

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 637 399**

51 Int. Cl.:

**F01D 5/14** (2006.01)

**F01D 17/04** (2006.01)

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 1/06** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.05.2009 E 09251327 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017 EP 2128385**

54 Título: **Turbina eólica con deflectores de aire despleables**

30 Prioridad:

**16.05.2008 US 122584**

**12.05.2009 US 464447**

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

**13.10.2017**

73 Titular/es:

**GE INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY, LLC  
(100.0%)**

**300 Garlington Road  
Greenville, South Carolina 29615, US**

72 Inventor/es:

**BAKER, JONATHON P.;  
JACKSON, KEVIN LEE;  
MAYDA, EDWARD A. y  
VAN DAM, CORNELIS P.**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 637 399 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

Turbina eólica con deflectores de aire desplegables

### Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

La presente Solicitud reivindica la prioridad sobre la Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º de Serie 12/122.584, titulada "WIND TURBINE WITH GUST COMPENSATING AIR DEFLECTOR" y presentada el 16 de mayo de 2008, cuyo contenido se incorpora en el presente documento por referencia en su totalidad.

### Campo técnico

La presente invención se refiere en general al diseño y control de una turbina eólica. Más específicamente, la invención se refiere a la modificación de la aerodinámica de una pala de turbina eólica.

### Antecedentes

Las turbinas eólicas crean potencia proporcionalmente al área barrida por sus palas. La elección de los atributos del rotor para una turbina eólica, tal como su diámetro, es un compromiso de diseño entre palas más largas para mayor producción de energía con vientos débiles y palas más cortas para limitación de la carga con vientos fuertes. Por ello, la turbina eólica que tenga palas más largas incrementará el área barrida, lo que su vez produce más potencia. Sin embargo, a elevadas velocidades del viento, una turbina eólica que tenga las palas más largas presenta mayores demandas sobre los componentes y crea situaciones en las que la turbina debe pararse para evitar daños de los componentes. Incluso en situaciones en las que la velocidad promedio del viento no es suficientemente alta para producir daños, ráfagas de viento periódicas que cambien tanto la velocidad como la dirección del viento, aplican fuerzas que pueden ser suficientemente intensas para dañar el equipo.

Se han intentado enfoques con niveles variables de éxito para conseguir una potencia más alta, menores paradas, y menores casos de daños a los componentes. Por ejemplo, se ha usado el control del paso de palas para variar el paso de la pala (es decir, el ángulo de la pala). En una turbina eólica con paso controlado, el controlador electrónico en la turbina comprueba la producción de potencia de la turbina. Cuando la producción de potencia excede un cierto umbral, el mecanismo de paso de palas gira las palas del rotor para reducir las cargas sobre las palas del rotor. Las palas se giran de vuelta posteriormente cuando de nuevo cae el viento. Sin embargo, un control de paso puede ser claramente lento para responder a cambios en el viento y es relativamente ineficaz para las cargas impuestas por ráfagas de viento súbitas.

El control de la entrada en pérdida es otro enfoque que se ha usado en un intento de conseguir una potencia más alta, y para reducir paradas y daños a los componentes. En turbinas eólicas con control de pérdida de tipo pasivo, las palas del rotor se montan en el buje con una orientación angular fija. El control de la pérdida se consigue pasivamente por la forma de la pala que es tal que la pala pasa a pérdida aerodinámica (destruyendo el empuje) cuando la velocidad del viento excede un cierto umbral. Existen turbinas eólicas con control de pérdida de tipo activo. En dichos sistemas, las palas del rotor se ajustan para crear una pérdida a lo largo de la pala. Sin embargo, ambos tipos de sistemas de control de pérdida pueden ser difíciles de optimizar y lentos en responder, y pueden padecer de una predictibilidad de los resultados más baja de lo deseable. Estos inconvenientes se amplían en condiciones de vientos erráticos y ráfagas de viento.

Se han usado también sistemas de pala de rotor de longitud variable como un intento para conseguir una potencia más alta, y experimentar menos paradas y menos daños a los componentes. En dichos sistemas, las palas de la turbina eólica son telescópicas de modo que su longitud puede ajustarse basándose en la velocidad del viento. Esto proporciona ventajas porque las palas del rotor pueden extenderse para proporcionar una producción mayor con condiciones de viento débil y retraerse a cargas más bajas con condiciones de viento más fuerte. La Patente de Estados Unidos N.º 6.902.370 divulga un sistema de turbina eólica que tiene unas palas de rotor de turbina eólica telescópicas. Aunque los sistemas de pala de rotor de longitud variable tienen ciertas ventajas, pueden padecer de inconvenientes en condiciones de viento erráticas o pueden ser demasiado lentos en responder cuando se experimenta una ráfaga de viento.

Dado que la electricidad es cada vez un servicio más valioso, y dado que las turbinas eólicas presentan una solución medioambientalmente amigable para resolver los problemas de escasez de electricidad, es por ello deseable un diseño de turbina eólica que supere los inconvenientes anteriormente mencionados y proporcione una potencia incrementada y disminuya las paradas de la turbina y daños a los componentes.

El documento WO 2004/099608 describe una pala de turbina eólica que incluye medios ajustables de regulación del empuje dispuestos sobre o en la superficie de la pala de la turbina eólica, proporcionándose dichos medios de regulación del empuje con medios de activación por medio de los que pueden ajustarse y alterar así las propiedades aerodinámicas de la pala. Los medios de regulación del empuje y los medios de activación están adaptados y dispuestos de modo que mediante la activación de los medios de activación, puede reducirse el empuje en una zona que se extiende en la dirección longitudinal de la pala desde una primera posición adyacente a la punta de la pala a una segunda posición entre la primera posición y la raíz de la pala y esta segunda posición es variable en la

dirección longitudinal de la pala mediante el ajuste de los medios activos. Los medios de regulación del empuje están formados por al menos un flap flexible.

El documento WO 02/29247 describe un método y un dispositivo para regulación del flujo de aire alrededor de la pala de un molino eólico. El dispositivo comprende un alerón, que se proporciona con una cavidad. El alerón se monta en una superficie de la pala en conexión con otra unidad de regulación del flujo, y el alerón puede cambiar el flujo de aire alrededor de la pala asumiendo diferentes formas. Cuando el alerón está en una forma desactivada no tiene lugar ningún cambio particular en el flujo de aire, dado que el alerón se mueve continuamente y sigue el contorno de la pala. Cuando el alerón está en una forma activada se cambia, sin embargo, el flujo de aire porque el alerón ya no sigue los contornos de la pala y crea una discontinuidad o al menos cambia el perfil de la pala de tal manera que se cambian las condiciones del flujo de aire. En particular las condiciones del flujo de aire pueden cambiarse de modo que el efecto de la segunda unidad de regulación del flujo se elimine completa o parcialmente. El cambio de la forma tiene lugar suministrando un fluido, tal como aire comprimido o aceite hidráulico, a la cavidad en el alerón. El cambio del flujo de aire es una ventaja porque es posible así regular la velocidad de rotación del rotor, en el que se monta la pala.

El documento WO 2003/0218102 describe pestañas de traslación micro-electromecánicas (MEM) para la mejora y el control de la carga aerodinámica de las superficies de empuje. Estas micro-pestañas se montan en o cerca del borde de salida de las superficies de empuje, se despliegan aproximadamente normales a la superficie, y tienen una altura de despliegue máxima del orden del grosor de la capa límite. El despliegue de este tipo de dispositivo cambia de modo efectivo la combadura, afectando de ese modo al empuje generado por la superficie. El efecto de estas micro-pestañas sobre el empuje es tan poderoso como superficies de control convencionales tales como alerones. La aplicación de esta mejora en el empuje simple, aunque innovadora y del dispositivo de control permitirá la eliminación de algunos de los sistemas de control voluminosos convencionales de alto empuje y dará como resultado la reducción global en el peso, complejidad y coste del sistema.

### **Breve resumen**

Lo que sigue presenta un resumen simplificado de la invención para proporcionar una comprensión básica de algunos aspectos de la invención. Este resumen no es una visión general extensa de la invención. No se pretende que identifique elementos claves o críticos de la invención o delimite el alcance de la invención. El siguiente resumen presenta meramente algunos conceptos de la invención en una forma simplificada como un prelude para la descripción más detallada proporcionada a continuación.

Para superar las limitaciones de la técnica anterior descritas anteriormente, y para superar otras limitaciones que serán evidentes tras la lectura y comprensión de la presente especificación, la presente invención se dirige a un dispositivo y sistema para contrarrestar incrementos súbitos en la carga o cambios en el entorno operativo tal como cuando una ráfaga incrementa súbitamente la magnitud del viento o cambia la dirección del viento experimentado por un rotor de turbina eólica.

De acuerdo con la presente invención se proporciona una turbina eólica que comprende: un generador eléctrico; y un rotor acoplado al generador eléctrico, teniendo el rotor una pala de rotor, teniendo la pala de rotor un deflector de aire, siendo móvil el deflector de aire entre una posición extendida en la que el deflector de aire se extiende hacia el exterior desde una superficie exterior de la pala del rotor, en una parte de ataque en el sentido de la cuerda del mismo, y una posición retraída en la que el deflector de aire no se extiende hacia el exterior desde la superficie exterior de la pala del rotor, en el que la superficie superior del deflector de aire, cuando está en la posición retraída, forma una parte de la superficie exterior de la pala del rotor, y en el que toda la superficie superior del deflector de aire, cuando está en la posición extendida, se eleva separándose de la superficie exterior de la pala del rotor en una localización sobre la parte de ataque en el sentido de la cuerda para provocar la separación del flujo en la proximidad del borde de ataque de la pala del rotor.

Se exponen características preferidas de la invención en las reivindicaciones dependientes.

En una realización una turbina eólica incluye una pala de rotor de perfil aerodinámico que tiene un deflector de aire. El deflector de aire puede configurarse para extenderse desde una superficie exterior de la pala de rotor de perfil aerodinámico cuando se detecta un cambio en la carga o magnitud o ángulo de una ráfaga de viento. En esta forma, el deflector de aire actúa para contrarrestar dichos cambios. En una disposición, el deflector de aire puede localizarse sobre un lado de ataque de la pala de rotor de perfil aerodinámico tal como se define por un borde de ataque y un borde de salida de la pala. Por ejemplo, el borde de ataque y superficie pueden corresponder a un borde o superficie de la pala de rotor de perfil aerodinámico más próxima a un origen del viento. El deflector de aire puede moverse adicionalmente a una posición retraída en condiciones de operación normales (por ejemplo, cuando no es excesiva la carga) de modo que el deflector de aire no se extienda hacia el exterior desde la superficie de la pala de rotor de perfil aerodinámico.

En otra realización de una turbina eólica esta incluye una pala de rotor de perfil aerodinámico que es telescópicamente extensible y que tiene al menos un deflector de aire. Para contrarrestar cargas excesivas y otros factores medioambientales, la pala de rotor de perfil aerodinámico puede extenderse o retraerse en conjunto con la

extensión o retracción de al menos un deflector de aire. Por ejemplo, cuando tiene lugar un cambio súbito, el deflector de aire puede activarse dado que el deflector de aire puede extenderse muy rápidamente. Para cambios más graduales, puede usarse la extensión o retracción de la pala dado que no es tan crítica la compensación rápida. En otras disposiciones, el deflector de aire puede extenderse para reducir adicionalmente las cargas en casos en los que la pala de rotor de perfil aerodinámico se haya retraído tanto como es posible.

En otra realización se proporciona un módulo para contrarrestar una ráfaga de viento o carga conectado a una pala de perfil aerodinámico. El módulo de contrarrestado puede incluir un deflector de aire, un controlador para el control de la extensión y retracción del deflector de aire y un sensor configurado para detectar varias condiciones. En una o más configuraciones, la pala de perfil aerodinámico puede incluir múltiples módulos de contrarrestado, incluyendo cada uno un deflector de aire, un controlador y un sensor. El uso de módulos puede facilitar la extracción, inserción o sustitución de deflectores de aire u otros componentes asociados con ellos sin tener que modificar toda la pala de perfil aerodinámico.

De acuerdo con uno o más aspectos adicionales, una pala de rotor puede incluir una pluralidad de deflectores de aire, cada uno de los cuales puede controlarse selectiva e independientemente. Pueden desplegarse varios deflectores de aire o combinaciones de los mismos dependiendo de un requisito de control dado tal como reducción de carga, extensión de palas, reducción en un ciclo de trabajo del paso, reducción de cargas asimétricas, amortiguación de resonancias en el sentido del borde y parada de emergencia. En una o más disposiciones, los deflectores de aire pueden categorizarse en seis zonas de una pala de rotor: borde de ataque de la superficie superior, cuerda media de la superficie superior, borde de salida de la superficie superior, borde de ataque de la superficie inferior, cuerda media de la superficie inferior y borde de salida de la superficie inferior. En un ejemplo, cada zona de deflectores de aire puede controlarse como una única unidad. Alternativamente, cada deflector de aire puede desplegarse independientemente de todos los otros.

#### **Breve descripción de los dibujos**

Puede adquirirse una comprensión más completa de la presente invención y las ventajas de la misma mediante referencia a la siguiente descripción teniendo en consideración los dibujos adjuntos, en los que números de referencia iguales indican características iguales, y en los que:

La Figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica de acuerdo con una primera realización de la invención.

La Figura 2 es una sección transversal a través de la pala del rotor que representa un primer dispositivo de contrarrestado de ráfagas de viento con el deflector de aire en una posición extendida.

La Figura 3 es una sección transversal a través de la pala de rotor que representa un segundo dispositivo de contrarrestado de ráfagas de viento con el deflector de aire en una posición extendida.

Las Figuras 4 y 5 son vistas en sección isométricas a través de la pala del rotor que representan el dispositivo de contrarrestado de ráfagas de viento de la Figura 2 con el deflector de aire en una posición retraída (Figura 4) y en una posición extendida (Figura 5).

Las Figuras 6 y 7 representan vistas isométricas de una realización ilustrativa del dispositivo de contrarrestado de ráfagas, aislado, con el deflector de aire mostrado en una posición retraída (Figura 6) y en una posición extendida (Figura 7).

La Figura 8 es una sección transversal esquemática de una pala de rotor mostrando una disposición de separación ilustrativa para una serie de dispositivos de contrarrestado de ráfagas.

La figura 9 es una sección transversal esquemática de una pala de rotor longitudinalmente telescópica mostrando una disposición de separación ilustrativa para una serie de dispositivos de contrarrestado de ráfagas.

La Figura 10 es una vista en sección esquemática de una pala de rotor que representa el flujo de aire bajo condiciones de viento normales.

La Figura 11 es una vista en sección esquemática de una pala de rotor que representa el flujo de aire bajo una primera situación de ráfagas.

La Figura 12 es una vista en sección esquemática de una pala de rotor que representa el flujo de aire bajo una primera situación de ráfaga que representa esquemáticamente un deflector de aire del lado de baja presión en una posición extendida y el efecto sobre el flujo de aire.

La Figura 13 es una vista en sección esquemática de una pala de rotor que representa el flujo de aire bajo una situación de ráfaga alternativa que representa esquemáticamente un deflector de aire en el lado de alta presión en una posición extendida y el efecto sobre el flujo de aire.

La Figura 14 es un gráfico que representa el empuje y la resistencia sobre las palas del rotor en función del

ángulo de ataque del viento y los efectos operacionales de la posición de los deflectores de aire (desplegados o retraídos) sobre los lados de alta y baja presión de las palas del rotor.

La Figura 15 es un diagrama de control esquemático que representa una realización controlada localmente del dispositivo de contrarrestado de ráfagas.

5 La Figura 16 es un diagrama de control esquemático que representa una realización controlada centralmente del dispositivo de contrarrestado de ráfagas.

La Figura 17 es un diagrama de control esquemático que representa una realización de control distribuido del dispositivo de contrarrestado de ráfagas.

10 Las Figuras 18a y 18b son diagramas esquemáticos que representan una disposición de pistón/cilindro para la extensión y retracción de un deflector de aire de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento.

La Figura 19 ilustra un flujo de aire alrededor de una pala de rotor que tiene un dispositivo deflector de aire de la superficie inferior del borde de salida desplegado de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento.

15 La Figura 20 ilustra una configuración de ejemplo de zonas sobre una pala de rotor de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento.

La Figura 21 es un gráfico que ilustra los efectos de la generación de potencia de una pala de rotor que tiene un dispositivo deflector de aire de la superficie inferior del borde de salida desplegado.

20 La Figura 22 ilustra el flujo de aire alrededor de una pala de rotor que tiene un dispositivo del borde de salida de la superficie superior desplegado de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento.

La Figura 23 ilustra un flujo de aire de bajo ángulo de ataque alrededor de una pala de rotor que tiene un dispositivo de la cuerda media de la superficie superior desplegado de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento.

25 La Figura 24 ilustra un flujo de aire de elevado ángulo de ataque alrededor de una pala de rotor que tiene un dispositivo de la cuerda media de la superficie superior desplegado de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento.

La Figura 25 ilustra un flujo de aire alrededor de la pala de rotor que tiene un dispositivo de la cuerda media de la superficie inferior desplegado de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento.

30 La Figura 26 ilustra un ejemplo de configuración del dispositivo deflector de aire en una pala de rotor de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento.

La Figura 27 es una vista en sección transversal de la pala de rotor de la Figura 25 tomada en la línea A-A.

La Figura 28 ilustra un flujo de aire alrededor de una pala de rotor que tienen una combinación de dispositivos deflectores de aire desplegados de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento.

35 La Figura 29 es un diagrama de flujo que ilustra un método para el control del despliegue selectivo de dispositivos deflectores de aire de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento.

La Figura 30 ilustra varias configuraciones de despliegue en asociación con diferentes escenarios de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento.

La Figura 31 ilustra un método de ejemplo para la activación selectivamente de uno o más dispositivos deflectores de aire de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento.

40 La Figura 32 ilustra la carga en el sentido del borde de una pala de rotor antes y después del despliegue de un dispositivo deflector de aire de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento.

La Figura 33 ilustra una pala de rotor de ejemplo que tiene una configuración de despliegue alternativa del deflector de aire en el sentido de la envergadura de acuerdo con uno o más aspectos descritos en el presente documento

#### 45 **Descripción detallada**

En la siguiente descripción de las diversas realizaciones, se hace referencia a los dibujos adjuntos, que forman parte de la misma, y que muestran a modo de ilustración varias realizaciones en las que puede ponerse en práctica la invención. Se ha de entender que pueden utilizarse otras realizaciones y pueden realizarse modificaciones estructurales y funcionales sin apartarse del alcance de la presente invención.

Los aspectos de la presente invención están dirigidos a un dispositivo desplegable y combinaciones de sus atributos que puede montarse sobre una pala de rotor en varias aplicaciones para ayudar rápidamente a contrarrestar ráfagas de viento. Además, aspectos de la presente invención están dirigidos a una pala de rotor que tenga un dispositivo desplegable, y a una turbina eólica con una pala de rotor que tenga el dispositivo desplegable.

La Figura 1 muestra una turbina eólica 2 sobre una cimentación 4 con una torre 6 que soporta una góndola 8. Se fijan una o más palas 10 a un buje 12 a través de una brida 14 de pernos. En la realización representada, la turbina eólica incluye tres palas 10. El buje 12 se conecta a una caja de engranajes, un generador, y otros componentes dentro de la góndola 8. Las palas 10 pueden tener una longitud fija o pueden ser de tipo de longitud variable, es decir telescópicas, tal como se muestra en la Figura 1. Como se muestra en la Figura 1, cada pala 10 de longitud variable incluye una parte 16 de raíz o base y una parte 18 de punta. La parte 18 de punta es móvil con respecto a la parte 16 de raíz de modo que incremente y disminuya de forma controlable la longitud de la pala 10 de rotor y, a su vez, incremente y disminuya respectivamente el área barrida por las palas 10 del rotor. Puede usarse cualquier sistema de accionamiento deseable, tal como un accionamiento por tornillo, un pistón/cilindro, o una disposición de polea/correa para mover la parte 18 de punta con respecto a la parte 16 de raíz. Dichos sistemas de accionamiento se describen en la Patente de Estados Unidos 6.902.370, que se incorpora en el presente documento por referencia. La turbina eólica 2 incluye adicionalmente un accionamiento de orientación y un motor de orientación, no mostrados.

