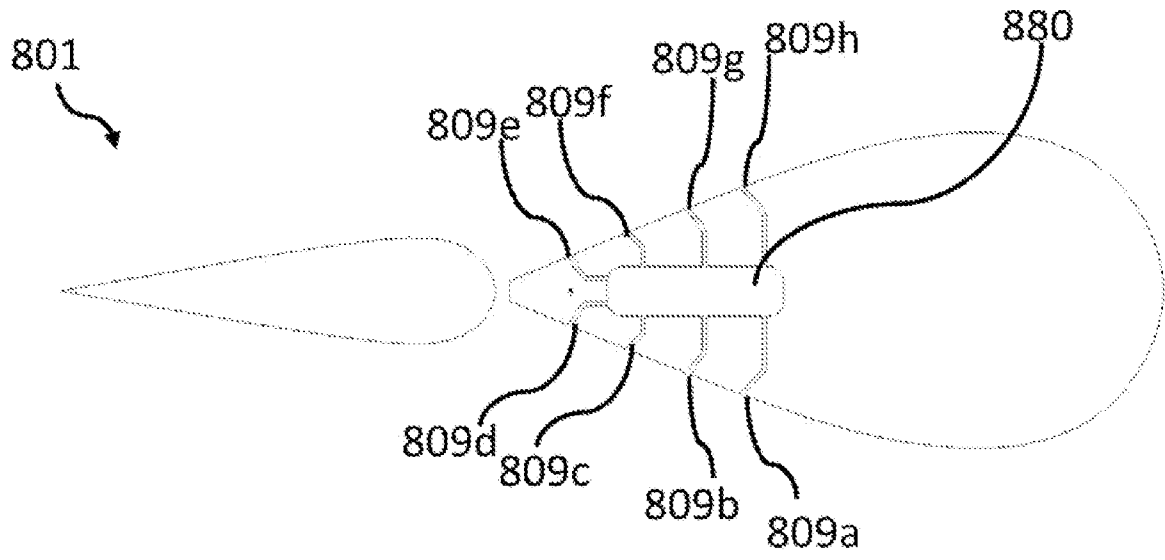


Fig.27

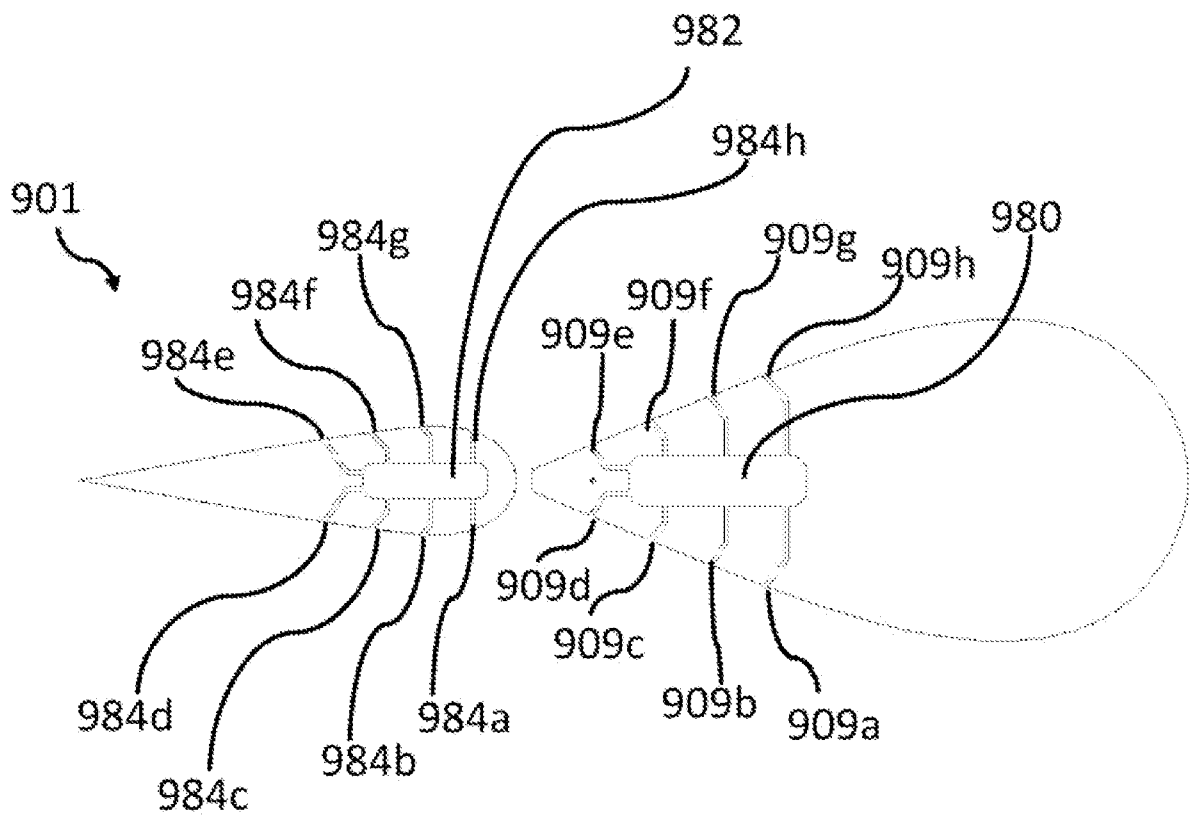


