

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 906 859**

51 Int. Cl.:

**F03D 80/40** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.06.2018** **E 18176701 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.11.2021** **EP 3578810**

54 Título: **Sistema de deshielo para una pala de turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.04.2022**

73 Titular/es:

**LM WIND POWER INTERNATIONAL  
TECHNOLOGY II APS (100.0%)  
Jupitervej 6  
6000 Kolding, DK**

72 Inventor/es:

**BARNES, ROSEMARY, HELEN y  
ANDERSEN, LAURIDS**

74 Agente/Representante:

**FORTEA LAGUNA, Juan José**

**ES 2 906 859 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**

Sistema de deshielo para una pala de turbina eólica

[0001] La presente invención se refiere a un sistema de deshielo para una pala de turbina eólica.

5 **Antecedentes**

[0002] Cuando las turbinas eólicas funcionan en climas fríos, la posible acumulación de hielo en las palas de la turbina eólica supone un reto para el rendimiento de la misma. En un primer aspecto, cualquier formación de hielo en las superficies de las palas perturbará la aerodinámica de las mismas, lo que puede provocar una reducción de la eficiencia de la turbina y/o un aumento de los niveles de ruido de funcionamiento. En otro aspecto, el hielo que se desprende de las superficies de las palas puede suponer un peligro de caída. En este sentido, las palas de las turbinas eólicas situadas en estos lugares suelen estar provistas de sistemas de prevención y/o eliminación del hielo.

[0003] Además de los sistemas de calentamiento eléctrico integrados en las palas y de los sistemas mecánicos de deshielo, se conocen sistemas de deshielo por aire caliente que funcionan según el principio de suministrar aire calentado al interior de una pala de turbina eólica, para elevar la temperatura de la superficie de la pala por encima del punto de congelación. Un ejemplo de este sistema de deshielo por aire caliente puede verse en la publicación de solicitud de patente estadounidense nº US 2013/0106108.

[0004] El documento DE 10 2010 051297 A1 divulga una pala que tiene una punta de pala fijada en un extremo y una raíz de pala fijada en un extremo opuesto. En una dirección longitudinal de la pala pasan barras de paletas. Las barras están conectadas con los lados interiores de una pared de la pala del rotor del lado de succión y/o del lado de presión. Una de las barras tiene aberturas en una región de punta de pala. Una corriente de aire que pasa por un lado del borde posterior de cada barra fluye hacia una región del lado del borde de nariz a través de las barras. Una superficie de paso de aire está formada por las aberturas y está dispuesta a una distancia reducida de la raíz de pala.

[0005] El documento DE 10 2010 051293 A1 divulga una pala de rotor que tiene una raíz de pala de rotor y una punta de pala de rotor que se proporcionan a lo largo de la dirección longitudinal. Un canal central se extiende en el interior de la pala del rotor en dirección longitudinal y está provisto de un canal del lado del borde de nariz y un canal del lado del borde trasero que están separados por una pared central. Se proporciona un ventilador para producir el flujo de aire en el canal central. Se proporciona un dispositivo de calentamiento para calentar el flujo de aire. En el canal central del borde de nariz de las palas del rotor hay varias aberturas de salida y entrada de aire.

[0006] Es un objeto de la invención proporcionar un sistema de deshielo que proporcione un rendimiento mejorado con respecto a la técnica anterior.

**Resumen**

[0007] Es un objeto de la presente divulgación proporcionar una pala de turbina eólica con un sistema de deshielo y un método para el deshielo de una pala de turbina eólica, que proporciona un deshielo más eficaz de la pala de turbina eólica. En particular, la presente divulgación proporciona una transferencia de calor más eficaz a la concha de la pala de la turbina eólica, y especialmente cerca del borde de ataque de la pala de la turbina eólica, que puede ser especialmente propenso a la formación de hielo.