Las Figuras 2-5 muestran una sección transversal de una pala 10 de turbina eólica que contiene al menos un dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas. La pala 10 tiene un borde 20 de ataque, un borde 22 de salida, un lado 24 de alta presión y un lado 26 de baja presión. Puede definirse una línea c de cuerda como una línea entre el borde 20 de ataque y el borde 22 de salida de la pala 10. Se identifica que el lado de ataque de la pala 10 del rotor corresponde a la mitad de ataque de la pala 10 del rotor y el lado de salida de la pala 10 del rotor a la mitad de salida de la pala 10 del rotor.

La pala 10 representada en las figuras es meramente un diseño de sección transversal ilustrativo y se admite que pueden usarse variaciones de sección transversal infinitas como parte de la presente invención. La pala de rotor de perfil aerodinámico puede fabricarse de cualquier construcción y materiales adecuados, tales como fibra de vidrio y/o fibra de carbono.

Como puede verse en las secciones transversales de las Figuras 2 y 3, la pala 10 de rotor incluye adicionalmente al menos un dispositivo de contrarrestado de ráfagas, referenciado genéricamente con el número de referencia 30, pero al que se hace referencia específicamente con los números de referencia 30a y 30b con referencia a un lado específico de la pala 10 del rotor. La Figura 2 representa una localización de un primer dispositivo 30a de contrarrestado de ráfagas de viento para afectar al flujo de aire sobre el lado 26 de baja presión de la pala 10 del rotor. La Figura 3 representa una localización de un segundo dispositivo 30b de contrarrestado de ráfagas de viento para afectar al flujo de aire sobre el lado 24 de alta presión de la pala 10 del rotor. Se admite que durante el uso, la superficie 26a más curvada y la superficie 24a menos curvada opuesta crean la dinámica del lado 26 de baja presión y del lado 24 de alta presión debido a los bien conocidos principios de la aerodinámica. Esto, en combinación con el flujo de aire sobre la pala 10 del rotor, crea un efecto conocido como “empuje” que ayuda a la rotación del rotor.

En una realización, cada pala 10 de rotor incluye al menos un primer dispositivo 30a de contrarrestado de ráfagas de viento para afectar al flujo de aire sobre el lado 26 de baja presión y al menos un segundo dispositivo 30b de contrarrestado de ráfagas de viento para afectar el flujo de aire sobre el lado 24 de alta presión. Esto es, incluye dispositivos 30a y 30b de contrarrestado de ráfagas de viento, y estos dispositivos 30a, 30b pueden espaciarse longitudinalmente a lo largo de la pala 10 del rotor. Puede usarse cualquier número deseado de estos dispositivos 30a, 30b. En otra realización, cada pala 10 del rotor incluye al menos un dispositivo 30a de contrarrestado de ráfagas de viento para afectar al flujo de aire sobre el lado 26 de baja presión y ningún dispositivo de contrarrestado de ráfagas de viento sobre el lado 24 de alta presión. Puede usarse cualquier número deseado de los dispositivos 30a sobre el lado 26 de baja presión. En otra realización más, cada pala 10 del rotor incluye al menos un dispositivo 30b de contrarrestado de ráfagas de viento sobre el lado 24 de alta presión y ningún dispositivo de contrarrestado de ráfagas de viento sobre el lado 26 de baja presión. Puede usarse cualquier número deseado de los dispositivos 30b en el lado 24 de alta presión.

Cada dispositivo 30a, 30b de contrarrestado de ráfagas de viento incluye un deflector 32 de aire. El deflector 32 de aire es móvil entre una posición extendida en la que el deflector 32 de aire se extiende desde una superficie exterior de la pala 10 del rotor de perfil aerodinámico y una posición retraída en la que el deflector 32 de aire está sustancialmente a nivel con, rebajado, o en otra forma no se extiende materialmente desde la superficie exterior de la pala 10 del rotor de perfil aerodinámico. Las Figuras 2 y 3 muestran ambas el deflector 32 de aire en una posición extendida en la que el deflector 32 de aire se extiende desde la superficie exterior de la pala 10 del rotor. La Figura 4 es una vista en sección isométrica a través de la pala 10 del rotor representando el dispositivo 30a de contrarrestado de ráfagas de viento.

En una primera disposición, la localización de los deflectores 32 de aire con respecto al borde 20 de ataque y el borde 22 de salida de la pala 26 del rotor de perfil aerodinámico está en la mitad de ataque, es decir, entre el 0 %-50 % de la longitud de la cuerda c cuando se mide perpendicularmente a la misma desde el borde 20 de ataque al borde 22 de salida. En otra disposición, la localización de los deflectores 32 de aire con respecto al borde 20 de

ataque y el borde 22 de salida de la pala 26 del rotor de perfil aerodinámico está entre el 5 %-25 % de la longitud de la cuerda c cuando se mide perpendicularmente a la misma desde el borde 20 de ataque al borde 22 de salida. En otra disposición más, la localización de los deflectores 32 de aire con respecto al borde 20 de ataque y al borde 22 de salida de la pala 26 de rotor de perfil aerodinámico está entre el 5 %-15 % de la longitud de la cuerda c cuando se mide perpendicularmente a la misma desde el borde 20 de ataque al borde 22 de salida.

El deflector 32 de aire puede dimensionarse basándose en el parámetro de la condición de la turbina eólica deseado y adicionalmente a la vista del número de dispositivos de contrarrestado de ráfagas usados. El deflector de aire puede fabricarse de cualquier material adecuado, tal como fibra de vidrio, fibra de carbono, acero inoxidable y/o aluminio. El deflector 32 puede ser de cualquier ancho deseado, por ejemplo, desde unos pocos centímetros a treinta centímetros. Adicionalmente, el deflector 32 puede extenderse desde la superficie de perfil aerodinámico de cualquier altura deseada, por ejemplo, desde menos de uno por ciento a un pequeño porcentaje de la cuerda c (Figura 3), y pueden tener cualquier grosor adecuado basándose en el material elegido, típicamente menos de dos centímetros y medio.

Las Figuras 4 y 5 son vistas en sección isométricas a través de la pala 10 del rotor que representan el lado de baja presión del dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas de viento con el deflector 32 de aire en una posición retraída (Figura 4) y en una posición extendida (Figura 5). El dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas de viento se monta adecuadamente mediante una interfaz para mantener sustancialmente el contorno superficial de la pala 10 del rotor. Esto puede conseguirse mediante el uso de una o más placas 34 de cobertura contorneadas que se fijan de modo fijo tanto al dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas como a la estructura de la pala. Alternativamente, la cara de ataque del dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas de viento puede contornearse adecuadamente y fijarse a la estructura de la pala. En otra disposición, la cara de ataque del dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas de viento puede montarse en el lado inferior de la pala. Pueden usarse disposiciones de fijación adecuadas tales como equipos y adhesivos.

Las Figuras 6 y 7 representan vistas isométricas de una realización ilustrativa de un dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas, aislado, con el deflector 32 de aire mostrado en una posición retraída (Figura 6) y en una posición extendida (Figura 7). En una primera disposición, el dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas incluye un marco 33 fabricado de primera y segunda partes 34a y 34b. Las partes 34a y 34b se interrelacionan de modo que definen una ranura 35 en la que se desliza el deflector 32 de aire. Si se desea, los bordes enfrentados de la primera y segunda partes 34a y 34b incluyen escapes 36 de aire. Los escapes 36 de aire se usan en general en configuraciones neumáticas (es decir, en donde el deflector 32 de aire es actuado mediante aire presurizado) para liberar el aire presurizado retenido, permitiendo de ese modo que el deflector 32 de aire vuelva a una posición alternativa (por ejemplo, retraída o extendida). La operación del escape de aire como los escapes 36 de aire se explica con detalle adicional a continuación con respecto a las Figuras 18a y 18b.

De acuerdo con un aspecto, el dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas puede incluir muescas de guía (no mostradas) que actúan como un seguimiento para el deflector 32 de aire. Por ejemplo, la parte inferior del deflector 32 de aire puede incluir proyecciones (no mostradas) que se dimensionan, espacian y conforman de modo complementario a las muescas de guía. Las proyecciones pueden seguir entonces la pista correspondiente a las muescas cuando el deflector 32 de aire es extendido o retraído. Dicha disposición proporciona una alineación incrementada y soporte estructural adicional. Puede usarse cualquier disposición deseada, tales como tornillos y otros equipos 38, para fijar unidas la primera y segunda partes 34a y 34b al dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas. Si se adaptan aberturas de la pala 10 del rotor para que sean del mismo tamaño, el deflector 30 de aire y sus características modulares separadas, facilitan una fácil sustitución frente a daños potenciales, tal como si son alcanzados por rayos, o sustitución seleccionada para finalidades de personalización. Adicional o alternativamente, puede proporcionarse un orificio 40 como un acoplamiento de conducto de fluidos, por ejemplo, para conectar una fuente de aire presurizado a través de un tubo de aire o similar.

Como se ha descrito anteriormente, si se usa más de un dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas en cada pala 10 del rotor, pueden estar longitudinalmente espaciados a lo largo de la longitud de la pala 10 del rotor según se desee. La Figura 8 representa una disposición espacial ilustrativa para una serie de dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas con los deflectores 32 de aire. La Figura 9 representa una pala 10 de rotor longitudinalmente telescópica mostrando una serie de dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas longitudinalmente espaciados con deflectores 32 de aire tanto en la parte 16 de base del rotor 10 como en la parte 18 de punta del rotor 10. Para cada disposición, y basándose en restricciones de espacio dentro de la pala 10 del rotor, puede ser deseable espaciar longitudinalmente los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas a intervalos más amplios de modo que puedan alternar entre localizaciones sobre el lado 24 de alta presión (Figura 2) y el lado 26 de baja presión (Figura 2).

La funcionalidad del dispositivo 30a y 30b de contrarrestado de ráfagas se describe en general en el presente documento con respecto a las Figuras 10-14. La Figura 10 muestra una pala 10 de rotor que está sometida a un flujo de aire bajo condiciones de viento normales en donde el ángulo de ataque del viento, es decir, el ángulo entre la línea c de cuerda y la dirección del viento relativa, está dentro de las condiciones de operación deseadas normales. Dichas condiciones se reflejan en el gráfico de la Figura 14 en donde el ángulo de ataque está entre las líneas representadas por  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ . En ese intervalo, los deflectores de aire permanecerían preferentemente en una posición retraída dado que las condiciones del viento están consiguiendo el empuje deseado con baja resistencia. La capa

límite del flujo de aire del lado 26 de baja presión está completamente fijada. Esto puede conseguir los resultados de operación deseados bajo condiciones de viento normales.

La Figura 11 muestra la pala 10 del rotor que está sometida a un flujo de aire bajo una condición de ráfaga que incrementa rápidamente el ángulo de ataque del viento por encima de  $\alpha_1$ . Esto crea un empuje incrementado y puede superar las cargas deseadas. Como se ha descrito anteriormente, esto puede dañar los componentes y forzar una parada. Las características de empuje y resistencia sobre la pala 10 del rotor bajo estas condiciones se muestran en el gráfico de la Figura 14 por los segmentos de línea a la derecha de  $\alpha_1$  que contienen el punto G1.

La operación del dispositivo 30a de contrarrestado de ráfagas en el lado 26 de baja presión bajo estas condiciones contrarresta los efectos negativos de dicha ráfaga. Dichos efectos se muestran en la Figura 12. La Figura 12 representa condiciones de viento similares relativas a la pala de rotor como las mostradas en la Figura 11. En la Figura 12, se despliega el dispositivo 30a de contrarrestado de ráfagas (por ejemplo, el dispositivo de control de carga) para mover el deflector 32 de aire a la posición extendida. Esto induce una separación del flujo superior adyacente o en un mínimo más próximo al borde 20 de ataque. Esto crea un aumento significativo en la resistencia y una gran reducción en el empuje. Dado que el dispositivo 30a de contrarrestado de ráfagas puede mover el deflector 32 de aire desde la posición retraída a la posición extendida en una fracción de segundo, la carga sobre la pala del rotor y los otros componentes puede reducirse de la misma forma en una fracción de segundo para preservar mejor los equipos e impedir fallos.

Las características de empuje y resistencia sobre la pala 10 del rotor bajo estas condiciones se muestran sobre el gráfico de la Figura 14 por los segmentos de línea a la derecha de  $\alpha_1$  que contienen el punto G2. Específicamente, la disminución en el empuje con el deflector 32 de aire extendido se representa por la diferencia entre los elementos de línea a la derecha de  $\alpha_1$  que contienen el punto G1 y G2, respectivamente. Adicionalmente, el incremento en la resistencia con el deflector 32 de aire extendido se representa por la diferencia entre los segmentos de línea a la derecha de  $\alpha_1$  que contienen el punto G2 y G1, respectivamente. Cuando el ángulo de ataque se mueve de vuelta a condiciones normales, el deflector 32 de aire puede moverse de vuelta a su posición retraída.

La Figura 13 es una vista en sección esquemática de una pala de rotor que representa el flujo de aire bajo una ráfaga alternativa o condiciones de parada de emergencia del rotor de la turbina eólica y que representa esquemáticamente un deflector 32 de aire del lado de alta presión en una posición extendida y el efecto sobre el flujo de aire. En las condiciones como las representadas en la Figura 13, el ángulo de ataque ha caído por debajo de  $\alpha_2$  (véase la Figura 14). Sin el despliegue del deflector 32 de aire del lado de alta presión, el empuje continuaría disminuyendo según se representa en la Figura 14.

Sin embargo, cuando se mueve el deflector 32 de aire sobre el lado de alta presión a una posición extendida, se induce inmediatamente una separación del flujo superficial menor. Esto a su vez incrementa la resistencia, pero tiene el efecto de reducir el empuje negativo no deseado. Las características de empuje y resistencia sobre la pala 10 del rotor bajo estas condiciones se muestran en el gráfico de la Figura 14 por los segmentos de línea a la izquierda de  $\alpha_2$  que contienen el punto G3. Este desplazamiento del empuje negativo no deseado reduce las cargas aerodinámicas sobre la turbina eólica durante indeseables condiciones de ráfaga de viento o condiciones de parada de emergencia del rotor de la turbina eólica. Cuando el ángulo de ataque se mueve de vuelta a condiciones normales, el deflector 32 de aire puede moverse de vuelta a su posición retraída.

El deflector 32 de aire es beneficioso bajo otras condiciones de ráfaga, tales como un incremento súbito en la velocidad del viento sin un cambio en el ángulo de ataque. Mediante el movimiento rápidamente del deflector 32 de aire desde la posición retraída a la posición extendida, en cualquiera o en ambos del lado 26 de baja presión (como se muestra en la Figura 2) o en el lado 24 de alta presión, se altera la forma de la pala 10 del rotor alrededor o cerca del borde 20 de ataque. Esto cambia a su vez drásticamente las propiedades de empuje y resistencia de la pala 10. Por ello, una fuerte ráfaga de viento que incrementa la velocidad del viento y transmite una carga incrementada sobre el equipo, puede contrarrestarse en una fracción de segundo mediante el despliegue de uno o más deflectores 32 de aire. De ese modo, actúa de modo efectivo como incremento instantáneo de la resistencia, de modo similar al funcionamiento como un freno de aire.

Puede usarse cualquier accionador deseado para mover los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas de viento que puede mover su deflector 32 de aire respectivo entre su posición extendida y retraída. En una disposición ilustrativa en la que se usa un fluido tal como aire para controlar el movimiento de los deflectores 32 de aire, se acopla operativamente una fuente centralizada de aire presurizado a un orificio de los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas de viento (por ejemplo, el orificio 40 de las Figuras 6 y 7) a través de un conducto (por ejemplo, el conducto 58 de la Figura 15). Dentro de los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas de viento, se usa un solenoide actuado por presión de aire o pistón/cilindro y una válvula para accionar el deflector 32 de aire entre sus posiciones extendida y retraída. Puede controlarse electrónicamente una válvula para el control del flujo de aire presurizado, por ejemplo, la válvula 73 de las Figuras 18a y 18b, si se desea. En una disposición, la señal para accionar la válvula y mover el deflector 32 de aire viaja a través de una fibra óptica. Si se desea, puede usarse un resorte para impulsar el deflector 32 de aire a cualquier posición como un fallo seguro. Aunque puede necesitarse alguna pequeña cantidad de electricidad para operar este sistema, y la potencia puede proceder de una fuente local tal como una batería o remotamente desde un hilo conductor, esta disposición tiene atributos ventajosos porque

minimiza el consumo de potencia y minimiza la probabilidad de ser alcanzado por un rayo. Se admite que pueden usarse sistemas de accionamiento alternativos. Por ejemplo, puede usarse un resorte para impulsar el deflector 32 de aire a una posición extendida, para retraer posteriormente el deflector 32 de aire, puede usarse un motor. Pueden usarse también otros mecanismos y sistemas electromecánicos.

- 5 Las Figuras 18a y 18b ilustran una disposición de pistón/cilindro 76-78, una válvula 73 y un controlador para extender y retraer un deflector 79 de aire. En la posición extendida mostrada en la Figura 18a, el deflector 79 de aire (es decir, una parte superior del pistón 76) se extiende sobrepasando una superficie del módulo de contrarrestado de ráfagas en la que se aloja la disposición pistón/cilindro 76/78 y una superficie 81 exterior de una pala de rotor de perfil aerodinámico correspondiente (no mostrada). Se configuran y se colocan topes 77 para impedir que el  
10 deflector 79 de aire y el pistón 76 se extiendan sobrepasando cierto punto, controlando de ese modo una cantidad en la que el deflector 79 de aire puede sobresalir desde la superficie 81. En la Figura 18b, el deflector 79 de aire está en una posición retraída y los topes 77 impiden que el pistón 76 y el deflector 79 se retraigan sobrepasando cierto punto. En la posición retraída, la parte superior del deflector 79 de aire puede estar a nivel con la superficie 81 exterior de la pala de rotor de perfil aerodinámico.
- 15 El controlador 71 se configura para controlar la válvula 73 (por ejemplo, una válvula de cinco vías) para permitir el flujo de aire presurizado al interior de una cámara superior (es decir, una zona por encima de la base del pistón 76) o a una cámara inferior (es decir, una zona por debajo de la base del pistón 76) del cilindro 78. Mediante la inyección de aire presurizado dentro de la cámara superior, por ejemplo, el pistón 76 puede forzarse hacia abajo a una posición retraída (como se muestra en la Figura 18b). La inyección de aire dentro de la cámara inferior, por otro lado,  
20 fuerza al deflector 79 y al pistón 76 hacia arriba a una posición extendida (como se muestra en la Figura 18a). En una disposición, el aire presurizado puede retenerse en cualquiera de las cámaras inferior o la superior para mantener el deflector 79 y el pistón 76 en una posición correspondiente. En consecuencia, no necesita inyectarse continuamente aire presurizado dentro de una cámara particular para mantener el deflector 79 en una posición particular en dicha disposición. Para mover el deflector 79 y el pistón 76 posteriormente desde una posición  
25 extendida a una posición retraída, o viceversa, el aire presurizado actualmente retenido en cualquiera de las cámaras inferior o superior puede evacuarse desde el cilindro 78 través de una o más válvulas 75 de liberación de aire (u otro mecanismo de liberación del aire) y liberar adicionalmente el módulo de contrarrestado de ráfagas a través del canal 85 de escape. De acuerdo con un aspecto, el canal 85 de escape puede permitir que el aire escape a la atmósfera. Las válvulas 75 de liberación del aire pueden controlarse electrónicamente, por ejemplo, por el  
30 controlador 71 y/o incluir sistemas de control mecánicos.

