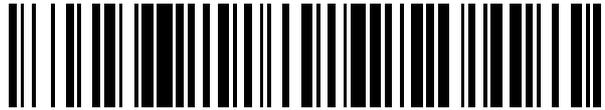


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 433 244**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.05.2010 E 10720916 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2013 EP 2432993**

54 Título: **Turbina eólica y método**

30 Prioridad:

**19.05.2009 DK 200970008**

**19.05.2009 US 179534 P**

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

**10.12.2013**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**Hedeager 44**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**GODSK BALSCHMIDT, KRISTIAN**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 433 244 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 y método

**Campo técnico**

5 La invención se refiere a una turbina eólica que comprende un rotor con al menos una pala, y a un método para controlar el funcionamiento de una turbina eólica. Más específicamente, la invención se refiere a mejoras con respecto a partes de pala auxiliares, tales como listones de borde de ataque y/o flaps de borde de salida para aumentar la sustentación. Turbinas eólicas de este tipo se conocen por ejemplo del documento WO 2007/057021.

**Antecedentes de la invención**

10 Hay un deseo general de que los rotores de turbina eólica produzcan tanta energía como sea posible para una velocidad del viento dada. Sin embargo, la parte interior de una pala de rotor eólico tiene que cumplir restricciones relacionadas a la estructura, la fabricación y el transporte, que contrarrestan las medidas para mejorar la sustentación. Las restricciones estructurales incluyen que el grosor de la pala de turbina eólica debe aumentar hacia una sección de pie de la misma.

15 Las rpm de los rotores de turbina eólica, su potencia de salida y la carga sobre las palas de la turbina eólica se guían comúnmente controlando el paso de las palas, es decir el nivel de giro de las palas hacia el viento. Generalmente, un ángulo de paso decreciente aumenta la carga sobre las palas del rotor de turbina eólica y por tanto la cantidad de energía que puede extraerse del viento a una velocidad del viento dada. Sin embargo, el paso ha de mantenerse dentro de unos límites para evitar entrar en pérdida aerodinámica o una sobrecarga sobre las palas. Para optimizar la potencia de salida, la mayoría de turbinas eólicas modernas están equipadas con sistemas de control de paso para controlar los ángulos de paso de las palas basándose en parámetros medidos o estimados, tales como la potencia de salida.

20 Una preocupación en el diseño de turbinas eólicas es salvaguardar los componentes, que están sujetos a fuerzas y pares de torsión, frente a las sobrecargas que ocurren, por ejemplo, en condiciones de viento extremas, ante la aparición de ráfagas, o en cambios repentinos en la dirección del viento.

**Sumario de la invención**

25 Es un objeto de las realizaciones de la invención proporcionar mejoras a la configuración de las turbinas eólicas y las palas de turbina eólica para aumentar la potencia de salida. Las realizaciones de la invención están interesadas notablemente en aumentar la sustentación en las palas cerca del pie, es decir cerca de la sección de buje de las palas. Más específicamente, es un objeto de las realizaciones de la invención aumentar el área de planta y/o cuerda de las palas de turbina eólica de una manera que evite la colisión entre las palas y la torre, incluso en cuanto a turbinas eólicas de paso controlado. Es un objeto adicional de las realizaciones de la invención facilitar el transporte de las palas. Es un objeto adicional de las realizaciones de la invención proporcionar un control de turbina eólica, que reduce el riesgo de sobrecarga mecánica en cambios extremos repentinos en la dirección del viento.

30 En un primer aspecto, la invención prevé una turbina eólica con un rotor montado sobre una sección de buje, comprendiendo el rotor las características según la reivindicación 1.

35 Gracias a la sección de pala auxiliar, el área de planta de la pala se aumenta para aumentar la sustentación. Para evitar que una parte de pie/buje de la sección de pala principal y/o de la sección de pala auxiliar colisione con la torre durante el funcionamiento de la pala en un estado con paso ajustado, la sección de pala auxiliar se monta preferiblemente por separado del buje, de modo que puede ajustarse el paso independientemente de la pala principal, o se monta de una manera fija de paso no ajustable. Alternativamente, la pala principal a la vez que tiene una cuerda reducida, debido a la(s) sección/secciones de pala auxiliar(es), puede ajustarse su paso independientemente de la(s) sección/secciones de pala auxiliar(es) y evitar la colisión con la torre. También, la cuerda reducida de la pala principal permite un transporte más sencillo, ya que la(s) sección/secciones de pala auxiliar(es) puede(n) transportarse por separado. Por tanto, aunque las palas pueden tener una cuerda relativamente grande en su configuración de uso, es decir cuando están montadas sobre la turbina eólica, pueden tener una cuerda más pequeña en su configuración de transporte, cuando la(s) sección/secciones de pala principal(es) y la(s) sección/secciones de pala auxiliar(es) están separadas y por tanto pueden transportarse por separado.

40 Generalmente, la sección de pala auxiliar se dispone o configura preferiblemente de manera que cualquier plano de sección transversal a través de la pala incluye la cuerda de la sección de pala principal así como la cuerda de la sección de pala auxiliar. En otras palabras, el plano de cuerda de la sección de pala auxiliar es preferiblemente también el plano de cuerda de la sección de pala principal.

45 Cada sección de pala auxiliar se configura y se dispone de manera que forma un listón de borde de ataque o un flap de borde de salida para la sección de pala principal. Por tanto, la sección de pala principal y la sección de pala auxiliar pueden proporcionar un efecto aerodinámico de sinergia, ya que la sección de pala auxiliar en esencia forma

una extensión de la sección de pala principal en su borde de salida y/o ataque. En las realizaciones de la invención, la sección de pala principal comprende una única sección de pala auxiliar en el área del borde de ataque y/o una única sección de pala auxiliar en el área del borde de salida.

5 En una realización, en la que la sección de pala auxiliar se proporciona como borde de salida de paso ajustable, un sistema de control de la turbina eólica puede configurarse para ajustar el paso en el momento de pasar la pala por la torre para garantizar que no ocurra ninguna colisión. Alternativamente, el paso de la sección de pala auxiliar puede limitarse para evitar la colisión con la torre. En aún otra alternativa, como se ha mencionado anteriormente, el borde de salida es fijo respecto al buje de manera que no puede ajustarse el paso.

10 En el presente contexto, el término 'paso' o 'de paso ajustable' incluye la capacidad de una pala o sección de pala para girar con respecto a la sección de buje alrededor de un eje que se extiende transversalmente al eje principal de la turbina eólica en la dirección longitudinal de las palas. El término 'guiñada' o 'ángulo de guiñada' se refiere a la orientación del plano del rotor con respecto al viento que viene en dirección contraria. La guiñada o ángulo de guiñada de la turbina eólica puede controlarse normalmente mediante la rotación de una góndola, que soporta el eje principal, el rotor y otros componentes de accionamiento tales como la caja de engranajes y el generador, en  
15 relación con una torre vertical de la turbina eólica. El término 'ángulo de ataque' se refiere al ángulo entre una línea de referencia en la pala de turbina eólica o una de sus secciones, habitualmente la línea de cuerda de un perfil de plano aerodinámico, y el vector que representa el movimiento relativo entre la pala o sección de pala y el viento que viene en dirección contraria, es decir, el flujo de aire que viene en dirección contraria.