[0008] En consecuencia, se da a conocer una pala de turbina eólica que tiene un sistema de deshielo de palas. La pala de la turbina eólica comprende un extremo de raíz y un extremo de punta, un borde de ataque y un borde de salida, un lado de succión y un lado de presión, y una cavidad interna de borde de ataque entre el borde de ataque y una superficie posterior formada por al menos un alma a cortante ("shear web") interna o un lado de larguero que se extiende entre el lado de succión y el lado de presión.

[0009] El sistema de deshielo de palas comprende un primer canal que se extiende longitudinalmente desde una primera posición hasta una segunda posición. La segunda posición se encuentra entre el extremo de punta y la primera posición. El sistema de deshielo de palas comprende un canal de calentamiento que se extiende longitudinalmente desde la segunda posición hasta la primera posición a lo largo del borde de ataque de la pala de la turbina eólica. El canal de calentamiento y el primer canal están en conexión fluida.

[0010] El sistema de deshielo de palas está dispuesto para proporcionar un flujo de fluido calentado a través del primer canal y del canal de calentamiento. El flujo de fluido calentado a través del canal de calentamiento tiene una dirección de flujo principal a lo largo de una dirección longitudinal de la pala de la turbina eólica. El sistema de

deshielo de palas está configurado además para afectar al flujo de fluido calentado a través del canal de calentamiento, lo que da lugar a un flujo rotativo del fluido calentado alrededor de la dirección de flujo principal.

5 [0011] También se divulga un método de deshielo de una pala de turbina eólica, como la pala de turbina eólica divulgada, que comprende un extremo de raíz y un extremo de punta, un borde de ataque y un borde de salida, un lado de succión y un lado de presión, y una cavidad interna de borde de ataque entre el borde de ataque y una superficie trasera formada por al menos un alma a cortante interna o un lado de larguero que se extiende entre el lado de succión y el lado de presión. La pala de turbina eólica comprende además un primer canal que se extiende longitudinalmente desde una primera posición hasta una segunda posición, en la que la segunda posición se encuentra entre el extremo de punta y la primera posición. La pala de turbina eólica comprende además un canal de calentamiento que se extiende longitudinalmente desde la segunda posición hasta la primera posición a lo largo del borde de ataque de la pala de turbina eólica, estando el canal de calentamiento y el primer canal en conexión fluida.

15 [0012] El método comprende: proporcionar un flujo de fluido calentado a través del primer canal y del canal de calentamiento, teniendo el flujo de fluido calentado a través del canal de calentamiento una dirección de flujo principal a lo largo de una dirección longitudinal de la pala de la turbina eólica; y afectar el flujo de fluido calentado a través del canal de calentamiento resultando en un flujo rotacional del fluido calentado alrededor de la dirección de flujo principal.

20 [0013] Proporcionar un flujo rotacional del fluido calentado a través del canal de calentamiento puede dar lugar a un aumento de la turbulencia y de la velocidad del fluido cerca de la parte interna de la pala, proporcionando así una transferencia de calor más eficaz del fluido calentado a la concha de la pala de la turbina eólica.

25 [0014] El flujo rotativo puede girar en cualquier dirección. El flujo de rotación puede girar desde el lado de la presión hacia el lado de la succión en el borde de ataque. El flujo de rotación puede girar desde el lado de succión hacia el lado de presión en el borde de ataque. La formación de hielo puede ser más probable en el lado de succión, por ejemplo, cerca del borde de ataque, por lo que puede ser ventajoso dirigir el flujo de rotación para que gire desde el lado de succión hacia el lado de presión en el borde de ataque, para permitir una mayor transferencia de calor en el lado de succión.

30 [0015] El fluido calentado empleado en el método y el sistema de deshielo puede ser un gas o un líquido. Por ejemplo, el fluido calentado empleado en el método y el sistema de deshielo puede ser aire caliente, vapor o un fluido de deshielo.

35 [0016] El primer canal se extiende desde una primera posición hasta una segunda posición. El canal de calentamiento se extiende desde la segunda posición hasta la primera. La primera posición puede estar cerca de la raíz, como el extremo de raíz, de la pala de turbina eólica. La segunda posición puede estar cerca de la punta, como el extremo de punta, de la pala de turbina eólica. La segunda posición está entre el extremo de punta y la primera posición. La primera posición está entre el extremo de raíz y la segunda posición.