Los dispositivos de contrarrestado de ráfagas tales como los dispositivos 30 pueden activarse basándose en lecturas desde uno o más de varios sensores y/o el controlador que usa valores detectados para determinar si se han excedido los umbrales predeterminados o cuándo debería moverse un deflector de aire basándose en un algoritmo. Dichos sensores pueden incluir uno o más de los siguientes: acelerómetros, extensómetros, sensores de presión  
35 absoluta y diferencial, veletas y detectores de velocidad del viento.

Como puede verse en la Figura 15, los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas pueden controlarse cada uno localmente. De acuerdo con esta disposición, cada uno de los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas tendrían un controlador 50 y uno o más sensores 52 acoplados al controlador 50. Tras la determinación de que se ha excedido un umbral predeterminado (por ejemplo, basándose en una lectura del sensor 52), el controlador 50  
40 enviaría una señal para operar la válvula 54 para controlar el flujo de aire presurizado y mover el deflector 32 de aire. De acuerdo con esta disposición, cada uno de los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas puede acoplarse a una fuente 56 común de aire presurizado a través de un conducto 58 de fluido.

Como puede verse en la Figura 16, los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas pueden controlarse también centralmente. De acuerdo con esta disposición, cada dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas estaría  
45 funcionalmente acoplado a un controlador 60 común. El controlador 60 podría enviar señales para controlar individual o comúnmente los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas. Las señales pueden enviarse por el controlador 60 a cada dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas a través de una fibra óptica 62 y/u otros mecanismos de señalización por cable o inalámbricos. De modo similar a la realización de la Figura 15, cada uno de los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas puede acoplarse a una fuente 56 común de aire presurizado a  
50 través de un conducto 58 de fluido. En esta realización centralmente controlada, hay más flexibilidad para usar sensores 52 adicionales tales como sensores separados del dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas. Adicionalmente, el controlador 60 puede acoplarse al sistema 64 de accionamiento de palas de rotor para controlar telescópicamente la longitud efectiva de las palas 10 del rotor.

Adicionalmente, en otra disposición, los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas se controlan de acuerdo con un  
55 sistema que contiene sustancialmente los detalles de las Figuras 15 y 16. Como se ilustra en la Figura 17, los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas pueden controlarse cada uno de forma distribuida. De acuerdo con esta disposición, cada uno de los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas tendría un controlador 50 local y uno o más sensores 52 acoplados al controlador 50 local. Por ello, cada controlador 50 local puede controlar independientemente la extensión y retracción de su deflector 32 correspondiente basándose en condiciones locales detectadas para cada controlador 50. Adicionalmente, los controladores 50 locales se acoplan a un controlador 60  
60 central. El controlador 60 central puede enviar señales a los controladores 50 locales para controlar individual o

comúnmente los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas. Cada controlador 50 local puede enviar adicionalmente señales al controlador 60 central para informar al controlador 60 central de un estado de cada uno de los dispositivos 30 de contrarrestado de ráfagas. La información de estado recogida puede usarse entonces por el controlador 60 central para determinar un esquema o una forma global en la que controlar los controladores 50 locales y deflectores 32 (por ejemplo, para reducir la carga y/u optimizar la captura de potencia). En esta realización de control distribuido, puede haber también flexibilidad para usar sensores 52 adicionales tales como sensores separados del dispositivo 30 de contrarrestado de ráfagas. Adicionalmente, el controlador 60 puede acoplarse al sistema 64 de accionamiento de la pala de rotor para controlar telescópicamente la longitud efectiva de las palas 10 del rotor. Dicho sistema distribuido puede proporcionar también redundancia. En cada disposición de control, los controladores 50, 60 pueden ser cualquier circuito de control deseado o conocido incluyendo, pero sin limitarse a microprocesadores.

De acuerdo con uno o más aspectos, los dispositivos deflectores de aire tales como los dispositivos 30a y 30b de contrarrestado de ráfagas (Figura 1) pueden usarse bajo condiciones distintas a ráfagas. Por ejemplo, los dispositivos deflectores de aire pueden usarse para compensar turbulencias normales, cargas asimétricas, resonancia en el sentido del borde y similares. La colocación y el despliegue de dispositivos deflectores de aire pueden variar basándose en un efecto o resultado deseado. Por ejemplo, en una o más configuraciones, puede desplegarse un subconjunto apropiado de dispositivos deflectores de aire instalados sobre la pala de rotor para controlar la producción de empuje y resistencia bajo condiciones de flujo de aire extremas. Mediante la modificación de la producción de empuje y de resistencia, los dispositivos deflectores de aire pueden crear efectos deseados sobre cargas, generación de potencia, frenado aerodinámico, fatiga y similares. Cada dispositivo deflector de aire puede ser desplegable individual e independientemente de modo que pueden emplearse diversas configuraciones de despliegue dependiendo de la situación. Con referencia de nuevo a la Figura 15, por ejemplo, cada dispositivo 30 deflector de aire puede incluir su propio controlador 50 que controla una válvula 54 de aire presurizado para el despliegue de los deflectores 32 de aire. Alternativamente, puede usarse un controlador central que se configura para controlar individualmente un mecanismo de activación tal como una válvula presurizada para cada dispositivo deflector de aire como se ilustra en la Figura 16.

De acuerdo con otro aspecto, los deflectores 32 de aire pueden desplegarse a alturas variables. Si, por ejemplo, se desea una resistencia más alta, puede desplegarse un deflector de aire a una altura mayor que si se desea menor resistencia. La altura del deflector de aire puede ser incremental de modo que un deflector de aire pueda desplegarse a una primera altura en un primer punto en el tiempo y posteriormente a una segunda altura en un segundo punto en el tiempo sin tener que volver a una posición no desplegada. En una configuración un deflector de aire puede desplegarse a una altura que no supere un orden de magnitud del grosor de la capa límite de la sección de pala local. Un orden de magnitud puede definirse como un múltiplo del grosor de la capa límite entre 1 y 10.

La Figura 19 ilustra una configuración de despliegue de deflector de aire y un flujo resultante alrededor de la pala de rotor. En particular, la colocación y despliegue del deflector 1909 de aire permite al sistema incrementar la producción de empuje mientras minimiza la penalidad en resistencia en comparación con el despliegue del deflector 1909 en otras localizaciones. La pala 1900 de rotor incluye un borde 1901 de ataque, un borde 1903 de salida, un lado 1905 de baja presión, un lado 1907 de alta presión y un deflector 1909 de aire localizado en el lado 1907 de alta presión. En una o más disposiciones, el deflector 1909 de aire puede localizarse en el borde 1903 de salida del lado 1907 de alta presión, por ejemplo, entre 0,9 (90 %) a 1,0 (100 %) de la longitud de la cuerda c. La colocación y el despliegue del deflector 1909 de aire cerca del borde 1903 de salida de la superficie 1907 inferior dan como resultado un incremento efectivo en la combadura de perfil aerodinámico local, incrementando de ese modo el empuje. El incremento de la producción de empuje permite, a su vez, la generación de una potencia mayor en una longitud de pala particular. Adicional o alternativamente, para minimizar la penalidad de resistencia potencial que acompaña al despliegue del deflector 1909 de aire, la altura del deflector 1909 de aire puede estar en el orden del grosor de la capa límite. Esto es, en algunas disposiciones, la altura del deflector 1909 de aire podría no exceder el grosor de la capa límite dado que la resistencia se incrementa con la altura del deflector 1909 de aire. Adicionalmente, los dispositivos deflectores tales como el deflector 1909 de aire pueden desplegarse en una dirección perpendicular a la superficie del rotor 1900. Alternativamente, el deflector 1909 de aire puede desplegarse en un ángulo.

La Figura 20 ilustra una definición de ejemplo de la zona 2001 del borde de ataque, zona 2003 de cuerda media y zona 2005 del borde de salida. La zona 2001 del borde de ataque puede definirse como la zona del lado de alta y baja presión entre el 0 % y el 15 % (0,15) de la cuerda c mientras que el borde 2003 de salida puede definirse como la zona del lado de alta o baja presión entre el 90 % (0,90) y 100 % (1,0) de la cuerda c. La zona 2003 de la cuerda media puede definirse como la zona entre la zona 2001 del borde de ataque y la zona 2005 del borde de salida (es decir, entre el 15 % (0,15) y el 90 % (0,90) de la cuerda c). Pueden emplearse definiciones alternativas. Por ejemplo, la zona 2001 del borde de ataque puede expandirse al 0 % al 25 % (0,25) de la cuerda c o reducirse al 0 % al 10 % (0,10) de la cuerda c. Pueden realizarse modificaciones similares a las definiciones de la zona 2003 de cuerda media y zona 2005 del borde de salida. En una o más configuraciones, pueden existir espacios entre varias zonas 2001, 2003 y 2005. Es decir, la zona 2001 del borde de ataque, la zona 2003 de la cuerda media y la zona 2005 del borde de salida pudieran no cubrir la totalidad de la superficie de la pala del rotor o cada zona pudiera no estar a tope con la otra zona.

En una o más disposiciones, las zonas 2001, 2003 y 2005 del borde de ataque, cuerda media y borde de salida, respectivamente, podrían dividirse adicionalmente en una zona de superficie superior y una zona de superficie inferior. Por ejemplo, la zona 2001 del borde de ataque podría incluir una parte 2001a de superficie superior (o superficie de baja presión) y una parte 2001b de superficie inferior (o superficie de alta presión). La zona 2003 de cuerda media y la zona 2005 del borde de salida podrían incluir de modo similar partes de superficie superior e inferior tales como 2003a y 2003b y 2005a y 2005b, respectivamente.

La Figura 21 ilustra el incremento en la generación de potencia de la turbina resultante del despliegue de un deflector de aire a lo largo de la superficie inferior del borde de salida de una pala de rotor. Como se ha ilustrado en el gráfico 2100 de potencia respecto a velocidad del viento, el despliegue de un dispositivo del borde de salida de la superficie inferior permite una mayor generación de potencia con velocidades del viento menores. Por ejemplo, la generación de potencia alcanza la plataforma 2110 a menores velocidades de viento en disposiciones que despliegan un deflector de aire a lo largo de borde de salida de la superficie inferior que sin el uso del dispositivo deflector de aire en el borde de salida de la superficie interior de las palas del rotor. En consecuencia, puede maximizarse la generación de potencia en un intervalo más amplio de velocidades de viento.

La Figura 22 ilustra un flujo alrededor de una pala de rotor que ilustra la colocación y despliegue de un dispositivo deflector de aire para disminuir la producción de empuje mientras minimiza la penalidad sobre la resistencia. La disminución de la producción de empuje puede ayudar a disminuir y controlar la cantidad de carga experimentada por una turbina (no mostrado). La colocación y despliegue del deflector 2209 de aire sobre un borde 2203 de salida de la superficie 2205 superior de la pala 2200 de rotor proporciona una disminución efectiva de la combadura del perfil aerodinámico local debido al flujo de aire desviado hacia arriba (es decir, a diferencia del despliegue del deflector 1900 de aire de la Figura 19). Según disminuye la combadura de perfil aerodinámico local, así lo hace el empuje. La altura extendida del deflector 2209 de aire puede usarse para controlar el cambio en el empuje, correspondiendo los incrementos de altura a disminuciones mayores en el empuje. Por ello, si se desea una gran disminución del empuje, puede desplegarse un deflector 2209 de aire a una altura mayor que si se necesitara una disminución más pequeña en el empuje.

Las Figuras 23 y 24 ilustran flujos alrededor de una pala de rotor que tiene desplegado un deflector de aire en la cuerda media. En particular, el uso de un dispositivo en la cuerda media de la superficie superior tal como dispositivo 2309, permite una reducción de la producción de empuje y un incremento en la resistencia. En una o más disposiciones, la reducción de la producción de empuje puede ser proporcional al incremento en la resistencia. Para bajos ángulos de ataque, como se muestra en la Figura 23, el dispositivo 2309 induce una separación del flujo local aguas abajo. El flujo puede reunirse, sin embargo, aguas abajo, por ejemplo, en el punto A. Las pérdidas momentáneas en la capa límite del perfil aerodinámico pueden provocar posteriormente que el flujo se separe de nuevo, por ejemplo, en el punto B, previamente al borde de salida de perfil aerodinámico. La separación del flujo provocada por el dispositivo 2309 incrementa de modo efectivo la presión sobre la superficie superior y da como resultado una fuerza aerodinámica neta inferior (es decir, en combinación con la presión sobre la superficie inferior).

Para elevados ángulos de ataque como se muestra en la Figura 24, sin embargo, el dispositivo 2309 puede provocar un flujo separado sobre toda la superficie a popa del dispositivo. Esto es, el flujo no se reúne en la superficie de la pala 2300 como es el caso ilustrado en la Figura 23 para bajos ángulos de ataque. De acuerdo con una realización, el dispositivo 2309 puede posicionarse y desplegarse entre 0,3 y 0,7 de la cuerda c sobre la superficie superior de la pala 2300.

La Figura 25 ilustra el flujo de aire alrededor de una pala de rotor que tiene un deflector de aire posicionado y desplegado en una zona de cuerda media de la superficie inferior. La colocación y despliegue en esta zona proporciona un incremento en la producción de resistencia mientras minimiza el cambio en el empuje. El deflector 2509 de aire provoca la separación del flujo local en la proximidad del dispositivo 2509, pero debido a un gradiente de presión favorable, el flujo se reúne rápidamente. La rápida reunión de flujo da como resultado una zona de separación más pequeña y por ello, un impacto menos significativo sobre el empuje en comparación con los efectos de un dispositivo en la cuerda media de la superficie superior tal como el dispositivo 2309 de las Figuras 23 y 24. La resistencia se incrementa debido a la resistencia del dispositivo (es decir, la presencia del dispositivo 2509 en el flujo de alta velocidad). En una o más realizaciones, el dispositivo puede posicionarse entre 0,2 y 0,8 de la cuerda c sobre la superficie inferior de la pala 2500.

Como se ilustra en las Figuras 19 y 21-25, los efectos de los deflectores de aire pueden variar dependiendo de la colocación del dispositivo sobre una pala de rotor. De acuerdo con uno o más aspectos, una pala de rotor puede incluir múltiples deflectores de aire colocados en localizaciones variables sobre la pala del rotor. Las Figuras 26 y 27, por ejemplo, ilustran una configuración de pala de rotor en la que se colocan múltiples deflectores 2609 de aire a lo largo tanto de la superficie superior como de la superficie inferior de la pala 2600. Los dispositivos 2609 pueden colocarse en la superficie superior e inferior sobre el borde de salida, el borde de ataque y la zona de cuerda media, dando como resultado un total de seis conjuntos de dispositivos 2609, como se muestra en la Figura 27. Cada conjunto de dispositivos 2609 puede extenderse a lo largo de una longitud especificada de la pala 2600. Las Figuras 26 y 27 solo ilustran una posible configuración de deflectores de aire 2609. Pueden usarse configuraciones alternativas basándose en los resultados deseados.

Como se describe en el presente documento, cada uno de los dispositivos 2609 o conjuntos de los mismos pueden controlarse individualmente y activarse selectivamente. Dicho de modo diferente, un dispositivo de la superficie superior del borde de salida tal como el dispositivo 2609a puede desplegarse sin tener en cuenta e independientemente de un dispositivo de la superficie inferior del borde de salida tal como el dispositivo 2609d o un dispositivo de la cuerda media de la superficie superior tal como el dispositivo 2609b. De modo similar, pueden desplegarse múltiples conjuntos de dispositivos 2609 independientemente de un resto de los dispositivos 2609. Proporcionar un control independiente de cada uno de los dispositivos 2609 o conjuntos de dispositivos 2609 permite a un sistema de control desplegar ciertos dispositivos 2609 o combinaciones de dispositivos 2609 basándose en las condiciones actuales y un resultado deseado.

La Figura 28 ilustra un ejemplo de una pala de rotor en la que se despliega una combinación de deflectores de aire. Por ejemplo, la pala de rotor 2800 incluye dispositivos de la cuerda media y de salida de la superficie superior, dispositivos 2809a y 2809b, respectivamente, y dispositivos del borde de ataque, de la cuerda media y del borde de salida de la superficie inferior 2809c, 2809d y 2809e, respectivamente. Todos los dispositivos 2809 se despliegan para proporcionar frenado aerodinámico. Esto es, mediante el despliegue de todos los dispositivos 2809 en combinación, se maximiza la perturbación del flujo, creando un flujo sustancialmente separado tanto en la superficie superior como la inferior. En consecuencia, en condiciones altamente turbulentas o de flujo de aire extremo, por ejemplo, puede usarse dicha configuración de despliegue para reducir las cargas sobre la pala del rotor 2800 y una turbina asociada (no mostrada). En algunos casos, el despliegue de los dispositivos 2809 puede usarse para detener el giro de la pala 2800 si, por ejemplo, las condiciones atmosféricas extremas y las cargas resultantes provocarían una cantidad significativa de daños a la pala 2800 y a la turbina asociada.

Pueden definirse y usarse modos de control de despliegue variables para condiciones específicas o para producir un resultado deseado. Por ejemplo, pueden desplegarse diferentes combinaciones de deflectores de aire durante una turbulencia normal, condiciones extremas y condiciones que empeorarían cuando se incrementa la longitud de la pala. De modo similar, pueden desplegarse combinaciones de deflectores de aire para proporcionar una reducción en el ciclo de trabajo del paso, reducción de cargas asimétricas, reducción de carga de parada de emergencia y amortiguación de resonancias en el sentido del borde. La reducción del ciclo de trabajo del paso se refiere generalmente a minimizar la necesidad de cambiar el paso de las palas del rotor para reducir cargas.

La Figura 29 ilustra un método de control para activar dispositivos deflectores de aire. En la etapa 2900, un sistema de control puede determinar las condiciones de carga actuales sobre la turbina. Las condiciones de carga pueden medirse usando una variedad de sensores que incluyen acelerómetros, extensómetros, sensores de presión y similares. Las cargas pueden medirse en varios puntos sobre una pala de rotor, sobre el cuerpo de la turbina o una combinación de los mismos. En la etapa 2905, el sistema de control puede determinar o identificar un conjunto de uno o más deflectores de aire a activar basándose en las condiciones de carga determinadas. Por ejemplo, pueden definirse reglas de modo que si las condiciones de carga requieren una reducción de las cargas asimétricas sobre las palas, el sistema de control puede activar dispositivos deflectores de aire del borde de salida. En la etapa 2910, el sistema de control puede determinar adicionalmente una altura de despliegue para los uno o más dispositivos deflectores de aire que se activen. Por ejemplo, el sistema de control puede desear limitar la altura de despliegue si se ha de minimizar la resistencia o mantener bajo un umbral especificado. Pueden usarse también otras consideraciones tales como la generación de potencia para determinar una altura de despliegue. Una vez que se ha identificado un conjunto de deflectores de aire para activación y determinado a la altura de despliegue, el sistema de control puede activar posteriormente los deflectores identificados en la etapa 2915 independientemente de otros deflectores de aire sobre la pala del rotor. Los deflectores de aire pueden desplegarse adicionalmente de acuerdo con la altura determinada. En uno o más casos, el conjunto identificado de deflectores de aire puede incluir menos que todos los deflectores de aire disponibles sobre la pala del rotor.