20 El término 'buje' designa un componente estructural, que interconecta las palas de la turbina eólica con el árbol principal. El buje por tanto transmite el par motor de torsión del rotor al árbol de accionamiento de la turbina principal, es decir, al árbol principal. En turbinas eólicas que comprenden palas de paso ajustable, el buje normalmente comprende o aloja también el mecanismo de control de paso para girar las palas o las secciones de pala alrededor de sus ejes longitudinales. El buje puede estar hecho, por ejemplo, de hierro fundido, acero o un material compuesto fuerte capaz de soportar y transmitir el par de torsión del rotor al árbol principal. En la mayoría de turbinas eólicas  
25 modernas, se prevé una cubierta, es decir, un denominado cono de la hélice, para cubrir el buje. El cono de la hélice protege el buje de la lluvia y la suciedad, proporciona una superficie aerodinámica para el viento que fluye pasando por la turbina eólica, y se prevé también por razones estéticas. Sin embargo, el cono de la hélice no es habitualmente un componente transmisor del par de torsión como el buje.

30 El término 'eje principal' debe entenderse como el eje del árbol principal de la turbina eólica, es decir, el eje alrededor del cual gira el rotor durante el funcionamiento de producción de potencia de la turbina eólica. El eje principal está alineado normalmente con la dirección principal del viento, y el plano del rotor normalmente es esencialmente ortogonal al eje principal. El par motor de torsión de las palas se transmite por tanto al árbol principal, que se extiende junto con el eje principal.

35 Se apreciará que la presente invención se interesa en particular en mejoras para el denominado eje horizontal de turbinas eólicas (HAWT) con un árbol principal y un generador eléctrico en lo alto de una torre. El eje principal es esencialmente horizontal, y el plano del rotor es esencialmente vertical, aunque tanto el eje principal como el plano del rotor pueden estar inclinados.

40 La invención del primer aspecto de la invención es de particular interés en o cerca de la sección de pie/buje de la pala. Para radios bajos, la velocidad de flujo a través de la pala es relativamente pequeña en comparación con las velocidades de flujo para radios grandes, y por tanto la sustentación es menor. Para radios mayores, donde las velocidades de flujo son altas, las secciones de pala auxiliares pueden no aumentar necesariamente la sustentación en un grado significativo. Por tanto, cada una de las secciones de pala auxiliares puede extenderse preferiblemente como mucho hasta el 40% del radio del rotor en una dirección longitudinal de las palas, tal como, como mucho, hasta el 30% o como mucho hasta el 20%, previéndose preferiblemente la sección de pala auxiliar más cerca de una  
45 parte de buje/pie de la pala que de una parte de punta de la misma.

En un segundo aspecto, la invención proporciona un método para controlar el funcionamiento de una turbina eólica con un rotor montado sobre una sección de buje, que tiene las características según la reivindicación 14.

50 Durante condiciones normales, es decir durante el funcionamiento de producción de potencia, se ajusta el paso de la sección de pala principal habitualmente a una posición que le confiere sustentación. Durante condiciones anómalas, por ejemplo con velocidades de viento extremas, se ajusta el paso de la sección de pala principal a una posición que no le confiere sustentación, normalmente con un ángulo de paso de 90 grados, es decir, en una posición al ralentí. Cuando se produce un cambio extremo repentino en la dirección del viento, por ejemplo un cambio de dirección del viento cercano a 90 grados, puede conferirse sustentación inevitablemente a la sección de pala principal, ya que el sistema de control de paso y guiñada de la turbina eólica sólo reacciona con un retardo de tiempo de algunas  
55 fracciones de segundo o incluso con un retardo de tiempo de algunos segundos. Tal sustentación puede provocar un par de torsión alrededor de un eje, que no coincide con el eje principal de la turbina eólica, y que por tanto es indeseable. Sin embargo, las palas de turbina eólica y los soportes de pala deben construirse para resistir estructuralmente cargas que aparecen como consecuencia de cambios extremos repentinos en la dirección del viento.

Las realizaciones del segundo aspecto de la invención reducen la sustentación no deseada conferida a las palas de turbina eólica en cambios extremos repentinos en la dirección del viento. Cuando se produce un cambio extremo repentino en la dirección del viento, se confiere sustentación posiblemente a la pala principal pero no necesariamente a la sección de pala auxiliar, que está en un ángulo de ataque respecto al flujo que viene en dirección contraria diferente del de la sección de pala principal. Por tanto, pueden reducirse las cargas no deseadas, que pueden aparecer hasta que el control de paso y/o guiñada de la turbina eólica haya tenido tiempo de reaccionar.

En otras palabras, cuando se produce un cambio extremo repentino en la dirección del viento, puede conferirse sustentación a la sección de pala principal. Como se ha analizado anteriormente, tal sustentación es sumamente indeseable y puede ser perjudicial, ya que proporciona un par de torsión alrededor de un eje que es transversal al eje principal de la turbina eólica. Sin embargo, al mismo tiempo, el cambio de dirección del viento da como resultado un cambio del ángulo de ataque en la sección de pala auxiliar, que da como resultado una pérdida de sustentación en la sección de pala auxiliar. Por tanto, la sustentación perjudicial/indeseable en la pala es menor que si se ajustase el paso de la sección de pala principal y de las secciones de pala auxiliares conjuntamente.

Preferiblemente, el control de guiñada y/o paso de la turbina eólica comprende el cambio en la dirección del viento devolviendo el plano del rotor a una orientación esencialmente ortogonal con respecto a la dirección del viento. Sin embargo, existe un cierto retardo de tiempo antes de que el control de guiñada reaccione, y durante este retardo de tiempo las posiciones de paso individuales de las secciones de pala principal y auxiliar dan como resultado una sustentación reducida y por tanto un par de torsión reducido.

Se apreciará por tanto que el segundo aspecto de la invención pretende controlar transiciones repentinas, en particular cambios repentinos de la dirección del viento que se produce, por ejemplo cuando la turbina eólica está en un funcionamiento al ralentí, en el que el paso de la sección de pala principal está ajustado en un ángulo de aproximadamente 90 grados con respecto al flujo que viene en dirección contraria. Generalmente, el primer ángulo de ataque puede ser por tanto un ángulo de ataque con el que se entra en pérdida aerodinámica. El paso de la sección de pala principal puede estar por tanto ajustado positiva o negativamente, es decir, hacia posiciones en las que o bien el paso del lado de succión o bien el del lado de presión de la sección de pala principal están ajustados hacia el viento, con el viento que viene en dirección contraria golpeando en el lado de presión o succión, respectivamente.