40 [0017] La pala de la turbina eólica, como el sistema de deshielo de la pala de la turbina eólica, puede comprender un aparato de calentamiento. La pala de la turbina eólica, como el sistema de deshielo de la pala de turbina eólica, puede comprender un aparato de circulación. El aparato de circulación y el aparato de calentamiento pueden combinarse en un aparato de calentamiento y circulación, por ejemplo, el aparato de circulación puede comprender un aparato de calentamiento y/o el aparato de calentamiento puede comprender un aparato de circulación. El aparato de circulación y/o el aparato de calentamiento pueden estar previstos en la primera posición, por ejemplo, cerca de la raíz de la pala de turbina eólica. Alternativamente, una turbina eólica puede utilizar un aparato de calentamiento y/o de circulación central, en cuyo caso, el aparato de calentamiento y/o de circulación puede proporcionarse en el buje o la góndola de la turbina eólica y conectarse al sistema de deshielo de cada pala de turbina eólica, según proceda.

45 [0018] El aparato de circulación puede estar configurado para proporcionar un flujo rotativo del fluido calentado a través del canal de calentamiento. Por ejemplo, el aparato de circulación puede estar configurado para hacer circular el fluido por el canal de calentamiento con una dirección cercana a la concha que forme un ángulo con la dirección longitudinal de la pala de turbina eólica. Proporcionar el flujo rotativo con el aparato de circulación puede ser especialmente útil si el aparato de circulación hace circular el fluido directamente en el canal de calentamiento, por ejemplo, en la primera posición.

50 [0019] El flujo de fluido calentado puede proporcionarse a través del canal de calentamiento desde la segunda posición hasta la primera posición. Por ejemplo, el sistema de deshielo de palas puede estar dispuesto para proporcionar el flujo de fluido calentado a través del canal de calentamiento desde la segunda posición hasta la primera posición. El flujo de fluido calentado puede proporcionarse desde la primera posición a través del primer canal hasta la segunda posición, y desde la segunda posición a través del canal de calentamiento hasta la primera posición. Por ejemplo, el sistema de deshielo de palas puede estar dispuesto para proporcionar el flujo de fluido calentado desde la primera posición a través del primer canal hasta la segunda posición, y desde la segunda

posición a través del canal de calentamiento hasta la primera posición. El flujo de fluido calentado puede proporcionarse desde la segunda posición a través del canal de calentamiento hasta la primera posición, y desde la primera posición a través del primer canal hasta la segunda posición. Por ejemplo, el sistema de deshielo de palas puede estar dispuesto para proporcionar el flujo de fluido calentado desde la segunda posición a través del canal de calentamiento hasta la primera posición, y desde la primera posición a través del primer canal hasta la segunda posición.

**[0020]** Alternativamente, el flujo de fluido calentado puede proporcionarse a través del canal de calentamiento desde la primera posición hasta la segunda posición. Por ejemplo, el sistema de deshielo de palas puede estar dispuesto para proporcionar el flujo de fluido calentado a través del canal de calentamiento desde la primera posición hasta la segunda posición. El flujo de fluido calentado puede proporcionarse desde la primera posición a través del canal de calentamiento hasta la segunda posición, y desde la segunda posición a través del primer canal hasta la primera posición. Por ejemplo, el sistema de deshielo de palas puede estar dispuesto para proporcionar el flujo de fluido calentado desde la primera posición a través del canal de calentamiento hasta la segunda posición, y desde la segunda posición a través del primer canal hasta la primera posición. El flujo de fluido calentado puede proporcionarse desde la segunda posición a través del primer canal hasta la primera posición, y desde la primera posición a través del canal de calentamiento hasta la segunda posición. Por ejemplo, el sistema de deshielo de palas puede estar dispuesto para proporcionar el flujo de fluido calentado desde la segunda posición a través del primer canal hasta la primera posición, y desde la primera posición a través del canal de calentamiento hasta la segunda posición.