La Figura 30 ilustra varios requisitos de control junto con configuraciones de despliegue posibles que pueden usarse para cumplir con estos requisitos de control. Las configuraciones ilustradas representan las zonas en las que pueden desplegarse deflectores de aire para cumplir los requisitos de control correspondientes. No se requiere necesariamente el despliegue de deflectores de aire en todas las zonas indicadas. En un ejemplo, durante una turbulencia o carga normal, pueden desplegarse uno o más de los dispositivos del borde de salida sobre tanto la superficie superior como la inferior y los dispositivos de la cuerda media de la superficie superior para reducir la magnitud de las fluctuaciones de carga. En otro ejemplo, para compensar la resonancia en el sentido del borde, pueden desplegarse uno o más de los dispositivos del borde de ataque de la superficie exterior y dispositivos de la cuerda media de la superficie superior e inferior para amortiguar la carga de vibración. Pueden usarse también varias otras combinaciones y configuraciones. Las configuraciones ilustradas representan áreas en las que puede desplegarse un deflector de aire y no son indicativas o representativas de ninguna forma o estructura particular de los deflectores de aire.

La turbulencia normal, en algunas disposiciones, puede caracterizarse por una carga media lentamente cambiante con una variación superpuesta de la carga de baja amplitud, alta frecuencia. Las cargas provocadas por fluctuaciones normales pueden medirse usando extensómetros colocados en la raíz o en estaciones de pala en el sentido de la envergadura local. Alternativamente, la carga de la pala puede determinarse aerodinámicamente usando sensores de presión o estimarse usando el ángulo de ataque medido. Debido a la naturaleza de la turbulencia normal (promedio lentamente cambiante con variación de alta frecuencia en la velocidad del viento), una

configuración de dispositivos de ejemplo puede incluir dispositivos de la cuerda media de la superficie superior y/o del borde de salida, y/o dispositivos de la superficie inferior del borde de salida en varias estaciones en el sentido de la envergadura, como se muestra en la Figura 30. Cada uno de los dispositivos de la cuerda media de la superficie superior, dispositivo del borde de salida de la superficie superior y dispositivo del borde de salida de la superficie interior pueden desplegarse individual e independientemente. La colocación y el número de dispositivos usados puede depender de la cantidad de cambio de carga que se desee/requiera y la forma de perfil aerodinámico de la sección de pala.

La Figura 31 ilustra una estrategia de control que puede usarse para cada dispositivo o una colección de dispositivos independiente. En la etapa 3100, el controlador puede recibir lecturas de sensores. Basándose en estas lecturas de sensores, el controlador puede determinar posteriormente las condiciones de carga instantánea en la etapa 3105 basándose en los valores de carga absolutos, desviaciones del promedio operacional, o la tasa de cambio de los valores absolutos. Alternativa o adicionalmente, el control puede determinar el par del rotor, velocidad del rotor u otras características del rotor o la turbina para controlar el despliegue de deflectores de aire. En la etapa 3110, el controlador puede determinar a continuación uno o más dispositivos deflectores de aire a desplegar basándose en las condiciones de carga determinadas. Por ejemplo, el controlador puede determinar si el despliegue o retracción del dispositivo está garantizado para cada dispositivo, colección de dispositivos, o subconjunto de la colección de dispositivos basándose en una carga de umbral, par del rotor, velocidad y similares. En la etapa 3115, pueden desplegarse el (los) dispositivo(s) deflector(es) de aire determinado(s).

Generalmente, el despliegue de un dispositivo depende del efecto aerodinámico deseado. Si la carga (empuje, resistencia, y/o momento) cae, provocando consecuentemente una reducción en la producción de potencia, puede desplegarse un dispositivo, o un conjunto de dispositivos, del borde de salida de la superficie inferior para incrementar el empuje, incrementando por ello la producción de potencia. Si la carga se incrementa más allá de un valor aceptable (por ejemplo, la potencia se hace demasiado alta, o hay excesivas cargas de fatiga), se requiere una reducción de carga. En este caso, se requiere un dispositivo del borde de salida de la superficie superior. El dispositivo del borde de salida podría no ser siempre efectivo, sin embargo, debido a limitaciones aerodinámicas. Brevemente, con altos ángulos de ataque del dispositivo del borde de salida quedará limpio por entrada en pérdida, es decir se hará inefectivo. Por ejemplo, las modernas turbinas que cambian el paso para entrar en pérdida funcionan típicamente con ángulos de ataque más altos (es decir cerca de la pérdida) cerca de la potencia nominal. En esta situación (cerca de pérdida), si fueran a tener lugar una ráfaga o alguna otra actividad de turbulencia, un dispositivo del borde de salida podría no funcionar debido a que el dispositivo está dentro del flujo separado. Es aquí donde puede usarse un dispositivo de la cuerda media, dado que el patrón de pérdida se inicia típicamente en el borde de salida y trabaja en esta forma hacia adelante. De ese modo, por ejemplo, si los dispositivos sensores indican al controlador que la pala está con un elevado ángulo de ataque, podría usarse la lógica de control para decidir qué dispositivo desplegar: un dispositivo del borde de salida para la reducción de empuje máxima con una mínima resistencia o un dispositivo de la cuerda media para la producción de empuje con resistencia más alta. Otra metodología del controlador usa mediciones de carga desde los indicadores de pala o sensores de presión. Con esta información, el despliegue por defecto para la reducción de carga puede ser un dispositivo del borde de salida de la superficie superior. Con el dispositivo desplegado, si las cargas o tasa de cambio de las cargas, etc., no vuelve a niveles aceptables se desplegaría el dispositivo de la cuerda media de la superficie superior.

Las cargas asimétricas, por otro lado, pueden ser el resultado de efectos cíclicos provocados por error de orientación, cizallamiento del viento, sombra de la torre, etc., lo que provoca variación en la carga de la pala dependiendo del azimut de la pala. Con cargas asimétricas, es necesaria una fuerza de equilibrio para equilibrar la cantidad de carga de las diversas palas para reducir fatiga, ciclo de trabajo del motor de paso, etc. Como con turbulencia normal, las cargas pueden medirse usando extensómetros colocados en la raíz o en estaciones de pala locales en el sentido de la envergadura. Alternativamente, la carga de la pala puede determinarse aerodinámicamente usando sensores de presión o estimarse usando el ángulo de ataque medido. Pueden usarse también otros tipos de sensores, disposiciones y colocaciones.

Para mitigar las cargas asimétricas, pueden usarse dispositivos del borde de salida colocados sobre la superficie superior y/o inferior. Pueden ser necesarias varias localizaciones en el sentido de la envergadura dependiendo de la cantidad de cambio de carga a contrarrestar. Como se ha descrito anteriormente, los dispositivos del borde de salida son útiles para incrementar (colocación en la superficie inferior) y disminuir (colocación en la superficie superior) el empuje con mínima penalidad de resistencia (comparados con dispositivos similares colocados adicionalmente avanzados). El mantenimiento de la resistencia en un mínimo es importante debido a sus implicaciones en la producción de potencia y en la eficiencia de la turbina.

El controlador podría usar datos de carga instantáneos para determinar qué dispositivo desplegar basándose en condiciones de tolerancia (cargas absolutas, tasa de cambio la carga, etc., como se ha descrito anteriormente). Alternativamente, debido a que las cargas asimétricas tienden a tener un componente cíclico debido a la rotación de la pala, podría desarrollarse una planificación para desplegar o retraer un dispositivo basándose en el azimut de la pala. Este esquema de control, sin embargo, podría no ser capaz de manejar fluctuaciones turbulentas u otras en condiciones de viento. Los métodos de control pueden incluir control de realimentación para determinar qué dispositivo desplegar para dispositivos individuales, o una colección de dispositivos.

Las resonancias en el sentido del borde se refieren en general a un incremento en la carga en el sentido del borde (carga de pala en el plano rotacional) debido a perturbaciones que coinciden con la frecuencia de resonancia de la pala. La resonancia en el sentido del borde puede ser particularmente problemática debido a que las palas de la turbina tienen muy poca amortiguación en el sentido del borde. La carencia de amortiguación en un sistema físico puede conducir a fallos dramáticos en condiciones de resonancia. (Por ejemplo, el puente en Tacoma Narrows). Para impedir o anular la resonancia, es necesario incrementar la amortiguación en el sentido del borde de la pala.

La resonancia en el sentido del borde puede medirse usando acelerómetros o extensómetros. Estos sensores pueden colocarse en la raíz de la pala o en alguna otra localización en el sentido de envergadura. En ambos casos (acelerómetros o extensómetros), la resonancia puede distinguirse mediante la detección del “floreamiento” —un incremento en la carga acoplada con frecuencia superpuesta— alrededor de la firma de carga en el sentido del borde normal, cíclica provocada por la masa de la pala y el giro. La Figura 32 ilustra dichas cargas en el sentido del borde antes y después de que se haya desplegado un dispositivo de la cuerda media de la superficie inferior.

La reducción de la resonancia puede llevarse a cabo aerodinámicamente usando dispositivos deflectores de aire (por ejemplo, los dispositivos 2609) para incrementar la resistencia, incrementando de ese modo la amortiguación en el sentido del borde de la pala. Los dispositivos que pueden usarse para esta aplicación pueden localizarse sobre la superficie superior e inferior en una zona de la cuerda media y sobre la superficie inferior en la zona del borde de ataque (como se muestra en la Figura 30). Los dispositivos en cada una de estas zonas pueden controlarse independientemente con una base individual o basándose en la zona o en alguna otra agrupación especificada.

El despliegue de dispositivos en la cuerda media provoca en general incrementos dramáticos (en comparación con otras localizaciones) en resistencia, acompañados por cambios en el empuje. Los dispositivos de la cuerda media de la superficie superior tienden a producir grandes incrementos de resistencia con grandes cambios en el empuje; la magnitud de estos efectos depende de la localización en la cuerda y a la altura del dispositivo. Los dispositivos de la cuerda media de la superficie inferior tienden a provocar de modo similar grandes incrementos de resistencia, típicamente con un impacto más pequeño en el empuje. Dependiendo del perfil aerodinámico y de la colocación del dispositivo, puede ser posible desplegar simultáneamente un dispositivo de la cuerda media de la superficie superior y un dispositivo de la cuerda media de la superficie inferior, de tal manera que se minimicen los efectos sobre el empuje. Otra planificación de despliegue puede incluir la alternancia en el sentido de la envergadura entre el despliegue de dispositivos de la cuerda media de la superficie superior e inferior.

La Figura 33 ilustra una pala de rotor de ejemplo que tiene una configuración en el sentido de la envergadura alternada de dispositivos deflectores de aire de la superficie superior e inferior. Como se ilustra, en una primera estación en el sentido de la envergadura puede desplegarse un dispositivo 3303a de la superficie inferior. En la siguiente estación en el sentido de la envergadura, se despliega un dispositivo 3303b de la superficie superior. Este patrón puede repetirse para todas las estaciones en el sentido de envergadura. Las secciones AA y BB ilustran la posición de los dispositivos deflectores de aire de la superficie superior y la superficie inferior en estaciones en el sentido de la envergadura indicadas.

Para reducir la resonancia en el sentido del borde, podría no desearse el cambio del empuje. En consecuencia, puede usarse un dispositivo del borde de ataque de la superficie inferior. El dispositivo de borde de ataque de la superficie inferior no influye en el empuje positivo (empuje con ángulos de ataque positivos) pero provoca un incremento en la resistencia. Aunque el incremento en la resistencia no sea tan grande como con los dispositivos de la cuerda media, dando por ello menor amortiguación en el sentido del borde, la carencia de cambio en el empuje puede ser beneficiosa.

Una parada de emergencia se define generalmente como una “parada rápida de la turbina eólica activada por una función de protección o por intervención manual” (Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) 61400-1, ed. 2005, pág. 10). Esta condición es indicada típicamente por el estado de marcha de la turbina del controlador de turbina. En un ejemplo de condición de parada de emergencia, el controlador de turbina (separado o integrado con el controlador del dispositivo deflector de aire) puede enviar una orden especial de que ha tenido lugar algún fallo. En esta situación, se usa todo el frenado aerodinámico y mecánico disponible para detener el giro del rotor de la turbina eólica. Se usa el sistema de paso para cambiar rápidamente el paso de las palas para reducir las cargas aerodinámicas. El freno mecánico se aplica una vez que la velocidad del rotor se reduce a través del paso de las palas. Este enfoque de cambio del paso y a continuación frenado puede provocar cargas transitorias dramáticas y potencialmente dañinas a todo el sistema de la turbina (palas, torre, caja de engranajes, etc.). Usando dispositivos tales como los mostrados en la Figura 30, pueden reducirse las cargas transitorias mediante la rápida eliminación de las cargas aerodinámicas, más rápido de lo que pueden funcionar los sistemas de paso actuales.

En condiciones de parada de emergencia, puede ser beneficioso tener dispositivos sobre las superficies superior e inferior en localizaciones del borde de ataque, borde de salida y cuerda media en varias estaciones en el sentido de la envergadura a lo largo de la pala. Puede desarrollarse un controlador para leer un código de parada de emergencia desde el controlador de turbina. El controlador del dispositivo podría desplegar entonces todos estos dispositivos (como se muestra en la Figura 28), simultáneamente o en una secuencia determinada, lo que provocaría que el flujo se separe en toda la sección de la pala (en la proximidad de los dispositivos) reduciendo muy rápidamente la carga aerodinámica.

Otra categoría de condiciones que pueden proporcionarse para permitir bajo un esquema de control el despliegue independiente de dispositivos deflectores de aire, son las condiciones extremas. Las condiciones de viento extremas, por ejemplo, se refieren generalmente a “eventos de cizallamiento del viento, así como velocidades de viento de pico debido a tormentas y cambios rápidos en la velocidad y dirección del viento” (IEC 61400-1, ed. 2005, página 25). Otras condiciones extremas pueden incluir hielo y pérdida de la red de energía eléctrica. Las condiciones extremas pueden dar como resultado la aparición de altas cargas más rápido de lo que los sistemas de la turbina eólica existentes pueden responder.

En algunas condiciones extremas, el viento puede cambiar rápidamente de dirección y magnitud provocando fluctuaciones de carga de la pala. El enfoque actual para mitigar estas fluctuaciones sería activar el sistema de paso para cambiar las cargas aerodinámicas. Sin embargo, el sistema de paso podría no ser capaz de manejar las condiciones debido a las tasas de control del sistema y la lentitud relativa de la respuesta aerodinámica a cambios del paso. Los dispositivos descritos, por otro lado, son capaces de desplegarse rápidamente debido a su tamaño y afectan rápidamente a la aerodinámica de la pala debido a que afectan directamente al momento del flujo en la capa límite.

Las condiciones de viento extremas pueden determinarse usando el momento de flexión de la raíz de la pala, ángulo de ataque de la pala local, y carga de la pala local a partir de los datos de sensores de presión. Para manejar condiciones extremas, puede ser necesario instalar dispositivos en todas las localizaciones previamente descritas (localizaciones de la superficie superior/inferior, borde de ataque (LE) / cuerda media (MC) / borde de salida (TE)) debido a que ciertas localizaciones son más efectivas bajo varias circunstancias, tal como se ha descrito anteriormente. Usando sensores, tales como los descritos en el presente documento, puede configurarse un sistema de control para detectar un evento de viento transitorio y elegir los dispositivos requeridos a desplegar basándose en los valores de carga locales o absolutos globales, desviación de los valores de carga, o la tasa de cambio de los valores de carga. El controlador puede determinar entonces qué dispositivo(s) desplegar basándose en la información de carga instantánea desde los sensores.

Una condición extrema que incluye la pérdida de la red eléctrica puede provocar que la turbina experimente rápidos cambios en las cargas. Además de los sensores de determinación de carga descritos en el presente documento, podría usarse el estado de marcha del controlador de turbina (o estado de fallo) por un controlador del dispositivo para determinar si ha ocurrido un fallo eléctrico. En este caso, pueden desplegarse todos los dispositivos (superficie superior/inferior, localizaciones LE/MC/TE, estaciones en el sentido de la envergadura múltiples) para proporcionar frenado aerodinámico y ayudar a impedir la condición de embalamiento de la turbina. Alternativamente, podría usarse información del sensor y estado de marcha combinados para desplegar dispositivos de tal forma que proporcione frenado aerodinámico mientras mitiga también la carga excesiva.

El hielo en la pala de turbina es otra preocupación de condición extrema debido a la carga incrementada debido al peso añadido del hielo y al cambio en la carga aerodinámica debido a la alteración de la forma de la pala. Podrían colocarse dispositivos en la superficie superior e inferior cerca del borde de ataque para separar el hielo cuando se forma sobre la pala mediante la extensión y retracción de los dispositivos. En este caso, podría usarse la temperatura y la humedad relativa para determinar si es probable hielo y podrían desplegarse los dispositivos a intervalos regulares con duraciones muy cortas para despegar cualquier formación de hielo.

Debería entenderse que cualquiera de las etapas, procedimientos o funciones del método descritas en el presente documento pueden implementarse usando uno o más procesadores en combinación con instrucciones ejecutables que hacen que los procesadores y otros componentes realicen las etapas, procedimientos o funciones del método. Tal como se usan en el presente documento, los términos “procesador” y “ordenador” tanto si se usan solo como en combinación con instrucciones ejecutables almacenadas en una memoria u otros medios de almacenamiento legibles por ordenador debería entenderse que engloban cualesquiera de los diversos tipos de estructuras de cálculo bien conocidas, incluyendo pero sin limitarse a, uno o más microprocesadores, chips de ordenador de finalidad especial, procesadores de señal digital (DSP), matrices de puertas programables en campo (FPGA), circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), combinaciones de hardware/firmware/software, u otros circuitos de procesamiento de finalidad especial o general.

Los métodos y características enumerados en el presente documento pueden implementarse adicionalmente a través de cualquier número de medios legibles por ordenador que sean capaces de almacenar funciones legibles por ordenador. Ejemplos de medios legibles por ordenador que pueden usarse incluyen RAM, ROM, EEPROM, memoria flash u otra tecnología de memoria, CD-ROM, DVD u otros almacenamientos en disco óptico, casetes magnéticas, cinta magnética, almacenamientos magnéticos y similares.

Aunque la materia objeto se ha descrito en un lenguaje específico para las características estructurales y/o actos metodológicos, se ha de entender que la materia objeto definida en las reivindicaciones adjuntas no está necesariamente limitada a las características o actos específicos descritos anteriormente. Por el contrario, las características y actos específicos descritos anteriormente se divulgan como formas de ejemplo de implementación de las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica que comprende:

un generador eléctrico; y  
un rotor acoplado al generador eléctrico, teniendo el rotor una pala de rotor, teniendo la pala de rotor un deflector de aire, siendo móvil el deflector de aire entre una posición extendida en la que el deflector de aire se extiende hacia el exterior desde una superficie exterior de la pala del rotor, en una parte de ataque de la misma en el sentido de la cuerda, y una posición retraída en la que el deflector de aire no se extiende hacia el exterior desde la superficie exterior de la pala del rotor,  
en la que la superficie superior del deflector de aire, cuando está en la posición retraída, forma una parte de la superficie exterior de la pala del rotor, y **caracterizada porque** toda una superficie superior del deflector de aire, cuando está en la posición extendida, se eleva separándose de la superficie exterior de la pala del rotor en una localización sobre la parte de ataque a en el sentido de la cuerda para provocar la separación del flujo en la proximidad del borde de ataque de la pala del rotor.

2. La turbina eólica según la reivindicación 1, en la que la pala del rotor tiene un lado de alta presión definido por una primera superficie de la pala del rotor entre un borde de ataque y un borde de salida de la pala del rotor, y un lado de baja presión definido por una segunda superficie de la pala del rotor entre el borde de ataque y el borde de salida de la pala del rotor, formando la segunda superficie el lado de baja presión que es opuesto a la primera superficie que forma el lado de alta presión, en la que se desarrolla un empuje desde el lado de alta presión al lado de baja presión cuando se hace girar la pala del rotor, en la que el deflector de aire se extiende hacia el exterior desde la primera o segunda superficie cuando está en la posición extendida.