Durante el funcionamiento al ralentí de la turbina eólica, el primer ángulo de ataque de la sección de pala principal puede establecerse de modo que no se confiere esencialmente ninguna sustentación a la sección de pala principal. Se desea el funcionamiento al ralentí normalmente cuando no debe producirse potencia, por ejemplo durante el mantenimiento, o durante condiciones de viento extremas, tal como durante tormentas o huracanes.

El segundo ángulo de ataque de la sección de pala auxiliar puede proporcionar una sustentación aerodinámica a la sección de pala auxiliar, incluso cuando no se desea sustentación en la sección de pala principal, por ejemplo durante ralentí o períodos de parada. Tal sustentación aerodinámica en la sección de pala auxiliar puede ser aceptable durante el ralentí, porque sólo proporciona una carga de par motor de torsión alrededor del eje principal de la turbina eólica. El beneficio de tal configuración es que no se confiere sustentación o sólo se confiere sustentación reducida a la sección de pala auxiliar, cuando se produce un cambio extremo repentino en la dirección del viento, que provoca sustentación no deseada en la sección de pala principal. Por tanto una sustentación innecesaria en la sección de pala auxiliar que se produce durante el ralentí puede aceptarse porque tal sustentación da como resultado un par motor de torsión alrededor del eje principal de la turbina eólica, que las palas y sus soportes están dimensionados para soportar, y que por tanto es inofensivo en sentido estructural. El inconveniente operacional de una sustentación innecesaria en la sección de pala auxiliar que se produce durante el ralentí puede aceptarse, ya que la turbina eólica puede detenerse de manera relativamente fácil mediante un freno mecánico. El giro del rotor a baja velocidad debido a la sustentación en la sección de pala auxiliar puede aceptarse incluso durante el funcionamiento de no producción de potencia. Además, la sección de pala auxiliar puede disponerse, en caso de que esté prevista en forma de un flap de borde de salida, normalmente al menos parcialmente a sotavento de la sección de pala principal, y por consiguiente la sustentación innecesaria o no deseada conferida por la sección de pala auxiliar en la posición al ralentí puede ser despreciable.

En otras realizaciones, el segundo ángulo de ataque de la sección de pala auxiliar no proporciona esencialmente ninguna sustentación aerodinámica a la sección de pala auxiliar cuando la sección de pala principal está en el primer ángulo de ataque, por ejemplo durante el ralentí. Por consiguiente el paso de la sección de pala auxiliar puede controlarse, de modo que se garantice entrar en pérdida durante el ralentí, es decir la sección de pala auxiliar no proporciona ninguna sustentación durante el funcionamiento al ralentí. Sin embargo, el paso de la sección de pala auxiliar puede ser tal que, cuando se produce un cambio extremo repentino en la dirección del viento, no se proporcione sustentación o se proporcione sólo de manera muy limitada por la sección de pala auxiliar.

Se apreciará por tanto que, generalmente, los ángulos de ataque primero y segundo pueden establecerse de manera que un cambio extremo repentino en la dirección del viento aumente la sustentación aerodinámica en una de las secciones de pala y reduzca la sustentación aerodinámica en otra de las secciones de pala.

La sección de pala auxiliar puede ser de paso ajustable, en cuyo caso la etapa de disponer la sección de pala

auxiliar con un segundo ángulo de ataque con respecto al viento que viene en dirección contraria puede comprender la etapa de ajustar el paso de la segunda sección de pala. En realizaciones alternativas, la sección de pala auxiliar es fija respecto a la sección de buje de manera que no puede ajustarse el paso.

5 Para beneficiarse de la sección de pala auxiliar a carga parcial de la turbina eólica, y para proteger la sección de pala auxiliar de una carga alta durante el funcionamiento a carga nominal, la turbina eólica puede operar según un esquema de control de carga parcial a velocidades del viento que viene en dirección contraria a las que no es alcanzable la potencia nominal de salida de la turbina eólica, y la turbina eólica puede operar según un esquema de control nominal a velocidades del viento que viene en dirección contraria a las que es alcanzable la potencia nominal de salida de la turbina eólica. En condiciones de carga parcial, puede ajustarse el paso de la sección de pala auxiliar para proporcionar una sustentación aerodinámica, mientras que en condiciones de carga nominal puede ajustarse el paso de la sección de pala auxiliar a una posición que no genere sustentación, o al menos a una posición en la que la sustentación conferida por la sección de pala auxiliar y por tanto la carga aerodinámica en la misma es despreciable. Por tanto, la eficiencia de la turbina eólica puede mejorarse mediante la sección de pala auxiliar a carga parcial, y aun así la sección de pala auxiliar puede protegerse de altas cargas aerodinámicas a velocidades mayores, es decir, en funcionamiento a potencia nominal.

La experiencia ha demostrado que las ráfagas pueden ser particularmente perjudiciales, si se producen en la transición de la curva de potencia de salida de carga parcial a nominal. Por tanto, ventajosamente la sección de pala auxiliar puede protegerse adicionalmente ajustando su paso a la posición que no genera sustentación a velocidades de viento que exceden más del 90% o el 95% de la velocidad del viento a la que es alcanzable la potencia nominal de salida, es decir a velocidades de viento de alrededor del 5-10% por debajo de la transición de carga parcial a carga nominal.

En el presente contexto, la potencia nominal de salida puede entenderse como la potencia de salida deseada máxima de una turbina eólica dada, es decir, un nivel de potencia de salida que normalmente no se excede, incluso aunque la velocidad del viento hiciese posible una mayor potencia de salida. Por tanto, una vez que la velocidad del viento es suficientemente alta para alcanzar la potencia nominal de salida, la turbina eólica se controla, por ejemplo, mediante ajuste de las palas, para limitar la potencia de salida. A carga parcial, las velocidades del viento no son suficientes para alcanzar la potencia nominal de salida.

El listón de borde de ataque puede desplegarse para permitir que la pala opere con un mayor ángulo de ataque y por tanto aumente la sustentación, que es de particular interés en o cerca de la sección de pie/buje de la pala, es decir, a bajos radios donde la velocidad de flujo es relativamente pequeña. El listón de borde de ataque se dispone o configura preferiblemente de manera que cualquier plano de sección transversal a través de la pala incluye la cuerda de la sección de pala principal así como la cuerda del listón de borde de ataque. El plano de cuerda del listón de borde de ataque es también por consiguiente preferiblemente el plano de cuerda de la sección de pala principal. El listón de borde de ataque puede ser de paso ajustable o de paso no ajustable. Con respecto al listón de borde de ataque, el riesgo de colisión con la torre normalmente no preocupa, y por tanto el listón de borde de ataque puede preverse para ajustarse su paso con la sección de pala principal. Sin embargo, en otras realizaciones, el listón puede ser de paso ajustable independientemente de la sección de pala principal o montarse en el buje de una manera fija de paso no ajustable. En las realizaciones en la que el paso del listón va a ajustarse con la sección de pala principal en todas las condiciones operacionales, o con respecto a turbinas eólicas de paso ajustable con entrada en pérdida controlada, el listón puede montarse en la sección de pala principal, por ejemplo mediante soportes fijos.