**[0021]** La cavidad de borde de ataque puede formar el canal de calentamiento. La cavidad de borde de ataque puede formar parte del canal de calentamiento, por ejemplo, el canal de calentamiento puede comprender una pluralidad de partes del canal de calentamiento. Por ejemplo, el canal de calentamiento puede comprender una primera parte de canal de calentamiento entre la cavidad de borde de ataque y la primera posición, y/o el canal de calentamiento puede comprender una segunda parte de canal de calentamiento entre la cavidad de borde de ataque y la segunda posición.

**[0022]** La superficie posterior de la cavidad de borde de ataque puede estar formada por un alma a cortante, como un alma a cortante de borde de ataque. La superficie posterior de la cavidad de borde de ataque puede estar formada por un lado de larguero, como por ejemplo un lado de larguero de borde de ataque. La superficie posterior puede separar el canal de calentamiento y el primer canal.

**[0023]** El primer canal puede ser un canal aislado. Por ejemplo, el primer canal puede estar aislado para evitar, o al menos reducir, la pérdida de calor del fluido dentro del primer canal, para preservar el calor del fluido a ser proporcionado en el canal de calentamiento.

**[0024]** El primer canal puede estar dispuesto fuera de la cavidad de borde de ataque, como por ejemplo entre la superficie posterior de la cavidad de borde de ataque y el borde de salida. Por ejemplo, el primer canal puede estar dispuesto en un espacio entre dos almas a cortante, como un alma a cortante del borde de ataque y un alma a cortante del borde de salida, o el primer canal puede estar dispuesto en un espacio entre dos lados del larguero, como un lado del larguero del borde de ataque y un lado del larguero del borde de salida.

**[0025]** Como alternativa, el primer canal puede estar dispuesto dentro de la cavidad del borde de ataque. Por ejemplo, el primer canal puede estar dispuesto como un tubo dentro de la cavidad del borde de ataque.

**[0026]** Entre el primer canal y el canal de calentamiento pueden proporcionarse una o más aberturas, tales como una pluralidad de aberturas, por ejemplo, para proporcionar una conexión fluida entre el primer canal y el canal de calentamiento. La pluralidad de aberturas puede estar distribuida a lo largo de la dirección longitudinal de la pala de la turbina eólica.

**[0027]** La pluralidad de aberturas puede estar configurada para dirigir el fluido calentado hacia el canal de calentamiento en una primera dirección, por ejemplo, para proporcionar el flujo rotativo del fluido calentado en el canal de calentamiento. La primera dirección puede formar un primer ángulo con una segunda dirección entre la abertura y el borde de ataque. El primer ángulo puede ser de más de 10 grados, como de más de 20 grados, como de más de 30 grados, como de más de 40 grados, como de 45 grados. La primera dirección puede ser hacia el lado de succión. La primera dirección puede ser hacia el lado de la presión. La pluralidad de aberturas puede comprender un elemento de dirección de fluidos. El elemento de dirección de fluido puede estar configurado para dirigir el fluido calentado en la primera dirección. El elemento de dirección de fluido puede estar hecho de bloques de espuma. El elemento de dirección de fluido puede formar una boquilla y un canal para dirigir el fluido calentado. Al dirigir el fluido desde las aberturas en una dirección que forma un ángulo, el fluido calentado que sale de las aberturas no se dirige directamente al flujo principal, y por lo tanto una ventaja adicional puede ser que reduce la desviación del fluido calentado desde las aberturas causada por el flujo principal. Así, la temperatura del fluido calentado que llega al borde de ataque es mayor que si las aberturas se dirigieran directamente al flujo principal. De este modo, el fluido calentado procedente de las aberturas puede proporcionar un mayor calentamiento localizado de la concha cerca de las aberturas.