3. La turbina eólica según la reivindicación 2, en la que el deflector de aire es un primer deflector de aire dispuesto en una primera posición a lo largo de una cuerda de la pala del rotor, comprendiendo adicionalmente la turbina eólica un segundo deflector de aire que es móvil entre una posición extendida en la que el segundo deflector de aire se extiende hacia el exterior desde la superficie exterior de la pala del rotor sobre el lado de ataque y una posición retraída en la que el segundo deflector de aire no se extiende hacia el exterior desde la superficie exterior de la pala del rotor, en la que el segundo deflector de aire está dispuesto en una segunda posición a lo largo de una cuerda de la pala del rotor y se extiende desde la primera superficie cuando está en la posición extendida, en la que la segunda posición es una posición en el sentido de la cuerda diferente de la primera posición, y  
en la que el primer deflector de aire y el segundo deflector de aire son desplegables y controlables de modo independiente entre ellos.

4. La turbina eólica según la reivindicación 1, en la que se define una cuerda como una línea recta entre un borde de ataque y un borde de salida de la pala del rotor, en la que el deflector de aire, cuando está extendido, está localizado a lo largo de la cuerda cuando se mide perpendicularmente a la misma, entre el 5 % al 25 % y preferentemente entre el 5 % al 15 % de la distancia desde el borde de ataque al borde de salida.

5. La turbina eólica según la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un controlador acoplado ópticamente al deflector de aire a través de un conducto óptico, en la que el deflector de aire es activado ópticamente mediante una señal óptica enviada a través del conducto óptico, preferentemente en respuesta a la detección de una ráfaga de viento.

6. La turbina eólica según la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:

una pluralidad de palas de rotor, incluyendo cada una un deflector de aire; y  
un controlador central configurado para controlar el movimiento del deflector de aire de cada una de la pluralidad de palas del rotor entre una posición extendida y una posición retraída.

7. La turbina eólica según la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un módulo conectado a la pala del rotor, en la que el deflector de aire está localizado en el módulo cuando está en la posición retraída y en la que el módulo incluye un controlador configurado para controlar el movimiento del deflector de aire entre la posición extendida y la posición retraída.

8. La turbina eólica según la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un controlador configurado para:

determinar una carga sobre la pala del rotor mediante la determinación de una cantidad umbral de resonancia en el sentido del borde; y  
en respuesta a la determinación de la cantidad umbral de resonancia en el sentido del borde, activar selectivamente uno o más de: un deflector de aire del borde de salida de la superficie inferior, un deflector de aire de la cuerda media de la superficie superior y un deflector de aire de la cuerda media de la superficie inferior.