La invención también proporciona una turbina eólica con un rotor que comprende una pluralidad de palas, de las que al menos una, preferiblemente todas, es una pala según el tercer aspecto de la invención.

La siguiente descripción se aplica a todos los aspectos de la invención.

45 Las secciones de pala auxiliares, es decir, los listones de borde de ataque y/o los flaps de borde de salida pueden montarse en el buje o en la sección de pala principal mediante soportes fijos. En realizaciones alternativas, pueden ser móviles, por ejemplo, de paso ajustable y/o móviles en la dirección de la cuerda, de modo que pueden retraerse en ciertas condiciones de campo de flujo, tales como por ejemplo altas velocidades del viento.

El efecto alcanzado por los listones y flaps cuando se despliegan es que se permite a las palas operar a mayores ángulos de ataque y aumentar la sustentación, ya que se reduce la velocidad de pérdida. Los listones de borde de ataque y/o los flaps de borde de salida pueden preverse como listones o flaps ranurados, respectivamente. Esto aporta el beneficio adicional de que el aire del lado de presión puede fluir a través de la ranura y se retarda la separación del flujo en el lado de succión. Por tanto, en el caso de listones de borde de ataque, puede disponerse un borde de salida del listón de borde de ataque a una distancia de un borde de ataque de la sección de pala principal, de manera que se proporciona por tanto un paso de flujo desde un lado de presión del listón de borde de ataque a un lado de succión de la sección de pala principal. En el caso de flaps de borde de salida, puede disponerse un borde de ataque del flap de borde de salida a una distancia de un borde de salida de la sección de pala principal, de manera que se proporciona por tanto un paso de flujo desde un lado de presión de la pala principal a un lado de succión del flap de borde de salida. El paso de flujo entre la sección de pala principal y el flap de borde de salida y/o

el listón de borde de ataque puede influir positivamente en la aerodinámica de la pala. Específicamente, el paso de flujo permite que se transmita energía desde el lado de presión del listón de borde de ataque al lado de succión de la sección de pala principal, y/o desde el lado de presión de la sección de pala principal al lado de succión del flap de borde de salida. De ese modo, la separación de flujo, es decir, la entrada en pérdida aerodinámica en la sección de pala principal y/o del flap de borde de salida, respectivamente, puede evitarse con un determinado ángulo de ataque con el que de lo contrario se entraría en pérdida. Por tanto, el paso de flujo permite que las secciones de pala operen a ángulos de ataque ligeramente mayores que si no estuviesen presentes tales pasos de flujo.

La previsión de una sección de pala auxiliar, es decir, un listón de borde de ataque y/o un flap de borde de salida cerca del pie de la pala, es decir, cerca del buje, puede proporcionar sustentación aerodinámica adicional a la parte interior de la pala. Debido al hecho de que normalmente se desea dotar a la parte más interior de la sección de pala principal, es decir, la parte que se conecta con el buje, de una sección transversal circular, la parte de pie de la sección de pala principal normalmente proporciona una transición gradual desde una forma de perfil de plano aerodinámico que genera sustentación cuando se observa en sección transversal a una sección transversal circular. Esta transición compromete la sustentación aerodinámica. La sección de pala auxiliar puede conferir, sin embargo, sustentación a la pala cerca del buje para aumentar de ese modo la eficiencia de la turbina eólica para compensar al menos parcialmente la pérdida de sustentación conferida por la transición mencionada anteriormente.

El número de listones de borde de ataque y/o de flaps de borde de salida (secciones de pala auxiliares) puede seleccionarse de manera que cada una de las palas principales tenga un y sólo un listón de borde de ataque y/o un y sólo un flap de borde de salida. En otras realizaciones, el número de flaps de borde de ataque y/o flaps de borde de salida (secciones de pala auxiliares) puede seleccionarse de manera que cada una de las palas principales tenga una pluralidad de listones de borde de ataque y/o una pluralidad de flaps de borde de salida. Por ejemplo, pueden preverse diversos listones o flaps en varios radios a lo largo de la longitud de la sección de pala principal.

Una cuerda del listón de borde de ataque y/o del flap de borde de salida puede extenderse esencialmente a continuación de una línea de cuerda de la sección de pala principal. Sin embargo, para mejorar los beneficios aerodinámicos de los listones y/o los flaps, puede desplazarse verticalmente una línea de cuerda de cada uno de los listones de borde de ataque y/o los flaps de borde de salida con respecto a una línea de cuerda de las respectivas secciones de pala principales, cuando se observa en sección transversal perpendicular a un eje longitudinal de la sección de pala principal.

Con el fin de retardar la separación de flujo y/o aumentar la sustentación, pueden preverse generadores de vórtices en el lado de succión de la sección de pala principal, o de los listones de borde de ataque y/o flaps de borde de salida (secciones de pala auxiliares).

Las secciones de pala principales pueden tener un borde de salida como a lo largo de al menos una parte de su longitud, por ejemplo en radios bajos en el área de los flaps de borde de salida. El grosor del borde de salida como es preferiblemente al menos el 1% de la cuerda de la sección de pala principal, tal como al menos el 2% o al menos el 5%. El borde de salida como puede preverse preferiblemente en radios de la pala, que tienen una razón grosor a cuerda de al menos el 30%, tal como al menos el 32%, al menos el 35%, al menos el 37%, al menos el 40% o al menos el 45%.

Los listones de borde de ataque y/o los flaps de borde de salida (secciones de pala auxiliares) están destinados principalmente para partes de radios bajos de las palas, en las que el grosor de las palas es relativamente alto, y donde los listones de borde de ataque y los flaps de borde de salida han demostrado tener la influencia más significativa en la sustentación aerodinámica. Por tanto, en diversas realizaciones de la invención, los listones de borde de ataque y los flaps de borde de salida (secciones de pala auxiliares) se prevén sólo en una parte de las palas principales, que tiene una razón grosor a cuerda de al menos el 30%, tal como al menos el 32%, al menos el 35%, al menos el 37%, al menos el 40% o al menos el 45%.

Del sumario anterior de la invención, se apreciará que la invención generalmente prevé una turbina eólica con un rotor montado sobre una sección de buje, en la que el rotor y la sección de buje pueden girar alrededor de un eje principal de la turbina eólica, y en la que el rotor comprende una pluralidad de palas comprendiendo cada una:

- una sección de pala principal;

- una sección de pala auxiliar montada en la sección de buje y dispuesta para accionarse junto con la sección de pala principal;

en la que la sección de pala auxiliar en una dirección de rotación del rotor se dispone por delante de un borde de ataque y/o por detrás de un borde de salida de la pala principal, de manera que cada pala está dotado de ese modo de un listón de borde de ataque y/o un flap de borde de salida formado por la sección de pala auxiliar para aumentar el área de planta de la pala y aumentar la sustentación aerodinámica.