- 5 [0028] La pluralidad de aberturas puede estar situada a una primera distancia de abertura del lado de succión y a una segunda distancia de abertura del lado de presión. La primera distancia de la abertura y la segunda distancia de la abertura pueden elegirse de forma que proporcionen el flujo rotativo del fluido calentado en el canal de calentamiento. Por ejemplo, la segunda distancia de abertura puede ser más larga que la primera distancia de abertura, por ejemplo, la segunda distancia de abertura puede ser más del doble de la primera distancia de abertura. El hecho de que la segunda distancia de abertura sea mayor que la primera distancia de abertura puede proporcionar un flujo rotativo a lo largo del lado de succión y desde el lado de succión hasta el lado de presión en el borde de ataque. Alternativamente, la primera distancia de abertura puede ser más larga que la segunda distancia de abertura, por ejemplo, la segunda distancia de abertura puede ser más del doble de la primera distancia de abertura. El hecho de que la primera distancia de abertura sea más larga que la segunda distancia de abertura puede permitir un flujo rotativo a lo largo del lado de presión y desde el lado de presión hasta el lado de succión en el borde de ataque.
- 10
- 15 [0029] El canal de calentamiento puede comprender una o más estructuras de guía, como una pluralidad de estructuras de guía, por ejemplo, distribuidas a lo largo de la dirección longitudinal del canal de calentamiento. La una o más estructuras de guía pueden estar configuradas para afectar al flujo del fluido calentado a través del canal de calentamiento, dando lugar al flujo rotacional del fluido calentado en torno a la dirección principal del flujo. Por ejemplo, las estructuras de guía pueden comprender una superficie de guía con una normal de superficie de
- 20 guía. La normal de superficie de guía puede formar un ángulo de guía con la dirección del flujo principal. El ángulo de guía puede ser superior a 0 grados e inferior a 90 grados, tales como entre 20 y 70 grados, tales como entre 40 y 50 grados, tal como 45 grados.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

- 25 [0030] Las realizaciones de la divulgación se describirán con más detalle a continuación en relación con las figuras adjuntas. Las figuras muestran una forma de poner en práctica la presente invención y no deben interpretarse como limitativas de otras posibles realizaciones comprendidas en el ámbito del juego de reivindicaciones adjunto.

La Fig. 1 es un diagrama esquemático que ilustra una turbina eólica ejemplar,

La Fig. 2 es un diagrama esquemático que ilustra una pala de turbina eólica ejemplar,

- 30 La Fig. 3 es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección longitudinal de una pala de turbina eólica ejemplar,

La Fig. 4a es un diagrama esquemático que ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica ejemplar,

La Fig. 4b es un diagrama esquemático que ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica ejemplar,

- 35 La Fig. 4c es un diagrama esquemático que ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica ejemplar,

La Fig. 5a es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección longitudinal de un alma a cortante o un lado de larguero de una pala de turbina eólica ejemplar,

- 40 La Fig. 5b es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección longitudinal de un alma a cortante o un lado de larguero de una pala de turbina eólica ejemplar,

La Fig. 5c es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección longitudinal de un alma a cortante o de un lado de larguero de una pala de turbina eólica ejemplar, y

La Fig. 6 es un diagrama de flujo de un método ejemplar.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

- 45 [0031] La Fig. 1 ilustra una turbina eólica moderna convencional a barlovento 2 según el llamado "concepto danés" con una torre 4, una góndola 6 y un rotor con un eje de rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un buje 8,

y tres palas 10 que se extienden radialmente desde el buje 8, cada una con una raíz de pala 16 más cercana al buje y una punta de pala 14 más alejada del buje 8.

[0032] La Fig. 2 muestra una vista esquemática de una pala ejemplar de turbina eólica 10. La pala de la turbina eólica 10 tiene la forma de una pala de turbina eólica convencional con un extremo de raíz 17 y un extremo de punta 15 y comprende una región de raíz 30 más cercana al buje, una región perfilada o de perfil alar 34 más alejada del buje y una región de transición 32 entre la región de raíz 30 y la región de perfil alar 34. La pala 10 comprende un borde de ataque 18 orientado en la dirección de rotación de la pala 10, cuando la pala está montada en el buje, y un borde de salida 20 orientado en la dirección opuesta al borde de ataque 18.