Fig.28

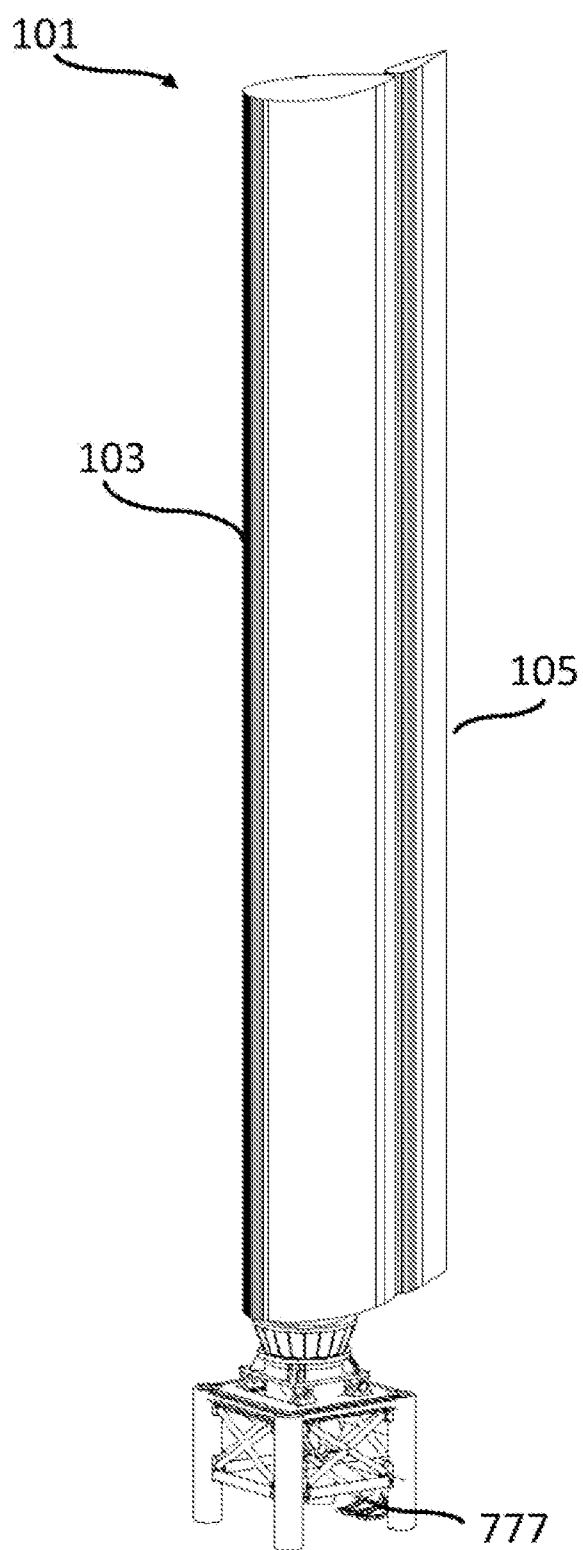


Fig.29a