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

A continuación se describirán adicionalmente realizaciones de la invención con referencia a los dibujos, en los que:

la figura 1 muestra una vista lateral de una turbina eólica según los aspectos primero y tercero de la invención, que incluye una pala con dos secciones de pala auxiliares;

la figura 2 es una vista en sección transversal de la pala de la figura 1;

5 la figura 3 es una vista en sección transversal de una configuración de pala alternativa que incluye un flap de borde de salida desplazado lateralmente;

las figuras 4 y 5 ilustran una turbina eólica con palas de paso ajustable;

las figuras 6a - 6c ilustran una turbina eólica según el primer aspecto de la invención, que incluye un flap de borde de salida;

la figura 7 ilustra una vista en sección transversal de un flap de borde de salida ranurado;

10 las figuras 8 y 9 ilustran vistas en sección transversal y lateral, respectivamente, de una pala que opera según el segundo aspecto de la invención.

### Descripción detallada de los dibujos

La figura 1 muestra una vista lateral de una turbina eólica según el primer aspecto de la invención, que incluye una pala 100 con una sección de pala principal 102 unida a un buje 104, y dos secciones de pala auxiliares 106 y 108. La sección de pala auxiliar 106 es un flap de borde de salida en la sección de pie/buje de la pala, y la sección de pala auxiliar 108 es un listón de borde de ataque. El listón de borde de ataque 108 se muestra en líneas punteadas. Tal como se muestra en la figura 2, el flap de borde de salida 106 y el listón de borde de ataque 108 pueden preverse como flaps y listones ranurados, respectivamente, con huecos 110 y 112 entre el borde de salida de la sección de pala principal 102 y el borde de ataque del flap de borde de salida 106, y entre el borde de salida del listón de borde de ataque 108 y el borde de ataque de la sección de pala principal 102. Como se muestra, la sección de pala principal 102 puede tener un borde de salida como mirando hacia el hueco 110. La figura 3 muestra una realización en la que el flap de borde de salida está desplazado una distancia lateral (distancia vertical en la vista en sección transversal de la figura 3). Igualmente, el listón de borde de ataque puede estar desplazado verticalmente con respecto a la sección de pala principal (no mostrada).

25 En la figura 1, el listón de borde de ataque 108 está unido al buje 104. Sin embargo puede estar unido a la sección de pala principal 102 sin conexión directa con el buje 104.

Ha de entenderse que la posición vertical y horizontal del flap 106 con respecto a la pala principal 102 cuando se observa en sección transversal puede variar a lo largo de la longitud de la pala. Por tanto, por ejemplo, en un radio, el flap 106 puede disponerse como se muestra en la figura 2, mientras que en un radio diferente puede disponerse como se muestra en la figura 3.

Las figuras 4 y 5 ilustran una turbina eólica 200 con palas de paso ajustable. La turbina eólica comprende una góndola 202 que incluye el tren de transmisión de la turbina eólica y un convertidor de potencia, por ejemplo un generador. En la figura 4, la pala está dotada de aproximadamente un paso nulo, y no existe riesgo de que la pala colisione con la torre 202. En la figura 5, sin embargo, el paso de la pala está ajustado a 90 grados y, tal como se muestra, las partes de la pala que tienen una gran cuerda, es decir, las partes de pala próximas al pie/buje de la pala, pueden colisionar con la torre 204. Sin embargo, si las partes de la pala de gran cuerda se dotan, tal como se muestra en la figura 1, de una sección de pala principal 102 y un flap de borde de salida 106, el flap de borde de salida 106 puede controlarse de manera que evite la colisión con la torre. Por ejemplo, el flap de borde de salida 106 puede fijarse al buje de manera que no pueda ajustarse el paso, o puede controlarse el paso del flap de borde de salida 106 independientemente del control del paso de la sección de pala principal 102.

Las figuras 6a - 6c son ilustraciones de una turbina eólica según el primer aspecto de la invención, que incluye la sección de pala principal 102 y un flap de borde de salida 106 ranurado. El buje está cubierto por un cono de la hélice 105, y el flap de borde de salida 106 está montado, de manera fija, de paso no ajustable, en el buje 104. La figura 7 ilustra una vista en sección transversal de un flap de borde de salida 106 ranurado.

45 Las figuras 8 y 9 ilustran vistas en sección transversal y lateral, respectivamente, de una pala que opera según el segundo aspecto de la invención. En las figuras 8 y 9, el paso de la sección de pala principal 102 está ajustado a aproximadamente 90 grados con respecto a las secciones de pala auxiliares, es decir, con respecto al flap de borde de salida 106 y el listón de borde de ataque 108. La figura 8 sólo muestra la posición con paso ajustado de la sección de pala principal 102, mientras que la figura 9 muestra la posición con paso ajustado a 90 grados de la sección de pala principal 102 en líneas punteadas y una posición operativa de la sección de pala principal 102 en línea continua. La posición operativa debe entenderse que es una posición de paso, en la que el ángulo de ataque es tal que se confiere sustentación a la sección de pala principal para dar como resultado un par motor de torsión alrededor de eje principal de la turbina eólica.

Cuando la sección de pala principal 102 está en su posición de paso ajustado, tal como se muestra en líneas

punteadas en la figura 9, y la sección de pala auxiliar 106 se mantiene en su orientación mostrada en la figura 9, la sección de pala principal forma un primer ángulo de ataque con respecto al viento que viene en dirección contraria 300 de aproximadamente 90 grados, y la sección de pala auxiliar 106 forma un ángulo de ataque de aproximadamente 10 grados en el ejemplo mostrado.

- 5 La posición de paso ajustado a 90 grados mostrada en la figura 8 y en líneas punteadas en la figura 9 es una posición al ralentí, en la que el viento que viene en dirección contraria representado por la flecha 300 no proporciona ninguna sustentación a la sección de pala principal. Por tanto, la turbina eólica no produce esencialmente ninguna potencia en esta configuración. Se entenderá que, cuando la sección de pala principal está en la posición mostrada en líneas punteadas en la figura 9, el flap de borde de salida 106 está a sotavento de la sección de pala principal
- 10 102. Por tanto, el flap de borde de salida 106 sólo proporciona un mínimo grado de sustentación y por tanto un par motor de torsión bajo o despreciable al eje principal.