[0033] La región del perfil alar 34 (también llamada región perfilada) tiene una forma de pala ideal o casi ideal con respecto a la generación de sustentación, mientras que la región de raíz 30, debido a consideraciones estructurales, tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica, lo que, por ejemplo, facilita y hace más seguro el montaje de la pala 10 en el buje. El diámetro (o la cuerda) de la región de raíz 30 puede ser constante a lo largo de toda la zona de raíz 30. La región de transición 32 tiene un perfil de transición que cambia gradualmente de forma circular o elíptica de la región de raíz 30 al perfil alar de la región de perfil alar 34. La longitud de la cuerda de la región de transición 32 suele aumentar con el incremento de la distancia r desde el buje. La región de perfil alar 34 tiene un perfil alar con una cuerda que se extiende entre el borde de ataque 18 y el borde de salida 20 de la pala 10. La anchura de la cuerda disminuye al aumentar la distancia r desde el buje.

[0034] Un hombro 40 de la pala 10 se define como la posición en la que la pala 10 tiene su mayor longitud de cuerda. El hombro 40 suele estar situado en el límite entre la región de transición 32 y la región de perfil alar 34.

[0035] Hay que tener en cuenta que las cuerdas de las diferentes secciones de la pala normalmente no se encuentran en un plano común, ya que la pala puede estar torsionada y/o curvada (es decir, precurvada), proporcionando así al plano de las cuerdas un curso correspondientemente torsionado y/o curvado, siendo este el caso más frecuente para compensar la dependencia de la velocidad local de la pala con el radio desde el buje.

[0036] La pala de la turbina eólica 10 comprende una concha de pala. La concha de pala puede comprender dos partes de concha de pala, una primera parte de concha de pala 24 y una segunda parte de concha de pala 26, típicamente hechas de polímero reforzado con fibra. La primera parte de concha de pala 24 es típicamente una parte de concha de pala del lado de presión o de barlovento. La segunda parte de concha de pala 26 suele ser una parte de concha de pala del lado de succión o de sotavento. La primera parte de concha de pala 24 y la segunda parte de concha de pala suelen estar pegadas a lo largo de las líneas de unión o juntas de pegado 28 que se extienden a lo largo del borde de salida 20 y del borde de ataque 18 de la pala 10. Normalmente, los extremos de raíz de las partes de concha de pala 24, 26 tienen una forma de sección transversal exterior semicircular o semiovalada.

[0037] La pala de la turbina eólica 10 comprende además al menos un alma a cortante interna o lado de un larguero (véase, por ejemplo, la Fig. 4a) que se extiende entre el lado de succión y el lado de presión de la pala de turbina eólica 10.

[0038] La Fig. 3 muestra una vista en sección longitudinal ilustrada esquemáticamente de una pala 10 ejemplar de turbina eólica con un sistema de deshielo, vista desde el lado de succión 54 al lado de presión 52. La pala 10 de turbina eólica tiene una punta de pala 14 y una raíz de pala 16. La pala 10 de turbina eólica tiene un extremo de punta 15 y un extremo de raíz 17. La pala 10 de turbina eólica comprende además dos almas a cortante 22, 24, un alma a cortante de borde de ataque 22 y un alma a cortante de borde de salida 24, que se extienden entre el lado de succión y el lado de presión de la pala 10 de turbina eólica. Alternativamente, la pala 10 de turbina eólica podría comprender un larguero, y los lados del larguero podrían sustituir a las almas a cortantes 22, 24 ilustradas (véase, por ejemplo, la fig. 4b). Entre el borde de ataque 18 y una superficie posterior 79, como el alma a cortante del borde de ataque 22, puede formarse una cavidad interna de borde de ataque 78.