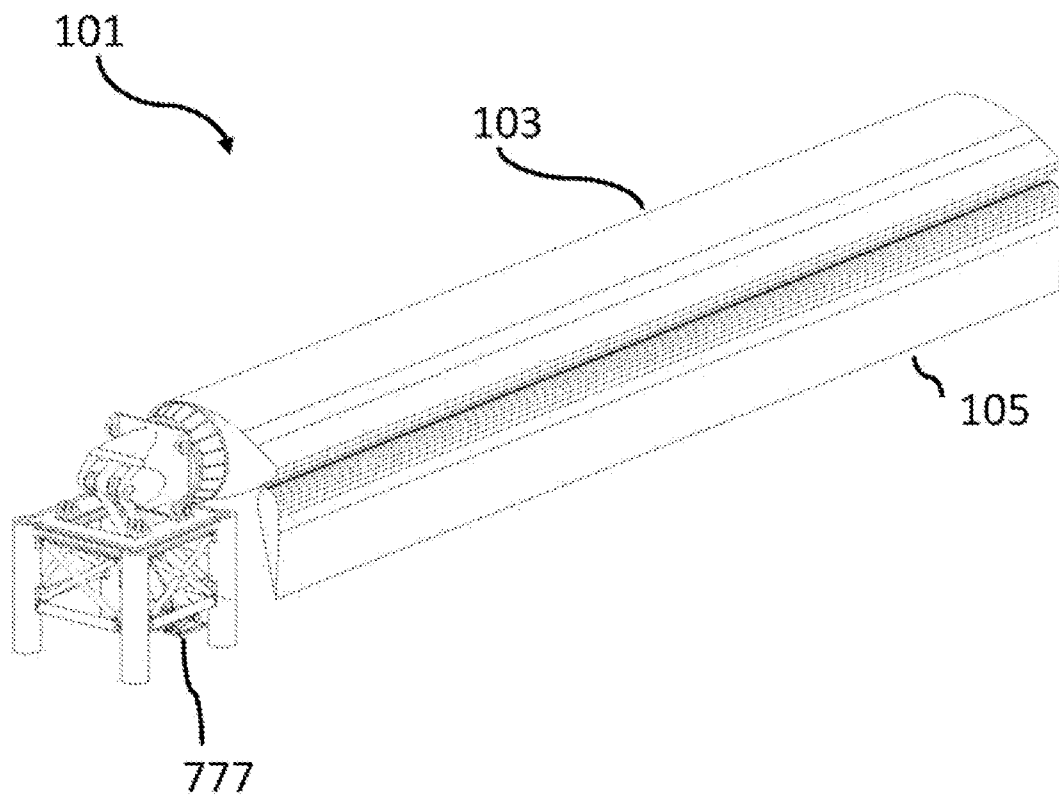


Fig.29b

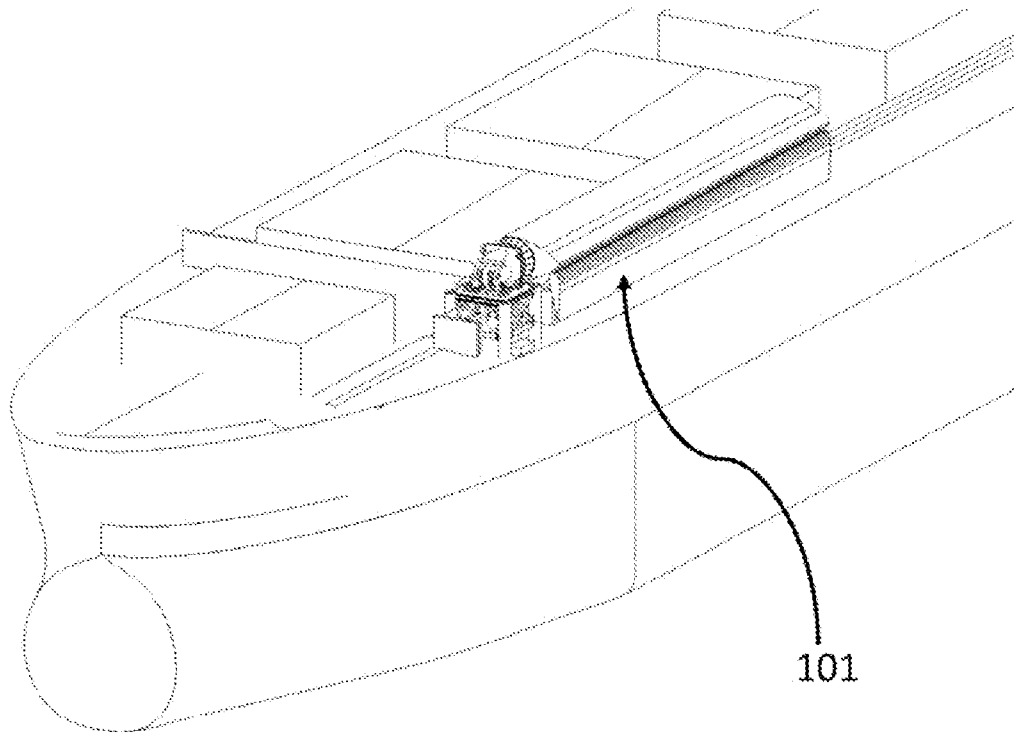