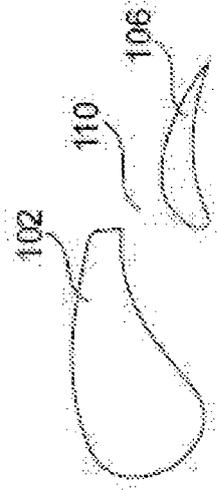
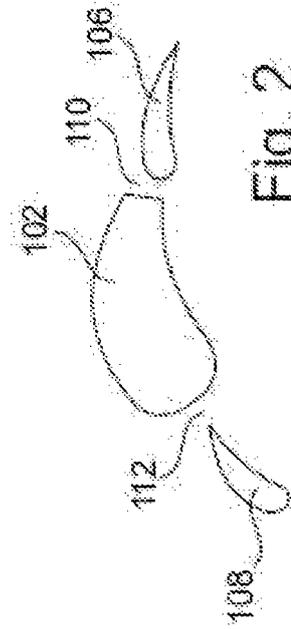
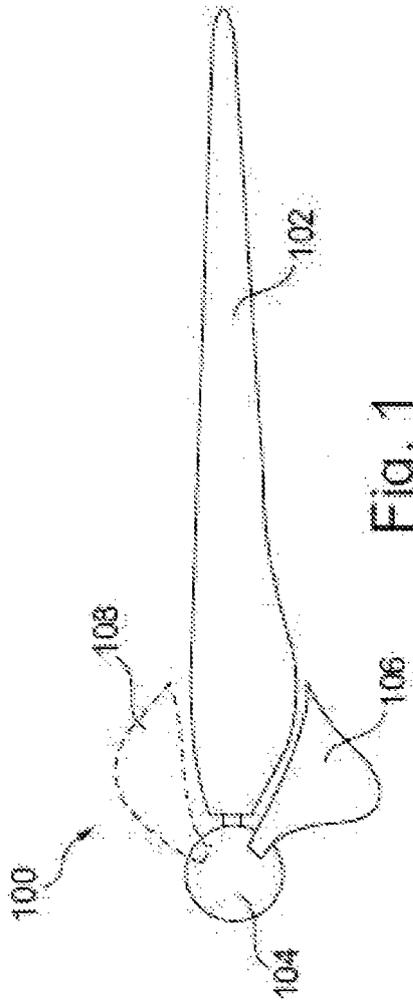
- Cuando la sección de pala principal 102 está en la posición al ralentí mostrada en líneas punteadas en la figura 9, un cambio extremo repentino en la dirección del viento, por ejemplo un cambio a la dirección mostrada por la flecha 302 en la figura 9, dará como resultado una sustentación aerodinámica a la sección de pala principal 102 y por tanto una
- 15 indeseada pero inevitable carga de par de torsión alrededor de un eje transversal al eje principal. Sin embargo, en ese caso, el flap de borde de salida no proporcionará, en esa circunstancia, ninguna sustentación. Por tanto, el par de torsión total alrededor del eje transversal es menor que si se hubiese ajustado el paso del flap de borde de salida 106 junto con la sección de pala principal 102.

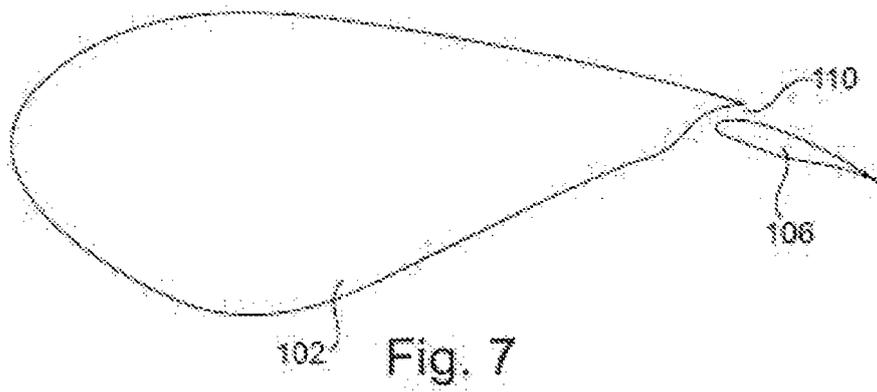
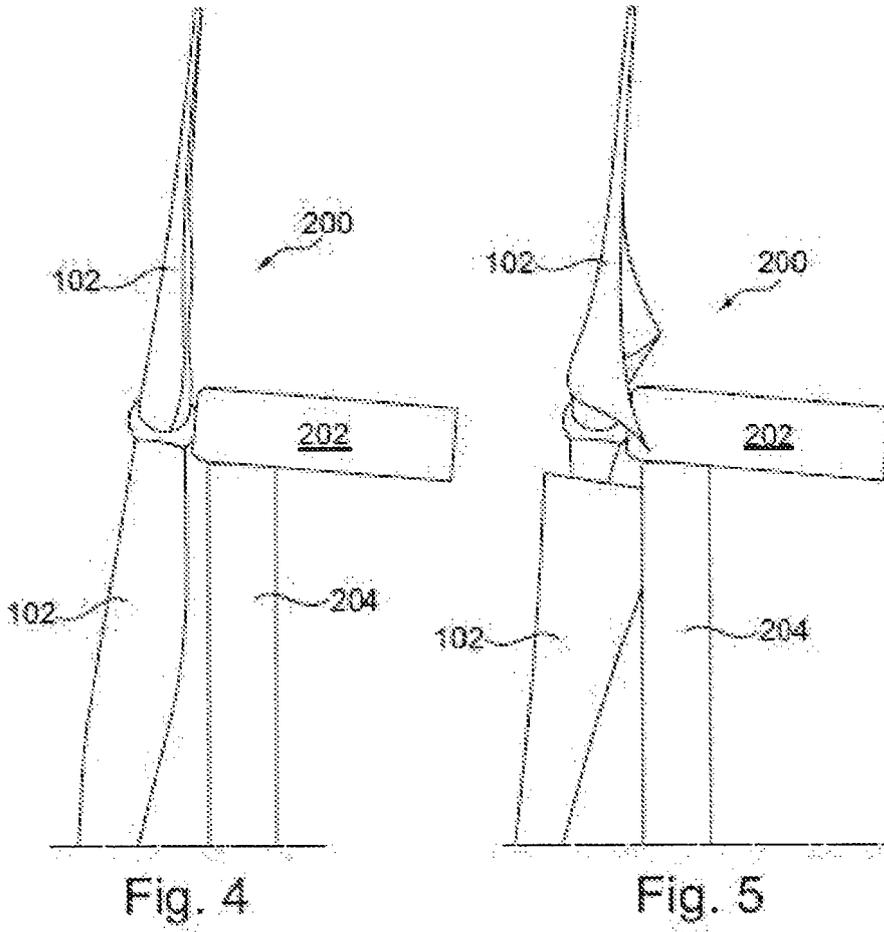
**REIVINDICACIONES**