[0039] La pala 10 de turbina eólica comprende un primer canal 70 que se extiende longitudinalmente desde una primera posición P1 hasta una segunda posición P2. La pala 10 de turbina eólica comprende un canal de calentamiento 72 que se extiende longitudinalmente desde la segunda posición P2 hasta la primera posición P1 a lo largo del borde de ataque 18 de la pala de turbina eólica. La segunda posición se encuentra entre el extremo de punta 15 y la primera posición P1. La primera posición P1 está entre el extremo de raíz 17 y la segunda posición P2. La primera posición P1 está cerca del extremo de raíz 17. La segunda posición P2 está cerca del extremo de punta 15.

[0040] El primer canal 70 puede estar dispuesto entre un alma a cortante de borde de ataque 22 y un alma a cortante de borde de salida 24. El canal de calentamiento 72 puede estar dispuesto en la cavidad de borde de ataque 78. El primer canal 70 y el canal de calentamiento 72 pueden estar en conexión fluida, por ejemplo, a través de las aberturas 60.

[0041] La pala 10 tiene un aparato de circulación 80, como un aparato de calentamiento y circulación. El aparato

de circulación 80 puede estar situado cerca del extremo de raíz 17 de la pala. Alternativamente, el aparato de circulación 80 puede estar situado cerca del extremo de punta 15. El aparato de circulación 80 puede estar dispuesto más cerca del borde de ataque 18 que del borde de salida 20. Alternativamente, el aparato de circulación 80 puede estar dispuesto más cerca del borde de salida 20 que del borde de ataque 18. Alternativamente, el aparato de circulación 80 puede estar dispuesto tan cerca del borde de salida 20 como del borde de salida 18. El aparato de circulación 80 proporciona un flujo de fluido calentado a través del primer canal 70 y del canal calentado 72. El aparato de circulación 80 puede estar configurado para calentar el fluido.

[0042] Como se ilustra, la dirección del flujo tiene una dirección de flujo principal 74 que puede dirigirse desde el extremo de raíz 17 al extremo de punta 15 a través del primer canal 70, y desde el extremo de punta 15 al extremo de raíz 17 a través del canal de calentamiento 72. Alternativamente, la dirección principal del flujo 74 puede estar en la dirección opuesta, es decir, desde el extremo de raíz de la pala 17 al extremo de punta de la pala 15 a través del canal de calentamiento 72, y desde el extremo de punta de la pala 15 al extremo de raíz de la pala 17 a través del primer canal 70.

[0043] El alma a cortante del borde de ataque 22 comprende una pluralidad de aberturas 60. La pluralidad de aberturas 60 puede estar distribuida a lo largo de la dirección longitudinal de la pala 10 de turbina eólica. Las aberturas permiten el flujo del fluido calentado entre el primer canal 70 y el canal de calentamiento 72, como por ejemplo desde el primer canal 70 al canal de calentamiento 72. Las aberturas 60 pueden estar configuradas para afectar al flujo del fluido calentado a través del canal de calentamiento 72, dando lugar a un flujo rotacional del fluido calentado alrededor de la dirección de flujo principal 74 (véanse, por ejemplo, las figuras 4a-4c). Alternativa o adicionalmente, el aparato de circulación 80 puede estar configurado para afectar al flujo del fluido calentado a través del canal de calentamiento 72 dando como resultado un flujo rotacional del fluido calentado alrededor de la dirección de flujo principal 74. Alternativa o adicionalmente, el canal de calentamiento 72 puede estar provisto de una pluralidad de estructuras de guía (véase, por ejemplo, la fig. 5c) distribuidas a lo largo de una dirección longitudinal del canal de calentamiento 72.