Fig.30

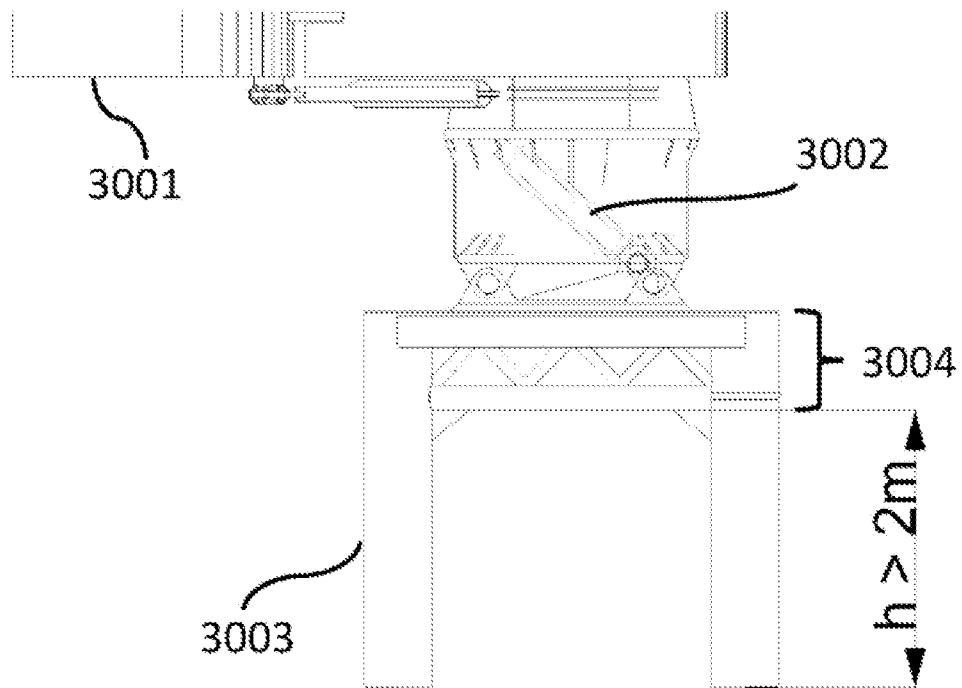


Fig.31a

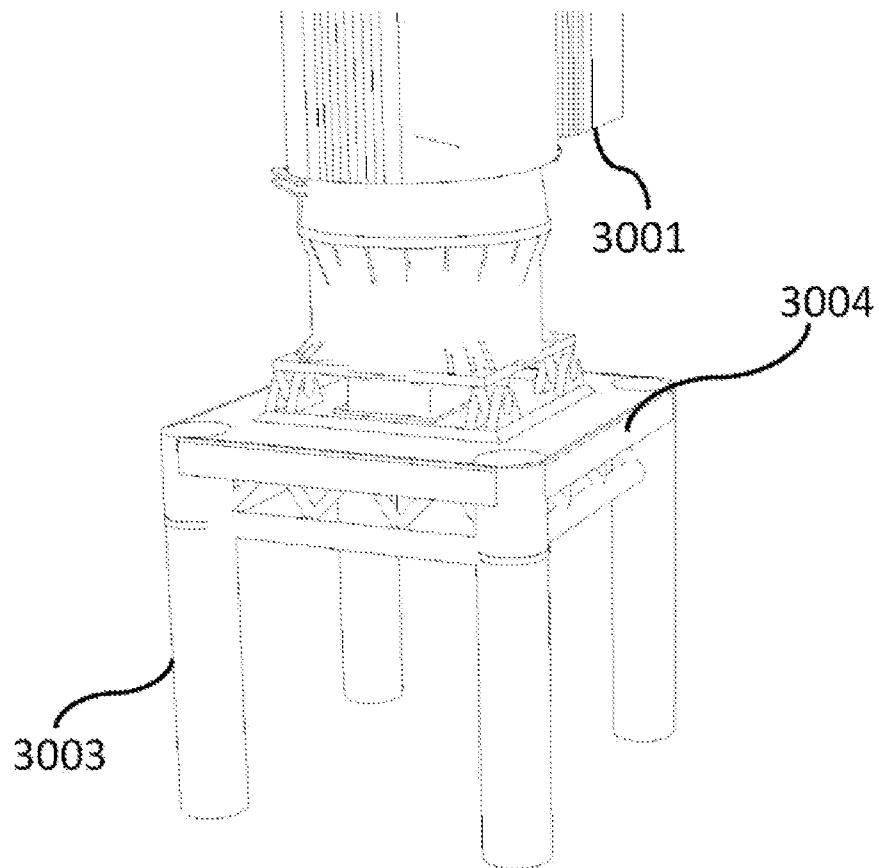