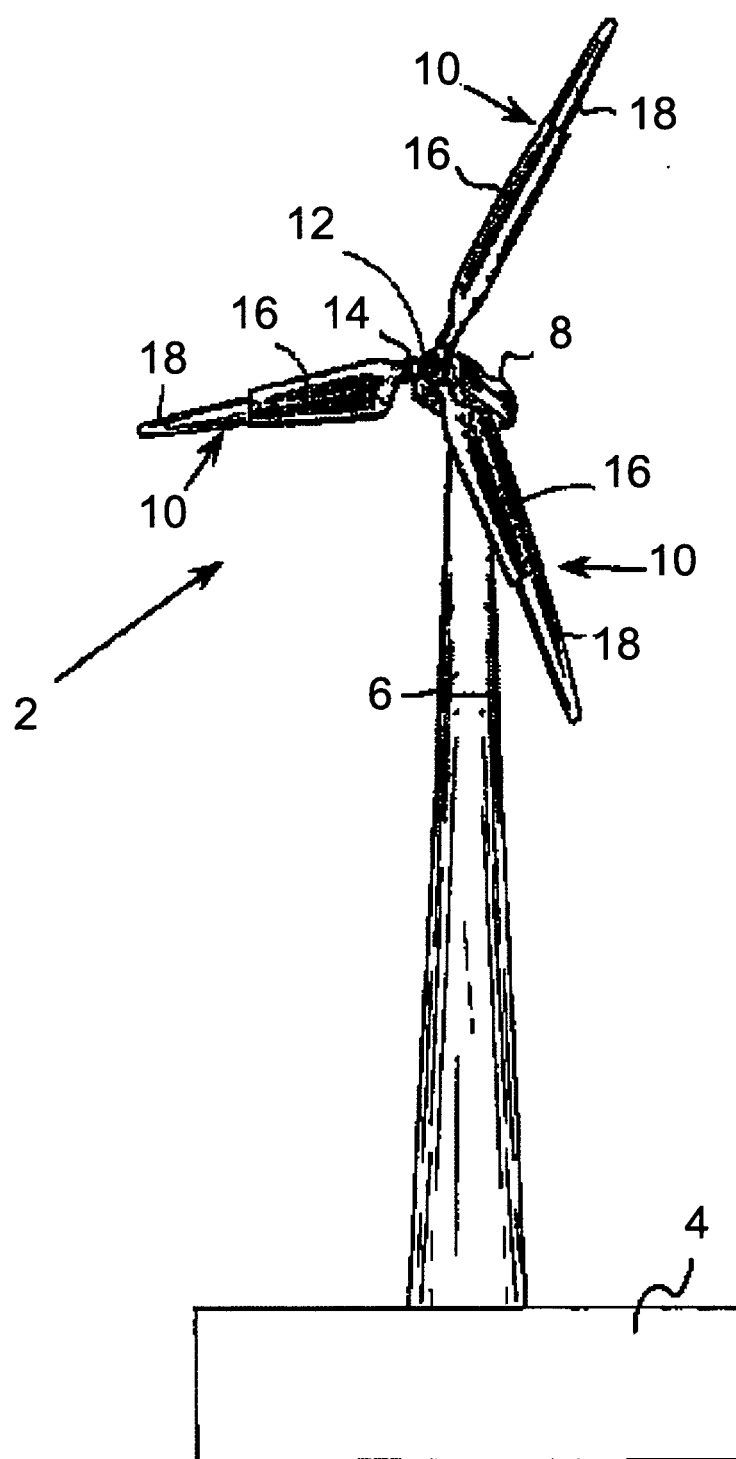


Figura 1

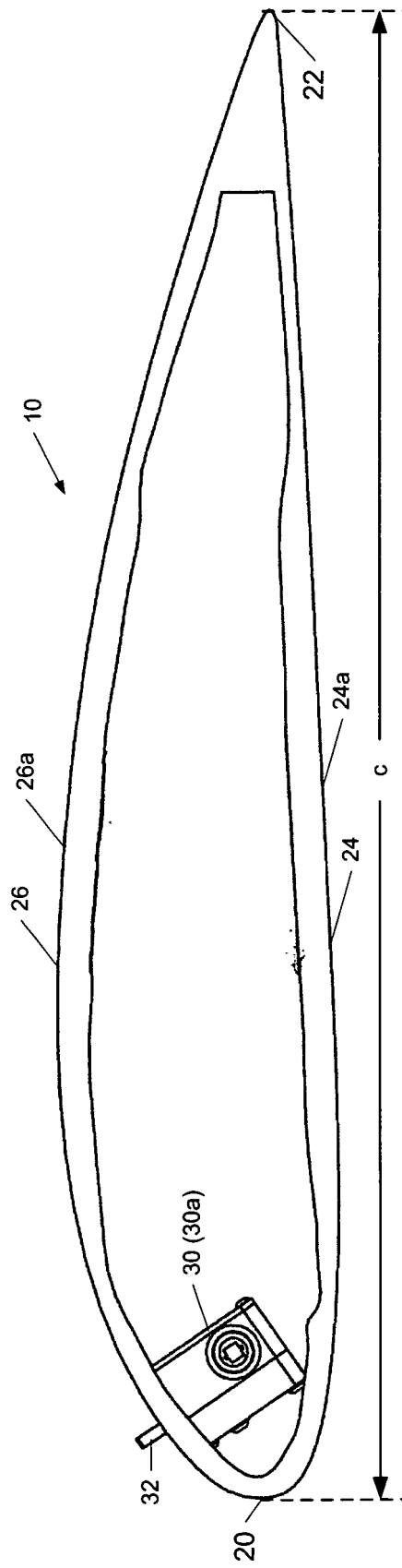


Figura 2

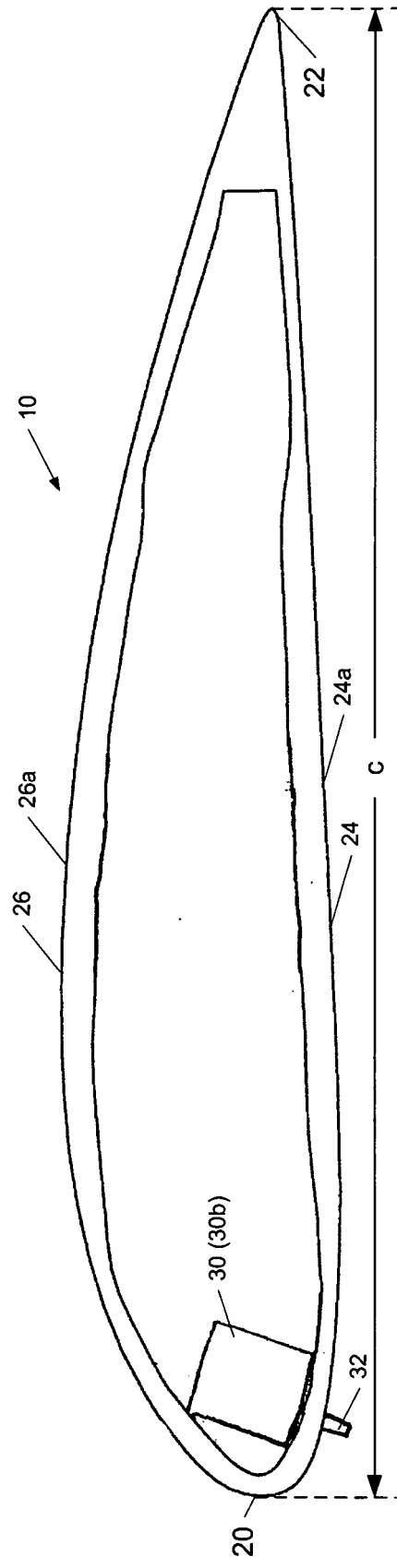


Figura 3

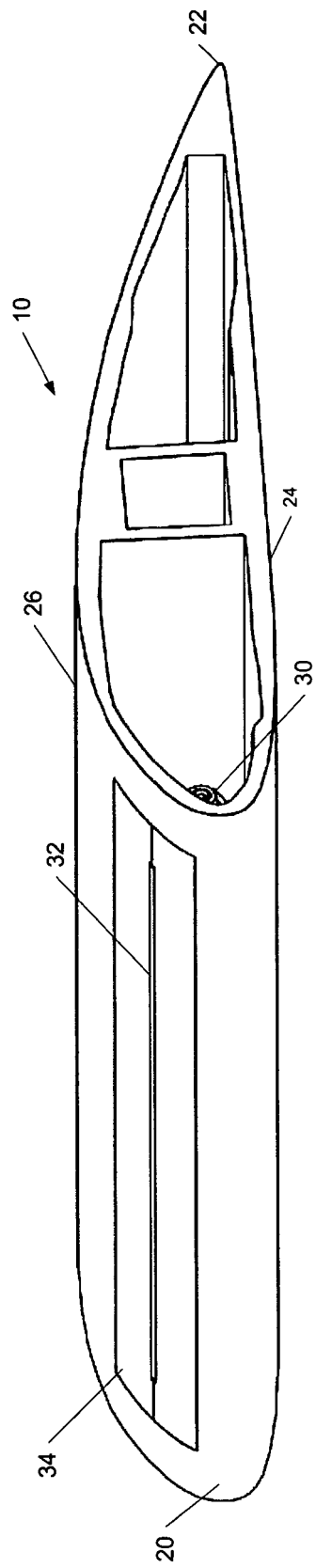


Figura 4

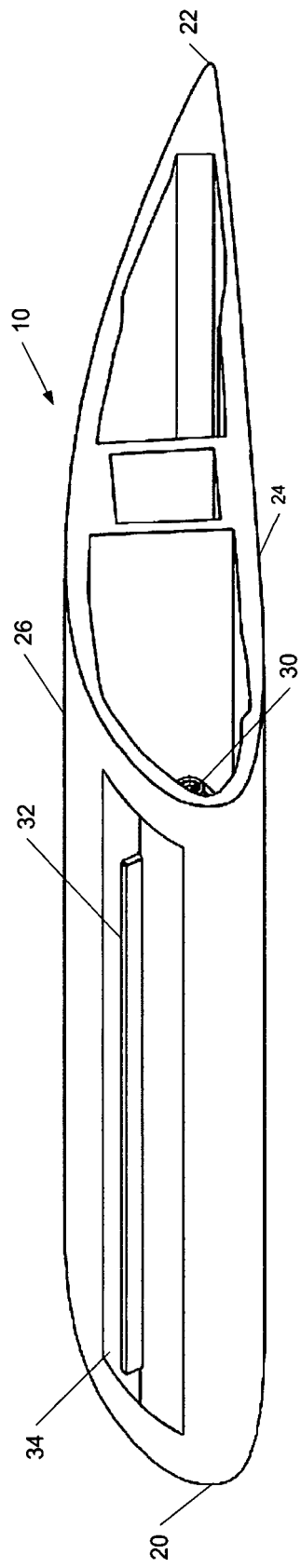


Figura 5

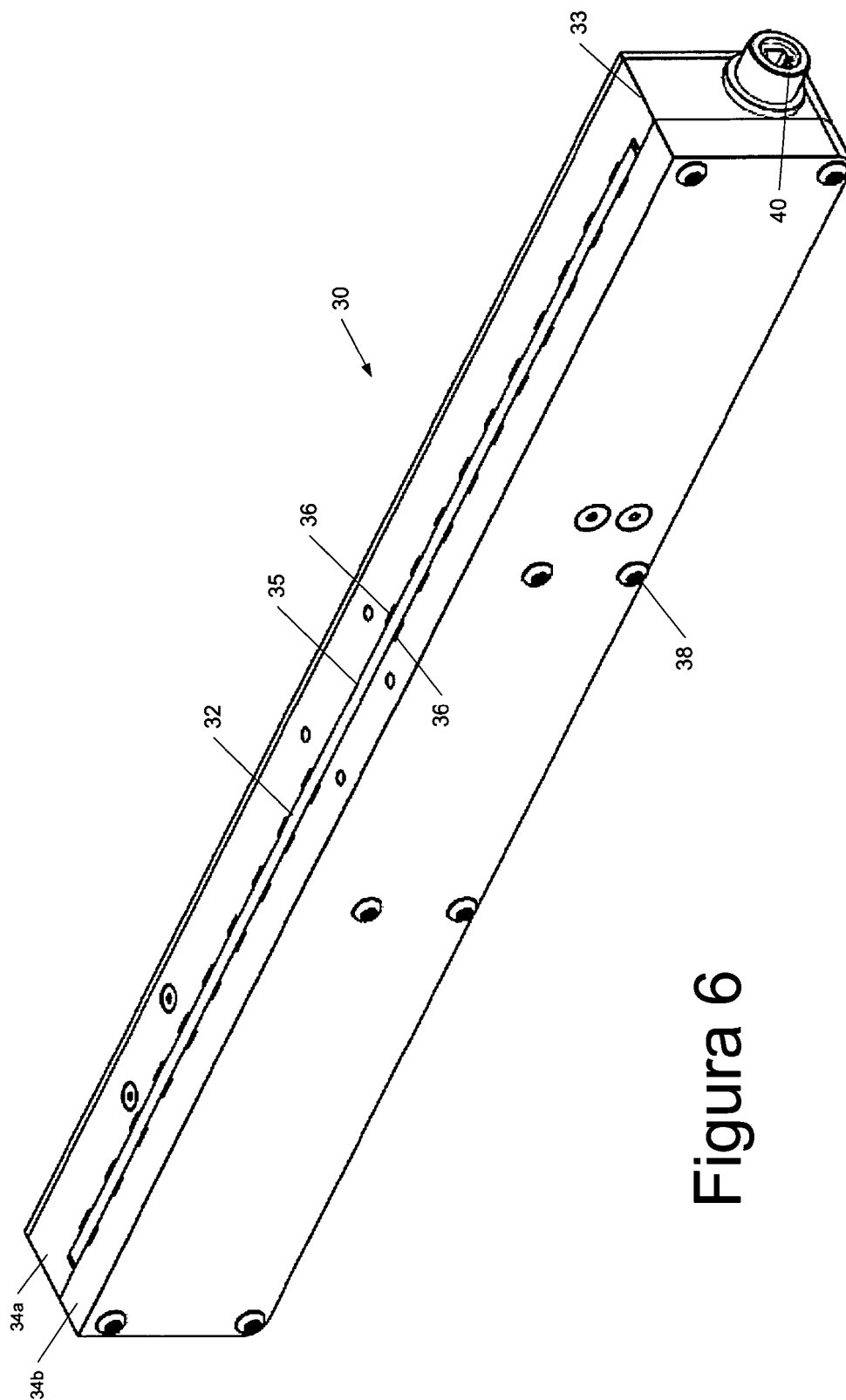


Figura 6

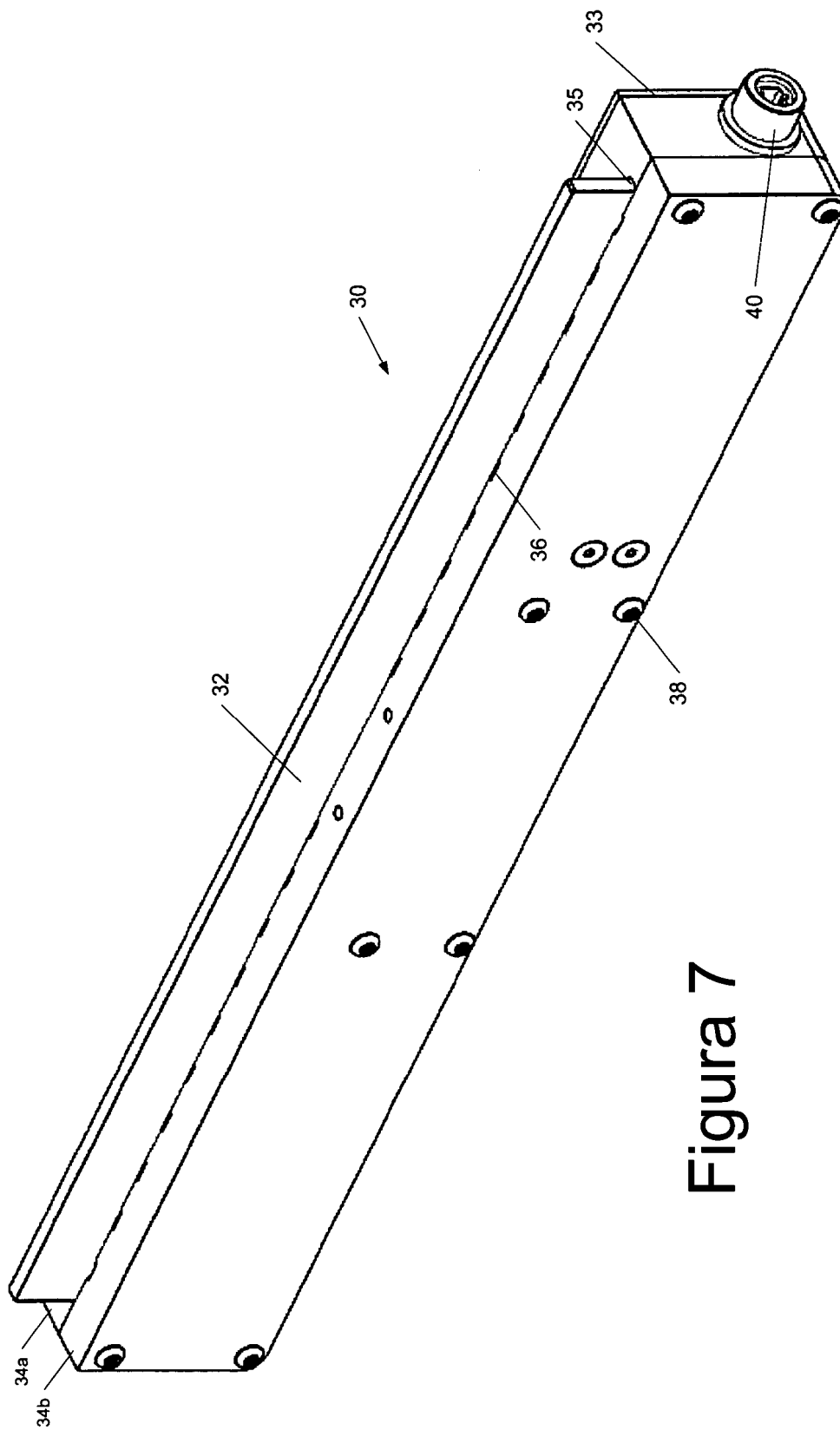


Figura 7

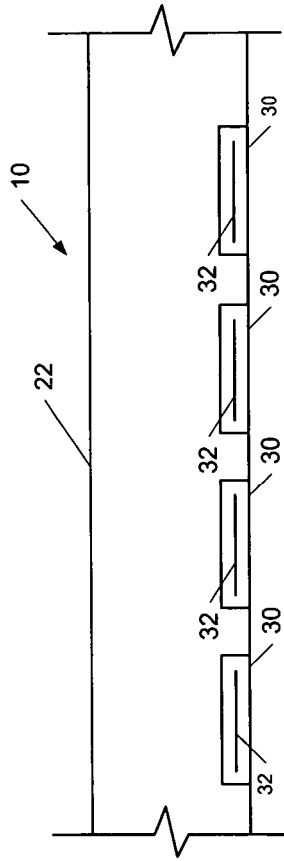


Figura 8

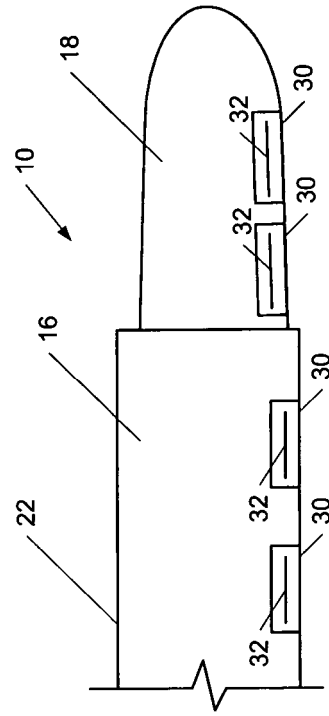


Figura 9

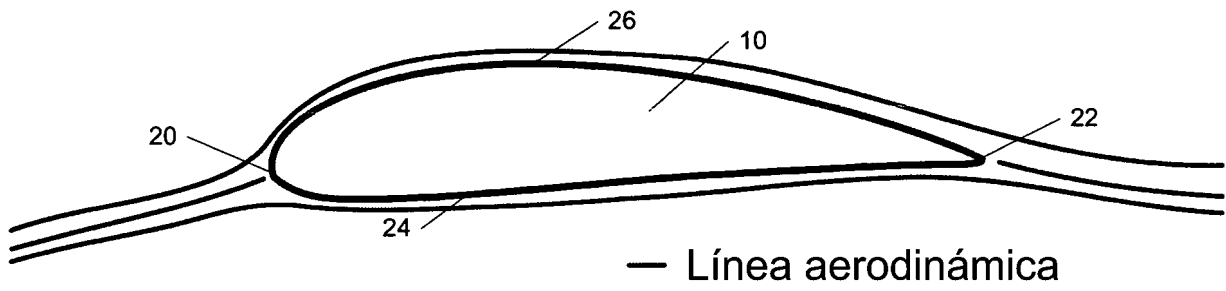


Figura 10

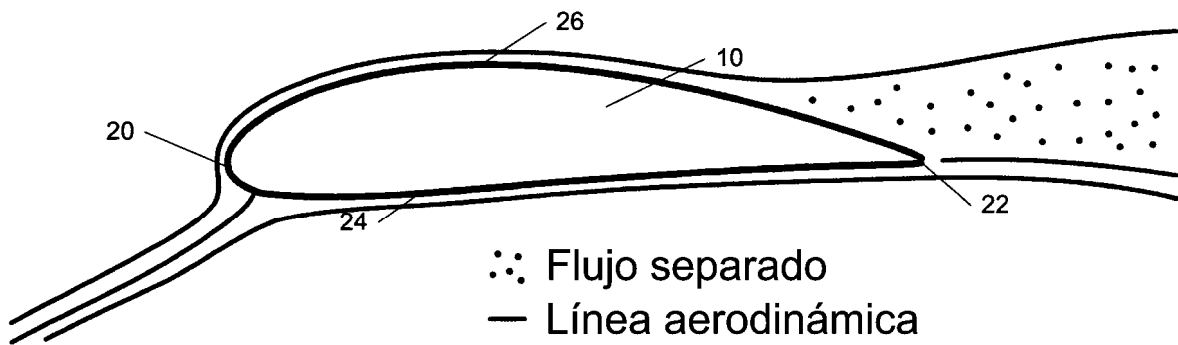