1. Turbina eólica con un rotor montado sobre una sección de buje (104), comprendiendo el rotor una pluralidad de palas (100) y pudiendo girar alrededor de un eje principal de la turbina eólica, en la que la sección de buje puede girar alrededor de un eje de buje en alineación coaxial fija con el eje principal de la turbina eólica, comprendiendo al menos una de las palas del rotor:
  - 5 - una sección de pala principal (102), que está dispuesta para accionarse mediante el viento para girar alrededor del eje principal, siendo la sección de pala principal opcionalmente de paso ajustable;
  - 10 - una sección de pala auxiliar (106, 108) dispuesta para accionarse mediante el viento para girar alrededor del eje principal; en la que la sección de pala auxiliar está dispuesta en el área de un borde de ataque y/o de un borde de salida de la pala principal (102),  
 caracterizada por que cada sección de pala auxiliar está montada en la sección de buje (104) y está prevista de manera que forma un listón de borde de ataque (108) o un flap de borde de salida (106) para que la sección de pala principal aumente el área de planta de la pala y aumente la sustentación aerodinámica.
- 15 2. Turbina eólica según la reivindicación 1, en la que la sección de pala auxiliar está sujeta a la sección de buje de manera que su posición y orientación con respecto a la sección de buje es fija, de modo que la sección de pala auxiliar está montada en la sección de buje de manera que no puede ajustarse el paso.
3. Turbina eólica según la reivindicación 1 ó 2, en la que cada una de las secciones de pala auxiliares se extienden como mucho hasta el 40% del radio del rotor en una dirección longitudinal de las palas, tal como,
  - 20 como mucho hasta el 30% o como mucho hasta el 20%.
4. Turbina eólica según la reivindicación 3, en la que el listón de borde de ataque o el flap de borde de salida está previsto más cerca de una parte de buje del rotor que de una parte de punta del mismo.
5. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el número de secciones de pala auxiliares se selecciona de manera que cada una de las palas principales tiene un y sólo un listón de
  - 25 borde de ataque y/o un y sólo un flap de borde de salida.
6. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en la que el número de secciones de pala auxiliares se selecciona de manera que cada una de las palas principales tiene una pluralidad de listones de borde de ataque y/o una pluralidad de flaps de borde de salida.
7. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que una línea de cuerda de cada uno de los listones de borde de ataque y/o los flaps de borde de salida está verticalmente desplazada con
  - 30 respecto a una línea de cuerda de una respectiva de las secciones de pala principales, cuando se observa en sección transversal.
8. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente una estructura de generación de vórtices en un lado de succión de las secciones de pala auxiliares.
9. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las secciones de pala auxiliares forman listones de borde de ataque, y en la que un borde de salida del listón de borde de ataque
  - 35 está dispuesto a una distancia de un borde de ataque de la sección de pala principal, de manera que proporciona de ese modo un paso de flujo desde un lado de presión del listón de borde de ataque a un lado de succión de la sección de pala principal.
10. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en la que las secciones de pala auxiliares forman flaps de borde de salida, y en la que un borde de ataque del flap de borde de salida está dispuesto a
  - 40 una distancia de un borde de salida de la sección de pala principal, de manera que proporciona de ese modo un paso de flujo desde un lado de presión de la pala principal a un lado de succión del flap de borde de salida.
11. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada una de las secciones de pala principales tiene un borde de salida romo.
  - 45
12. Turbina eólica según la reivindicación 11, en la que el grosor del borde de salida romo es al menos el 2% de la cuerda de la sección de pala principal.
13. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las secciones de pala auxiliares están previstas solamente en una parte de las palas principales, que tienen una razón grosor a
  - 50 cuerda de al menos el 30%.
14. Método para controlar el funcionamiento de una turbina eólica con un rotor montado sobre una sección de

buje (104), comprendiendo el rotor una pluralidad de palas (100) y pudiendo girar alrededor de un eje principal de la turbina eólica, en el que la sección de buje puede girar alrededor de un eje de buje en alineación coaxial fija con el eje principal de la turbina eólica, comprendiendo al menos una de las palas del rotor:

- 5 - una sección de pala principal (102) de paso ajustable, que está dispuesta para accionarse mediante el viento para girar alrededor del eje principal;
- una sección de pala auxiliar (106, 108) dispuesta para accionarse mediante el viento para girar alrededor del eje principal;
- 10 en el que la sección de pala auxiliar está montada en la sección de buje y dispuesta en el área de un borde de ataque y/o de un borde de salida de la pala principal de manera que forma un listón de borde de ataque o un flap de borde de salida para la sección de pala principal;
- comprendiendo el método las etapas de:
- disponer la sección de pala principal de paso ajustable con un primer ángulo de ataque con respecto al viento que viene en dirección contraria;
- 15 - disponer la sección de pala auxiliar con un segundo ángulo de ataque con respecto al viento que viene en dirección contraria, que es diferente de dicho primer ángulo de ataque.
15. Método según la reivindicación 14, en el que se entra en pérdida aerodinámica con dicho primer ángulo de ataque de la sección de pala principal de paso ajustable.
- 20 16. Método según la reivindicación 14 ó 15, en el que, durante el funcionamiento al ralentí de la turbina eólica, dicho primer ángulo de ataque de la sección de pala principal se establece de manera que no se confiera esencialmente ninguna sustentación a la sección de pala principal.
17. Método según la reivindicación 16, en el que, durante el funcionamiento al ralentí de la turbina eólica, dicho segundo ángulo de ataque de la sección de pala auxiliar proporciona una sustentación aerodinámica a la sección de pala auxiliar.
- 25 18. Método según la reivindicación 16, en el que, durante el funcionamiento al ralentí de la turbina eólica, dicho segundo ángulo de ataque de la sección de pala auxiliar no proporciona esencialmente ninguna sustentación aerodinámica a la sección de pala auxiliar.
- 30 19. Método según cualquiera de las reivindicaciones 14-18, en el que los ángulos de ataque primero y segundo se establecen de manera que un cambio extremo repentino en la dirección del viento aumenta la sustentación aerodinámica en una de dichas secciones de pala y reduce la sustentación aerodinámica en la otra de dichas secciones de pala.
20. Método según cualquiera de las reivindicaciones 14-19, en el que la sección de pala auxiliar es de paso ajustable, y en el que la etapa de disponer la sección de pala auxiliar con un segundo ángulo de ataque con respecto al viento que viene en dirección contraria comprende la etapa de ajustar el paso de la segunda sección de pala.
- 35 21. Método según la reivindicación 20, en el que la turbina eólica opera según un esquema de control de carga parcial en velocidades del viento que viene en dirección contraria a las que no es alcanzable la potencia nominal de salida de la turbina eólica, y en el que la turbina eólica opera según un esquema de control nominal en velocidades del viento que viene en dirección contraria a las que es alcanzable la potencia nominal de salida de la turbina eólica, y en el que se ajusta el paso de la sección de pala auxiliar para proporcionar una sustentación aerodinámica en condiciones de carga parcial, y en el que se ajusta el paso de la sección de pala auxiliar a una posición que no genera sustentación en condiciones en las que es alcanzable la carga nominal.
- 40 22. Método según la reivindicación 21, en el que se ajusta el paso de la sección de pala auxiliar a la posición que no genera sustentación a velocidades del viento que exceden más del 95% de la velocidad del viento a la que es alcanzable la potencia nominal de salida.
- 45