Fig.31b

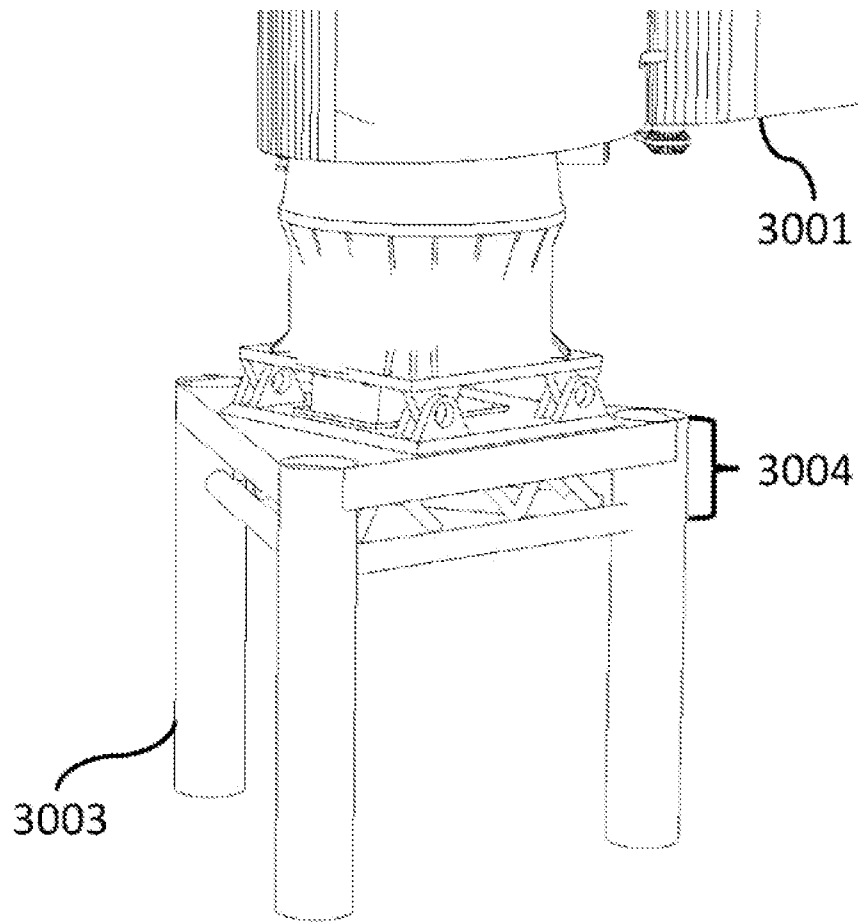


Fig.31c