Figura 11



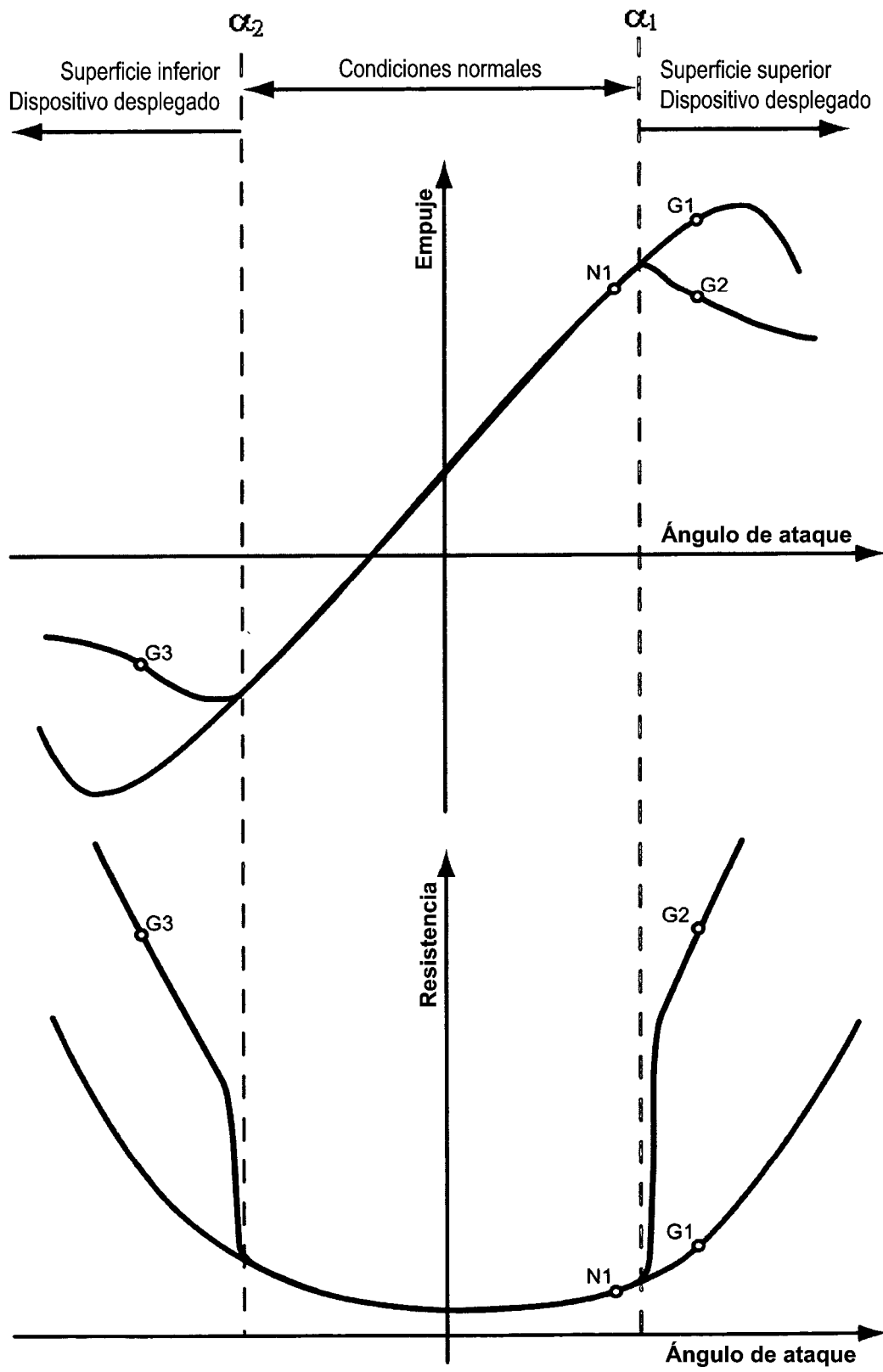


Figura 14

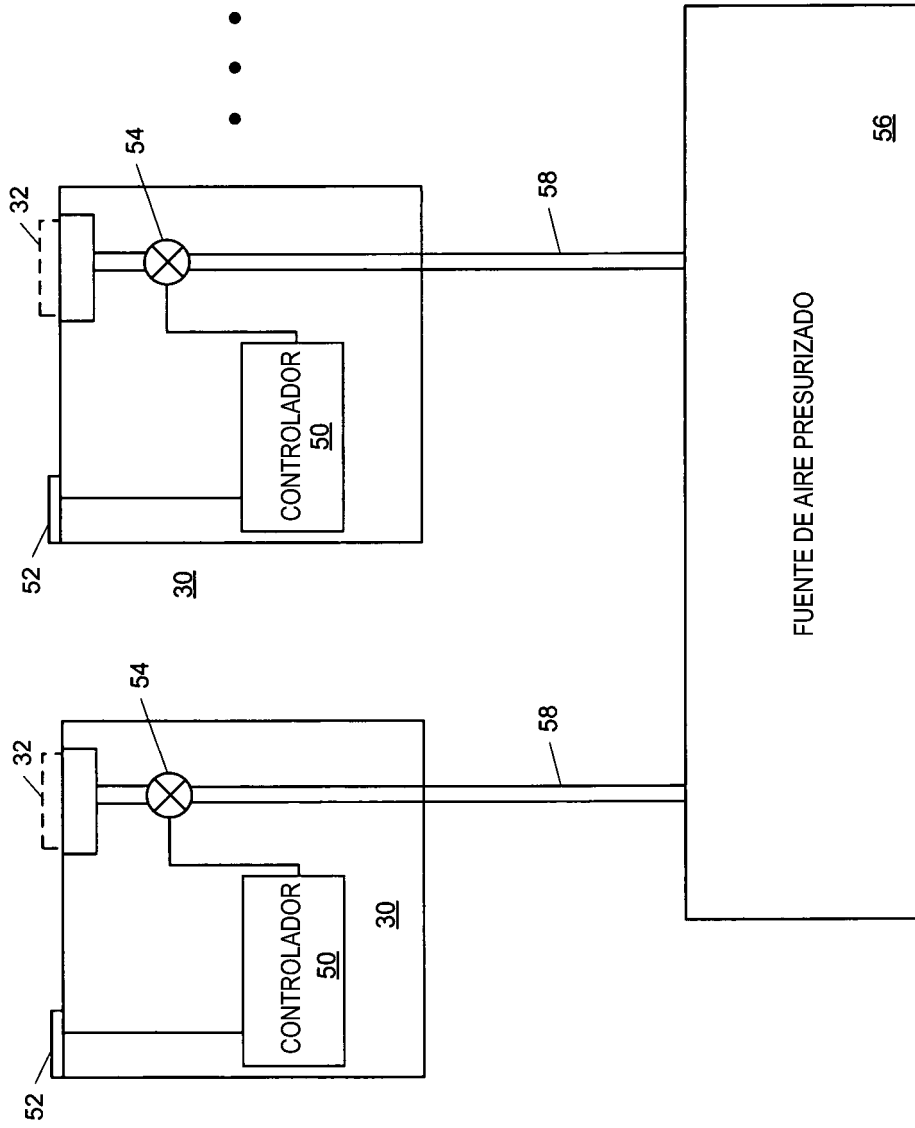


Figura 15

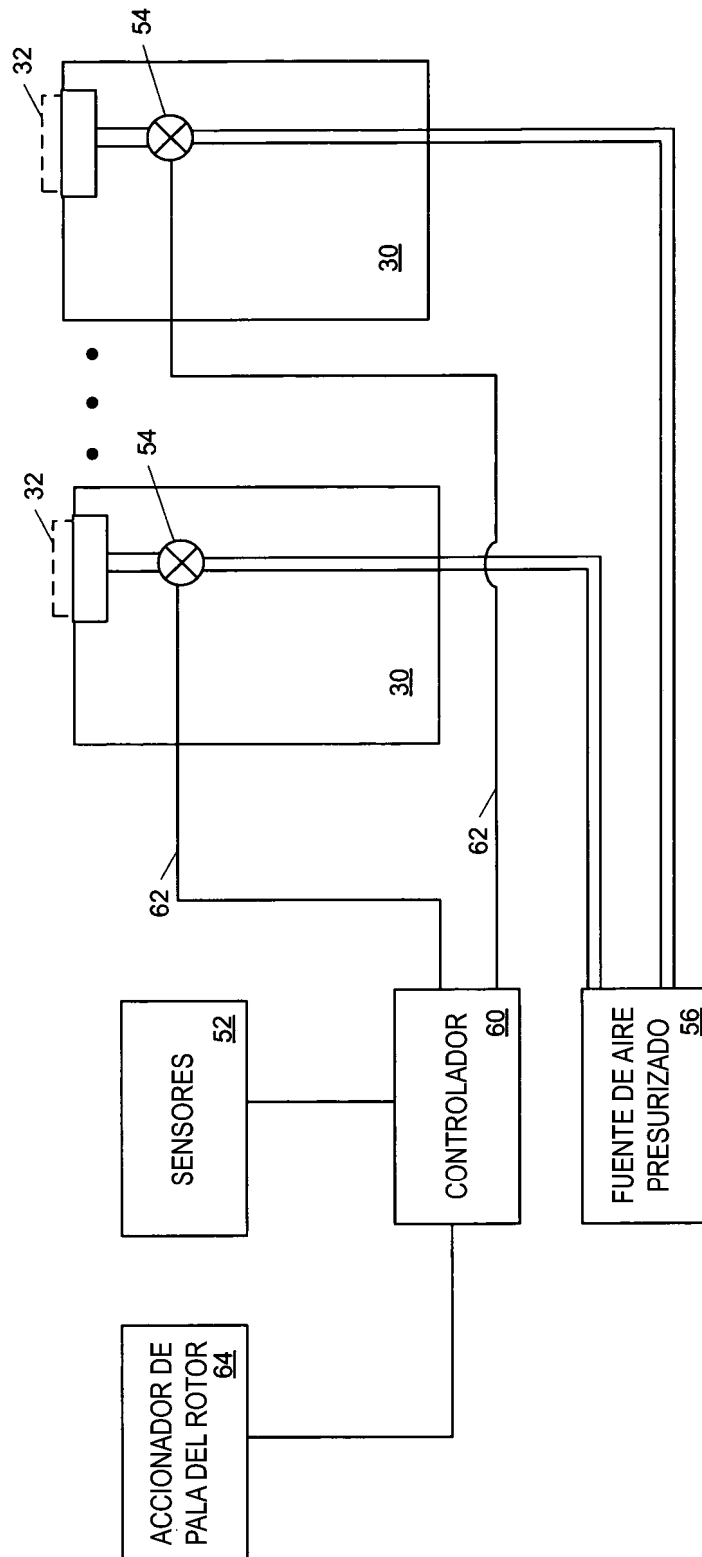


Figura 16

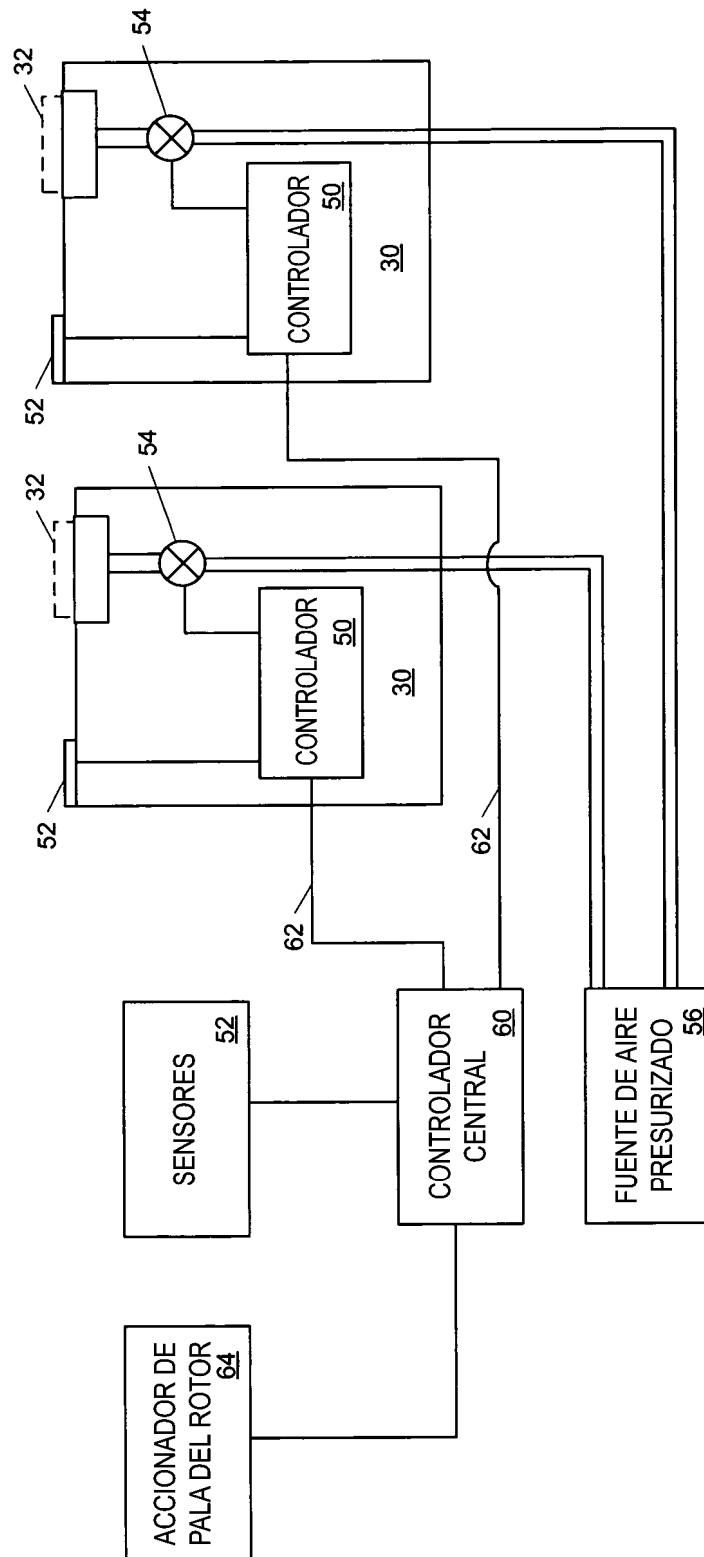


Figura 17

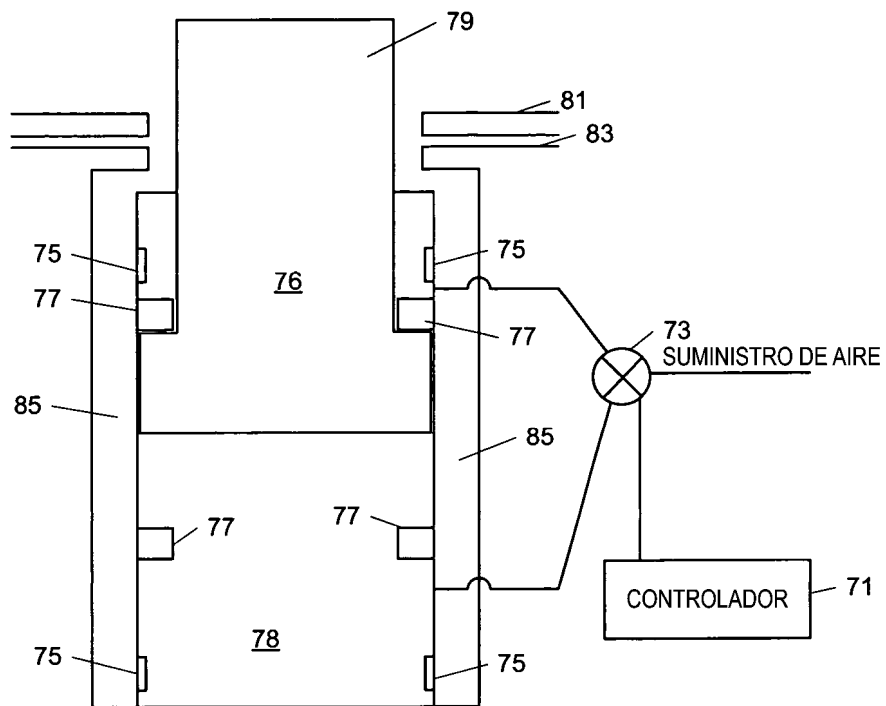


Figura 18a

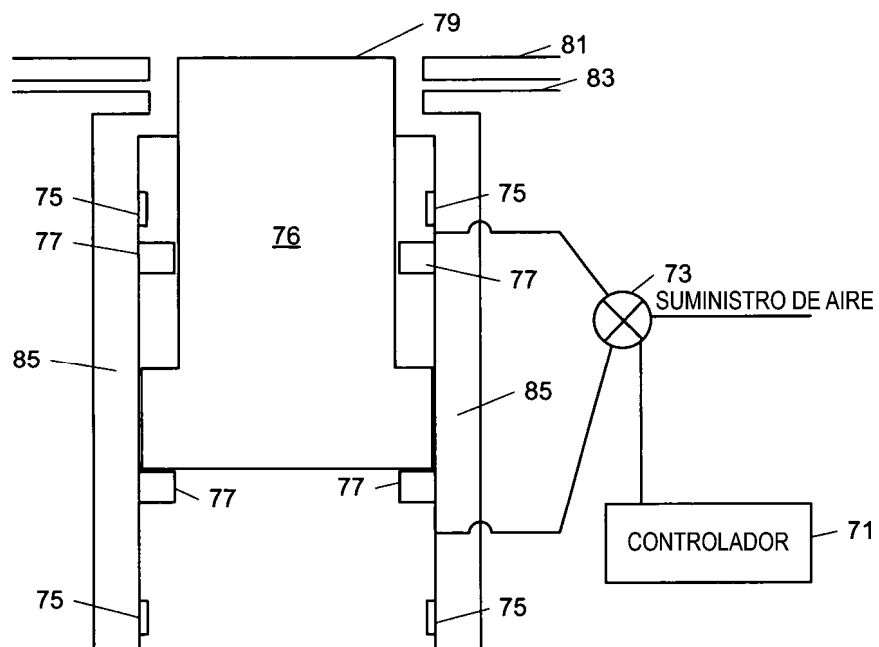


Figura 18b

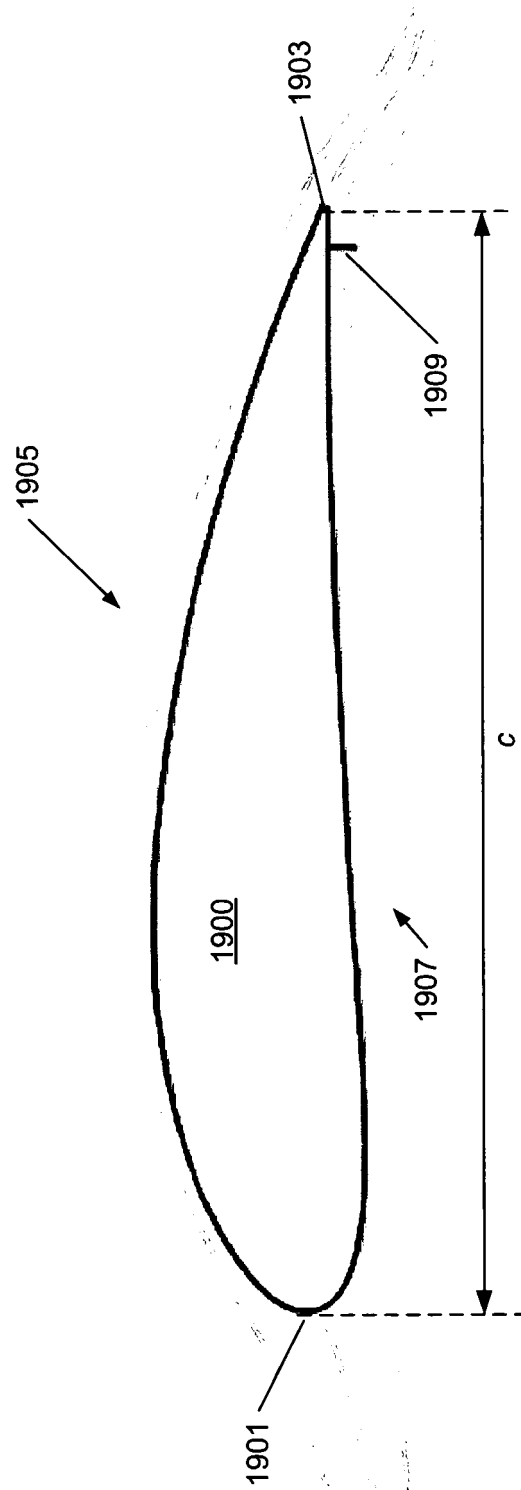


Figura 19

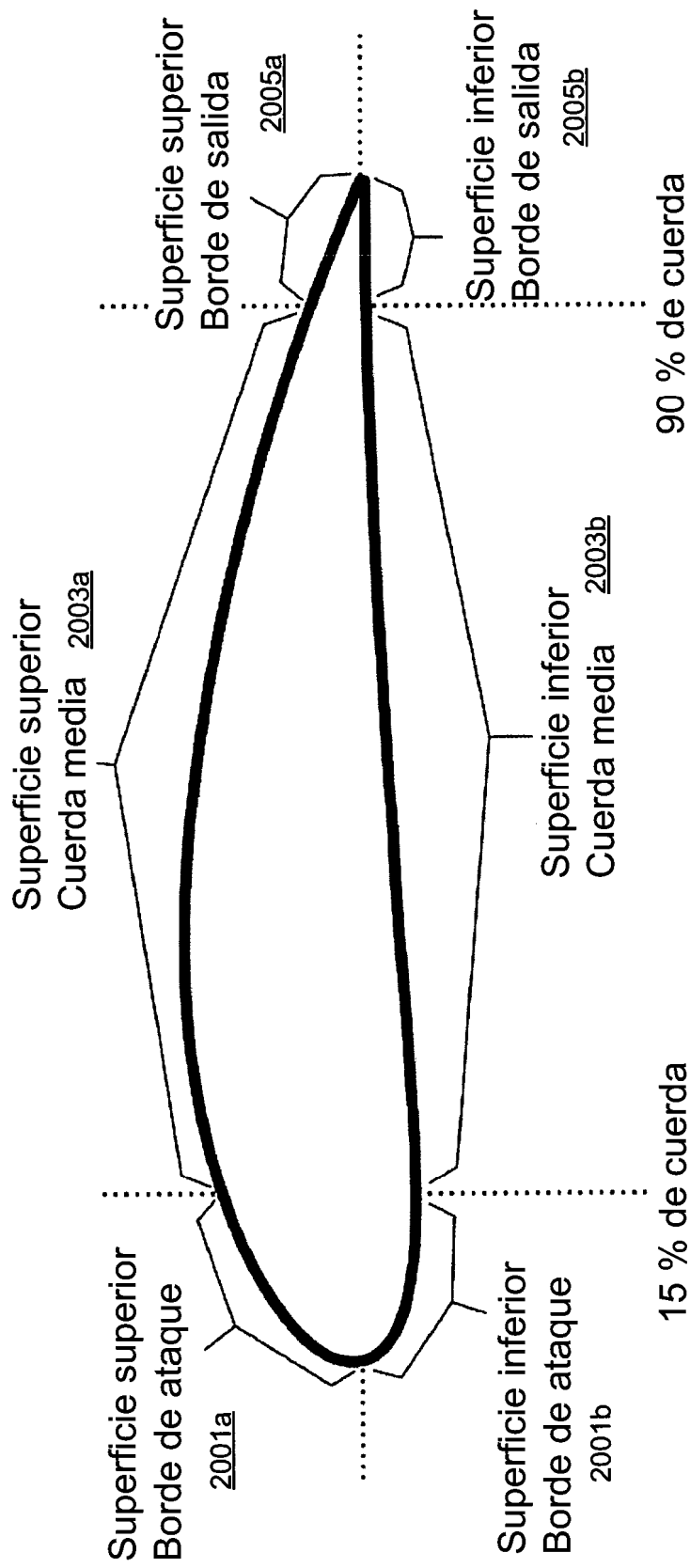


Figura 20

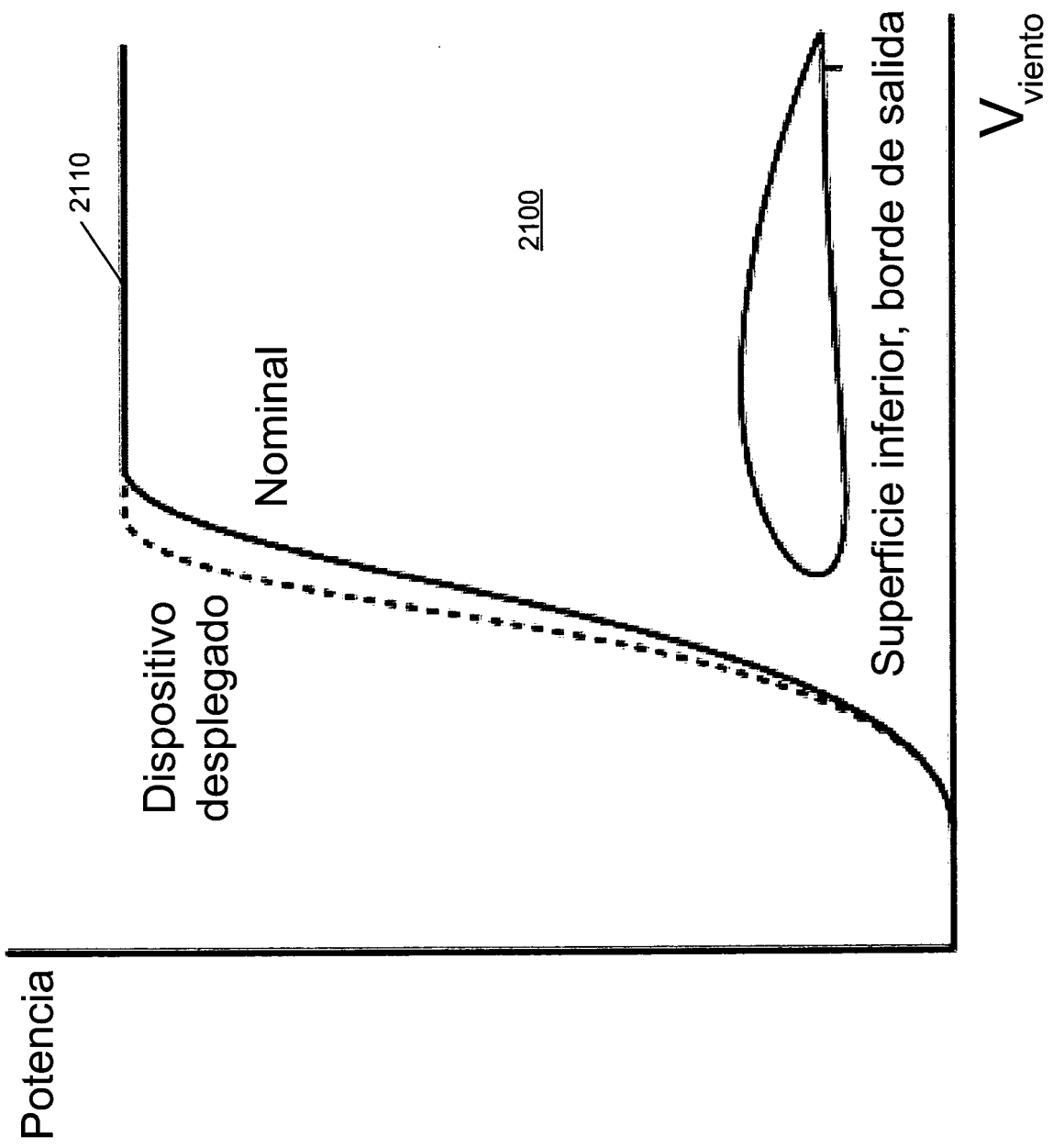


Figura 21

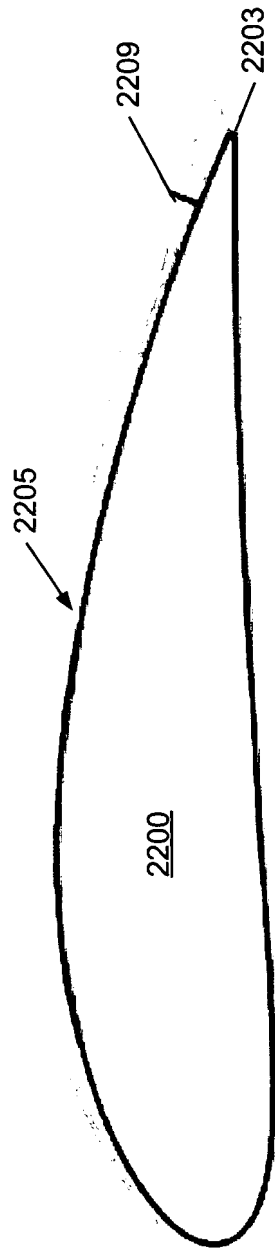


Figura 22

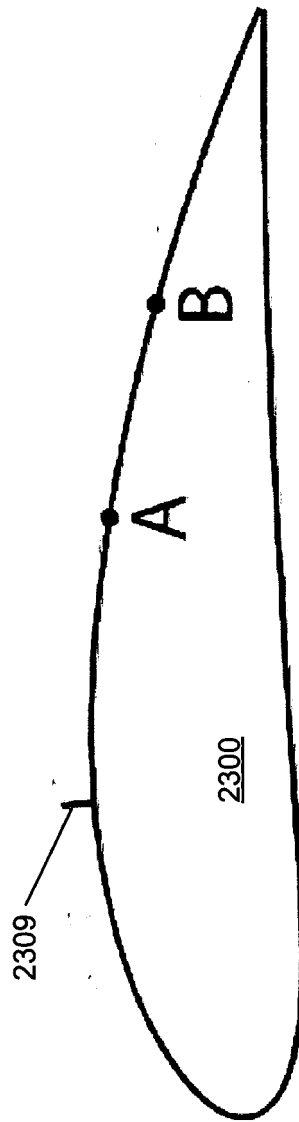