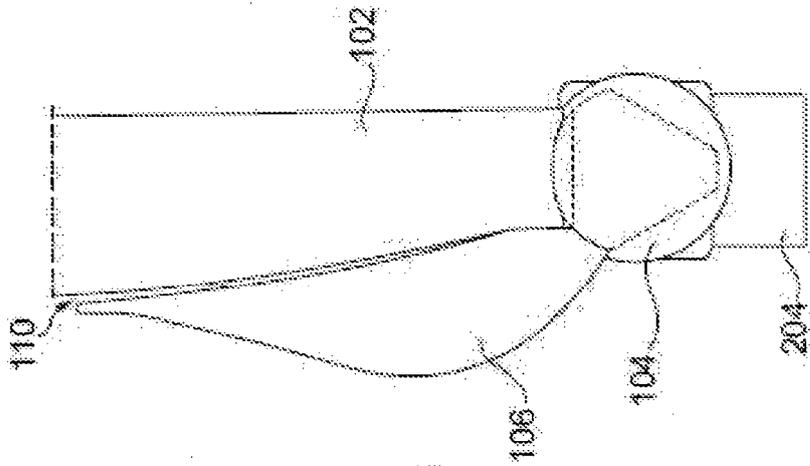


Fig. 6c

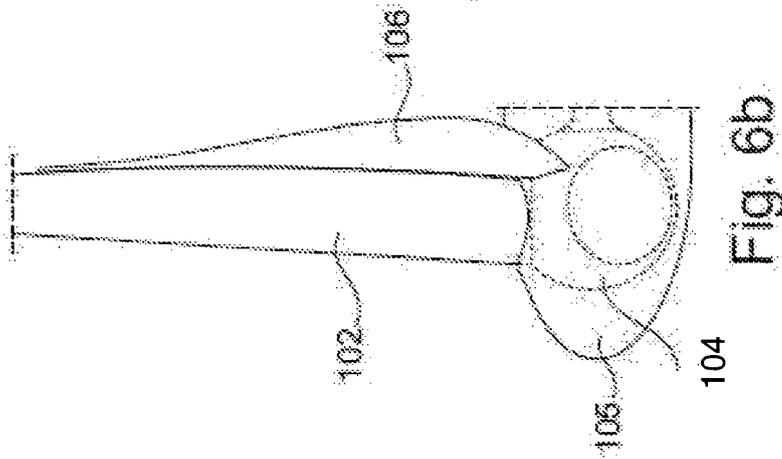


Fig. 6b

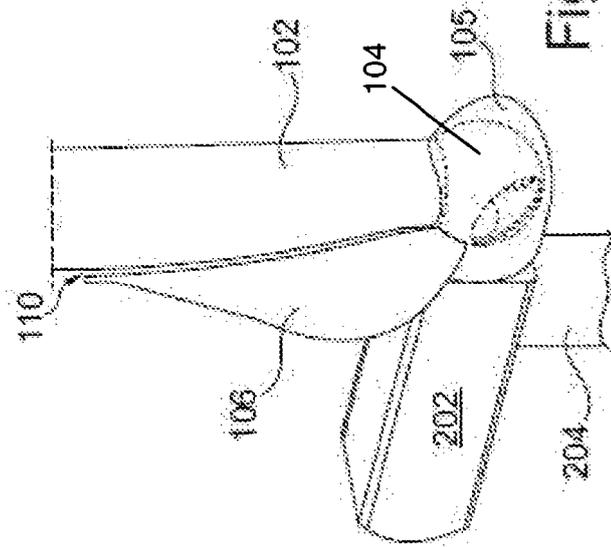


Fig. 6a

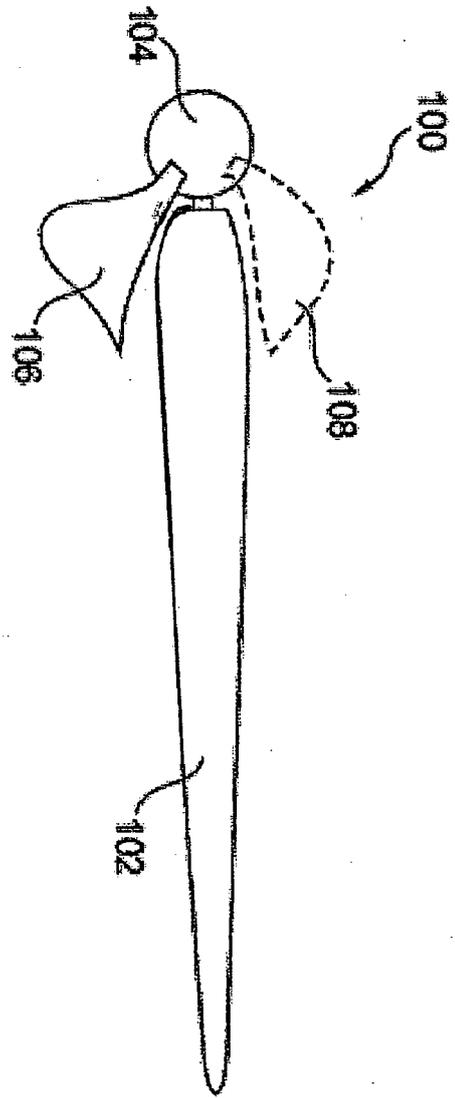


Fig. 8

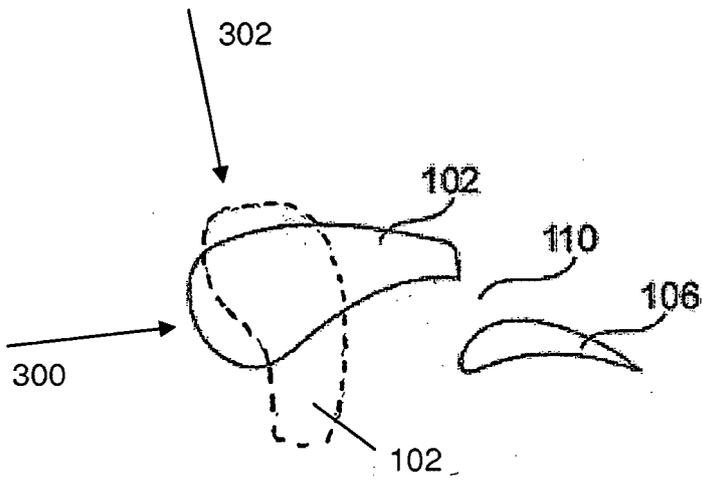


Fig. 9