Figura 23

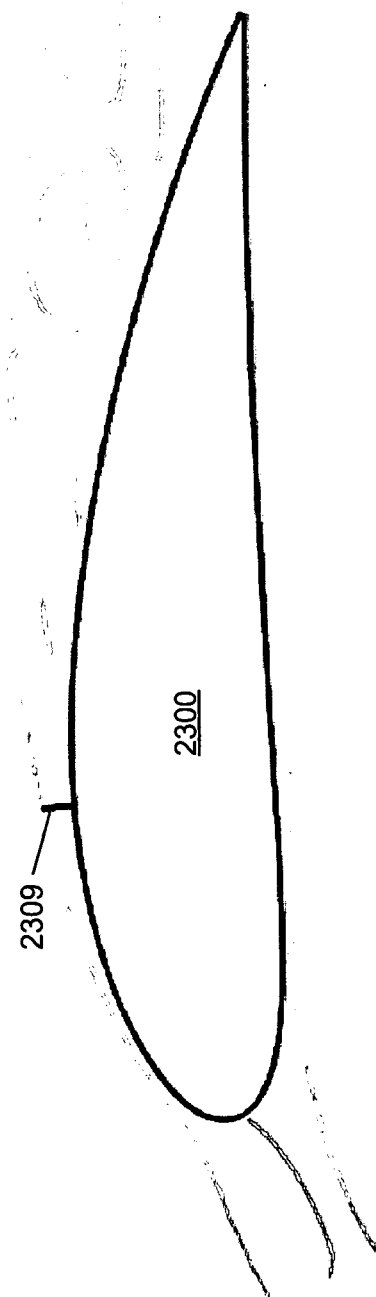


Figura 24

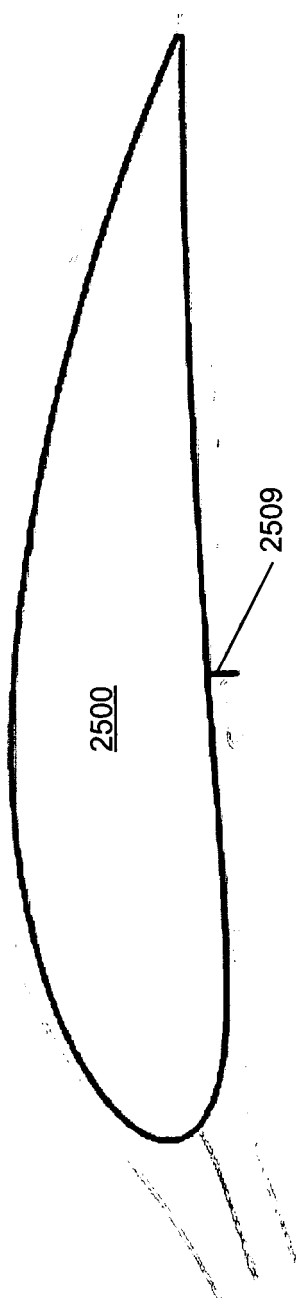


Figura 25

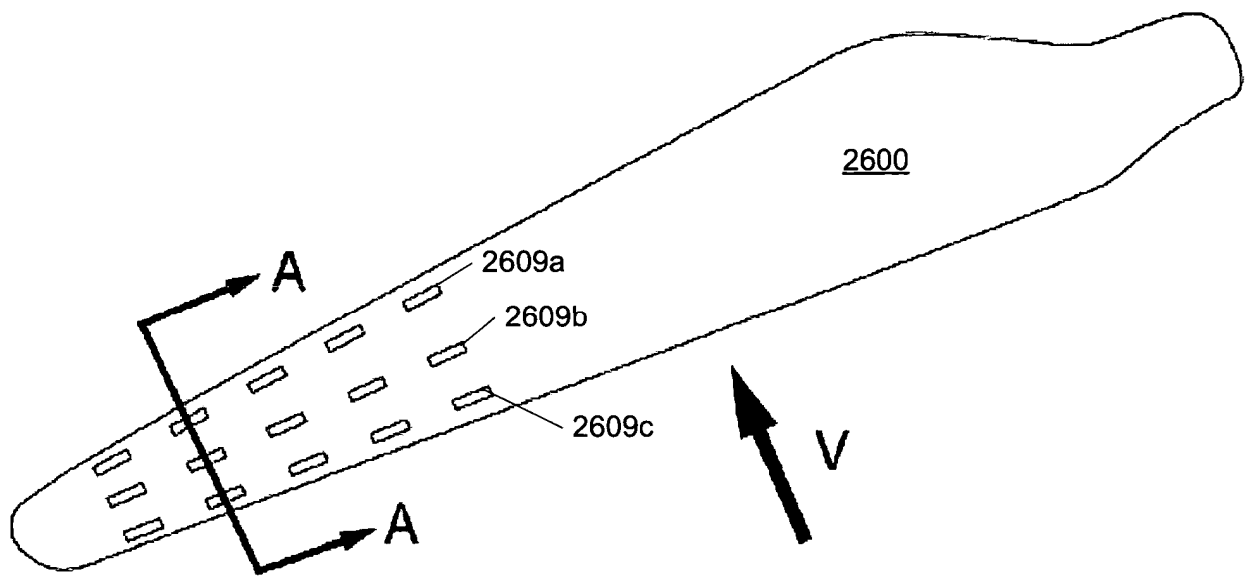


Figura 26

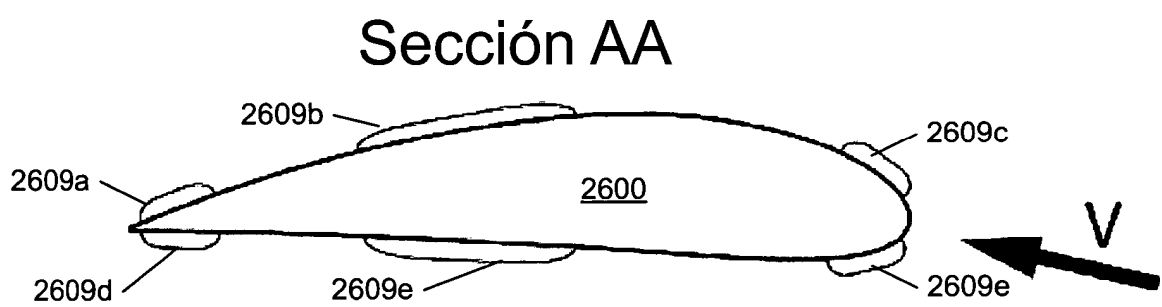


Figura 27

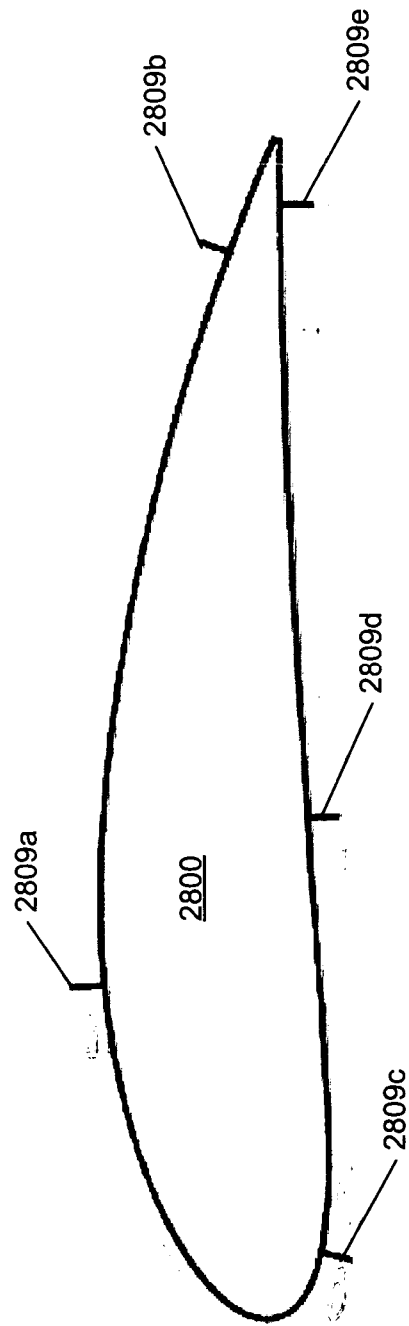


Figura 28

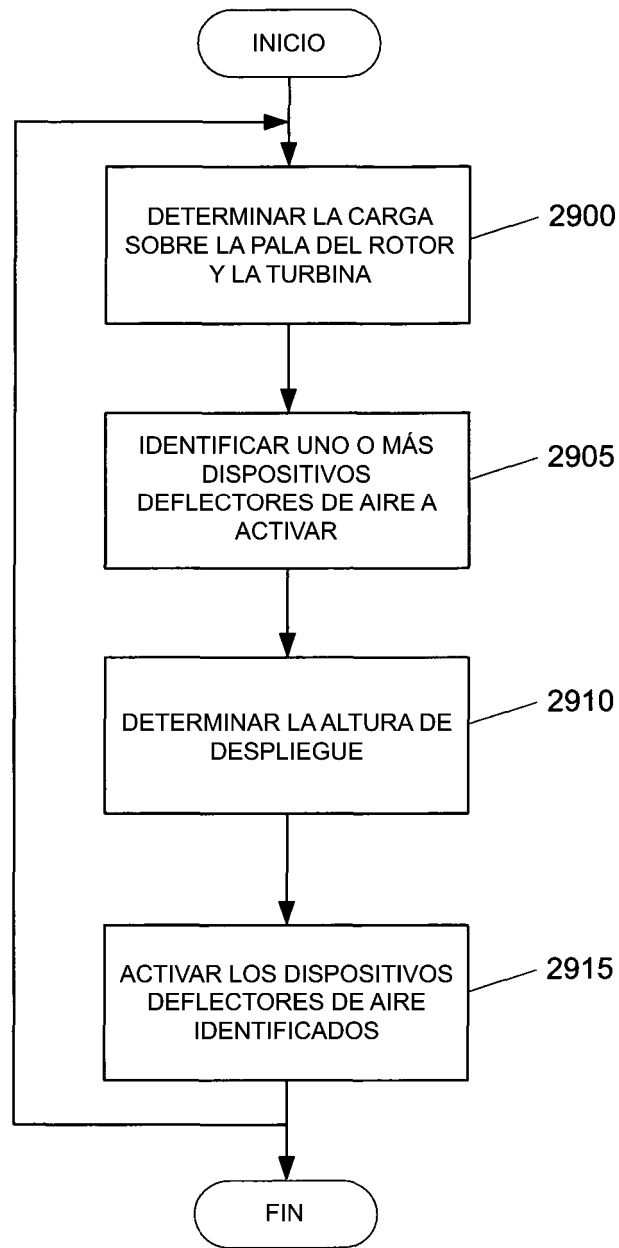


Figura 29

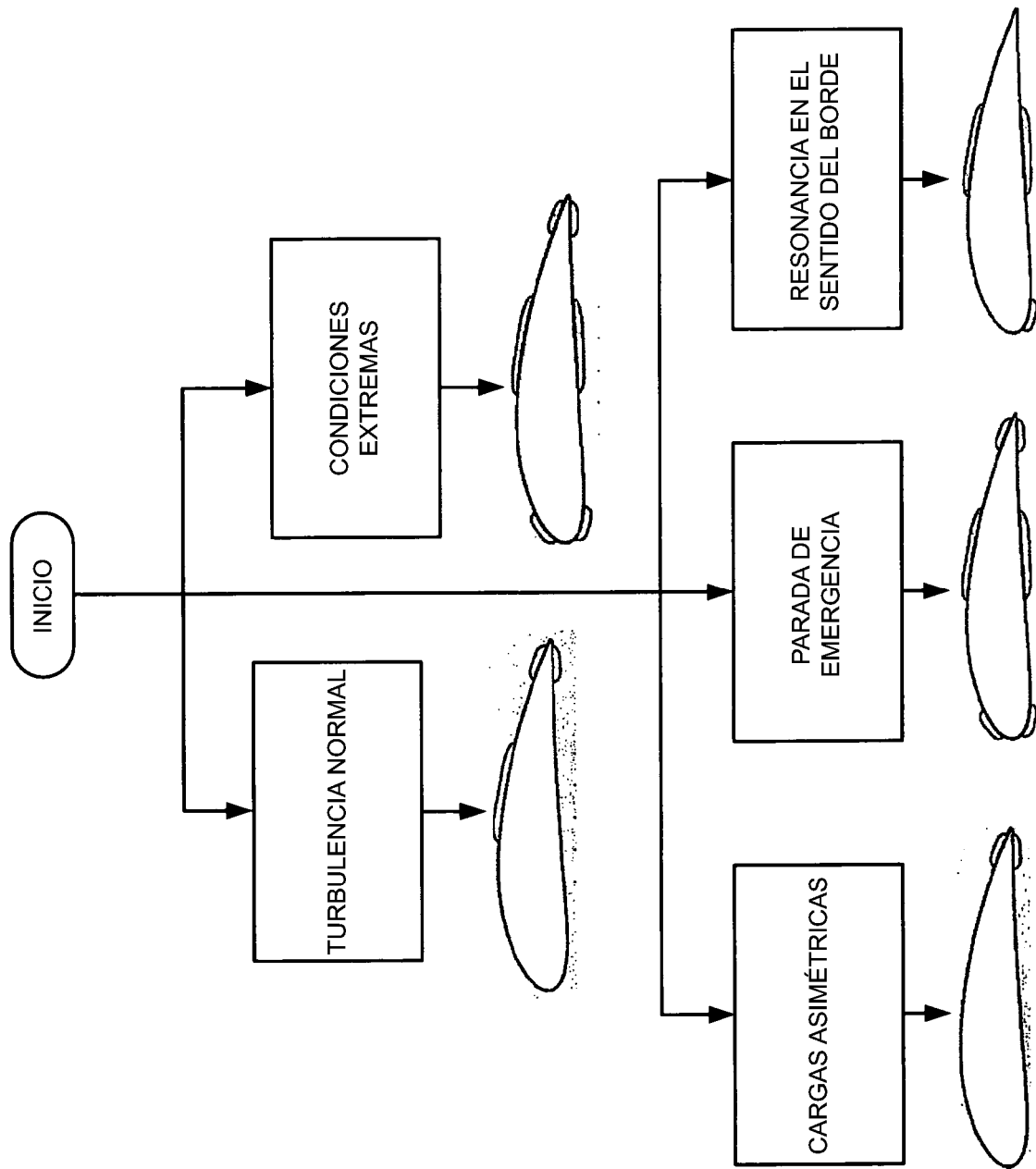


Figura 30

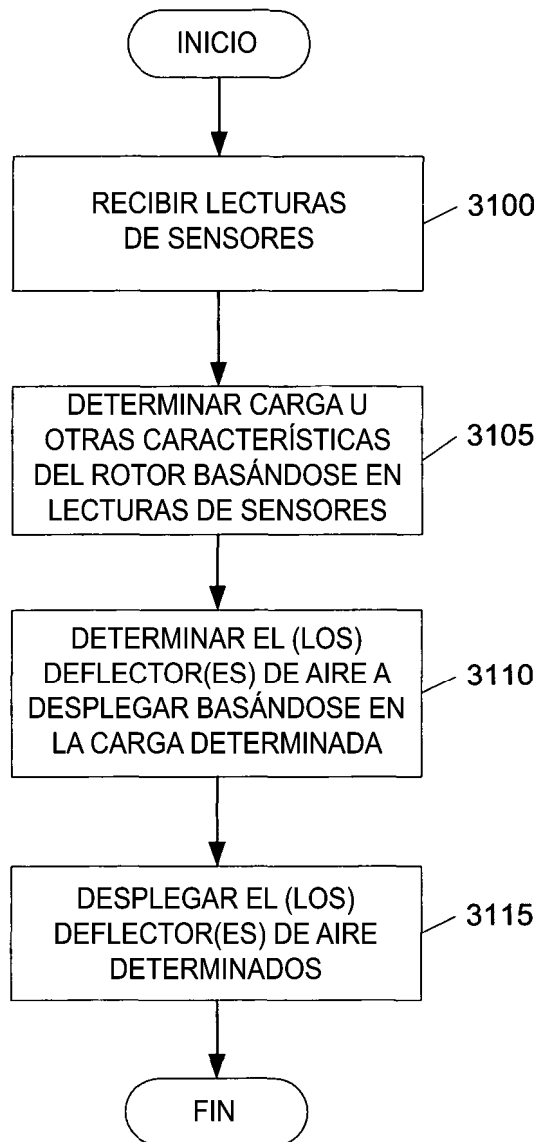
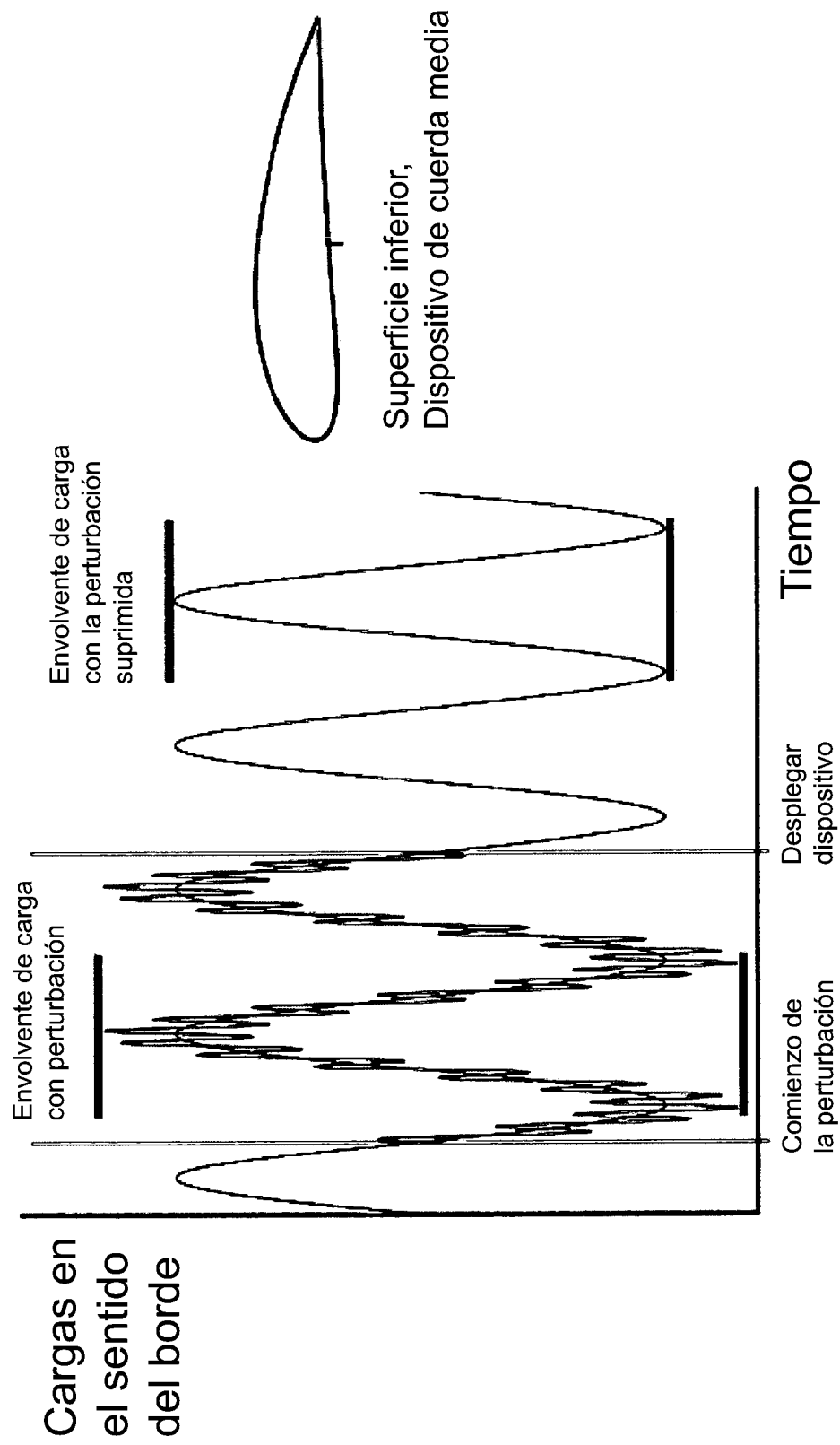
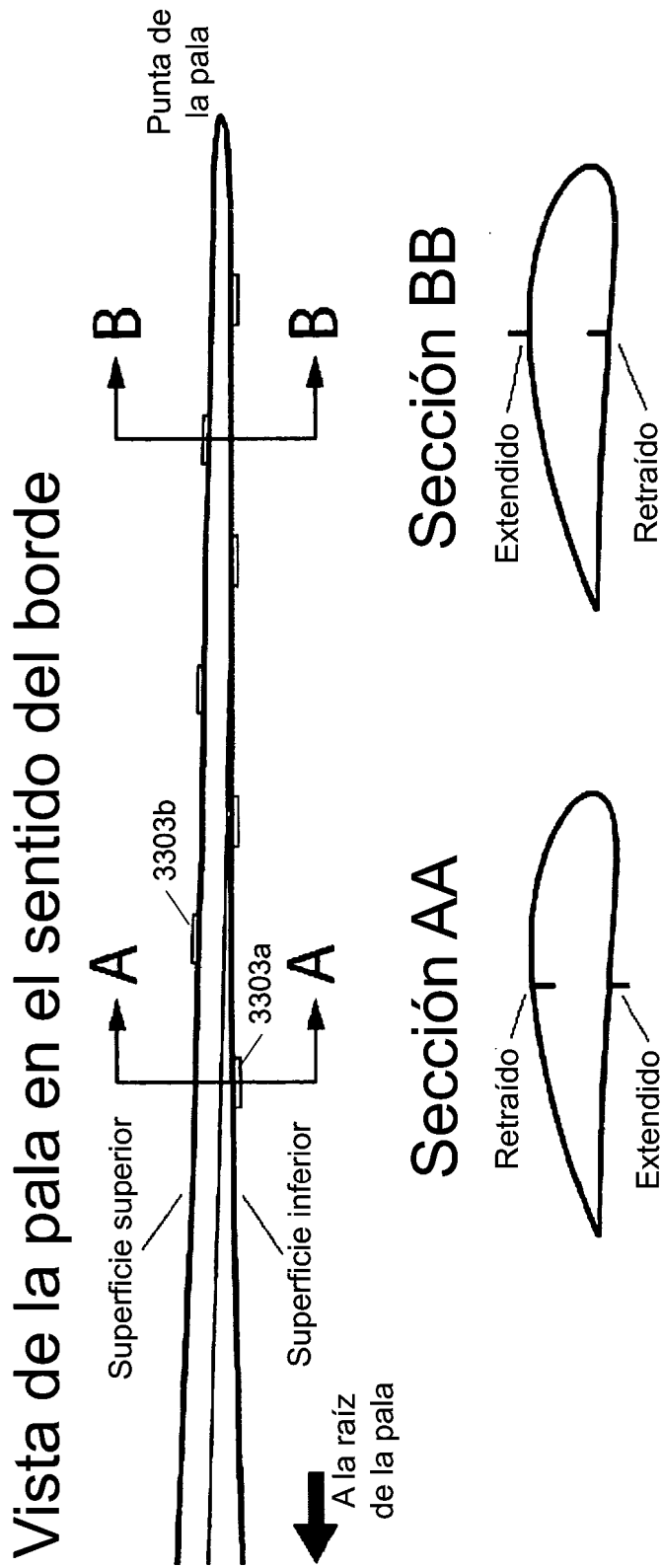


Figura 31



**Figura 32**



**Figura 33**