[0044] La Fig. 4a es un diagrama esquemático que ilustra una sección transversal de una pala 10 de turbina eólica con un sistema de deshielo, como la pala 10 de turbina eólica ilustrada en relación con la Fig. 3. La pala 10 de turbina eólica tiene un borde de ataque 18, un borde de salida 20, un lado de presión 52 y un lado de succión 54. La pala 10 de turbina eólica comprende un alma a cortante del borde de ataque 22 y un alma a cortante del borde de salida 24. Una alternativa a las almas a cortante 22, 24 puede ser un larguero, como se ilustra en la fig. 4b. El sistema de deshielo comprende un primer canal 70 y un canal de calentamiento 72 definidos por las almas cortantes 22, 24. El canal de calentamiento 72 puede ser, o formar parte, de una cavidad interna de borde de ataque 78 entre el borde de ataque 18 y una superficie posterior 79, como el alma a cortante del borde de ataque 22.

[0045] El alma a cortante de borde de ataque 22 comprende una abertura 60, por ejemplo, de una pluralidad de aberturas. La abertura 60 permite el flujo del fluido calentado entre el primer canal 70 y el canal de calentamiento 72, tal como desde el primer canal 70 al canal de calentamiento 72, como se ilustra. La abertura 60 está configurada para afectar al flujo del fluido calentado a través del canal de calentamiento 72, dando lugar a un flujo rotacional 76 del fluido calentado en torno a la dirección principal del flujo a lo largo del canal de calentamiento 72. El flujo rotacional 76 puede girar desde el lado de succión 54 hacia el lado de presión 52 en el borde de ataque 18, como se ilustra. Alternativamente, el flujo rotacional 76 puede girar desde el lado de presión 52 hacia el lado de succión 54. Como se ilustra, la abertura 60 puede comprender un elemento de dirección de fluido 62 para dirigir el flujo del fluido calentado. La dirección del flujo puede estar en una primera dirección 102 y formar un ángulo  $\alpha$  con una segunda dirección 104 entre la abertura 60 y el borde de ataque 18. Por ejemplo, el ángulo  $\alpha$  puede ser superior a 10 grados.

[0046] La Fig. 4b es un diagrama esquemático que ilustra una sección transversal de una pala 10' de turbina eólica con un sistema de deshielo, como la pala 10 de turbina eólica ilustrada en relación con la Fig. 3. La pala 10' de turbina eólica de la Fig. 4b es equivalente a la pala 10 de turbina eólica de la Fig. 4a, salvo que la pala 10' de turbina eólica comprende un larguero 26 en lugar de las almas a cortante de la pala 10 de turbina eólica de la Fig. 4a. El larguero 26 comprende un lado del borde de ataque 23 en lugar del alma a cortante 22 de la pala 10 de turbina eólica de la Fig. 4a, y un lado del borde de salida 25 en lugar del alma a cortante 24 de la pala de turbina eólica de la Fig. 4a. El lado del larguero del borde de ataque 23 comprende la abertura 60.

[0047] La Fig. 4c es un diagrama esquemático que ilustra una sección transversal de una pala 10 de turbina eólica con un sistema de deshielo, como la pala 10 de turbina eólica ilustrada en relación con la Fig. 3. La pala 10 de turbina eólica de la Fig. 4c se ilustra con un alma a cortante 22, 24. Sin embargo, alternativamente, la pala 10 de turbina eólica puede realizarse con un larguero que tenga lados de larguero, como se explica en relación con la Fig. 4b.

[0048] El sistema de deshielo puede comprender un primer canal 70 y un canal de calentamiento 72 definido por las almas a cortante 22, 24. El canal de calentamiento 72 puede ser, o formar parte, de una cavidad interna del

borde de ataque 78 entre el borde de ataque 18 y una superficie posterior 79, como el alma a cortante del borde de ataque 22.

5 [0049] El alma a cortante del borde de ataque 22 comprende una abertura 60', por ejemplo, de una pluralidad de  
 10 aberturas. La abertura 60' permite el flujo del fluido calentado entre el primer canal 70 y el canal de calentamiento  
 15 72, tal como desde el primer canal 70 al canal de calentamiento 72, como se ilustra. La abertura 60' está  
 20 configurada para afectar al flujo del fluido calentado a través del canal de calentamiento 72, dando lugar a un flujo  
 rotacional 76 del fluido calentado en torno a la dirección principal del flujo a lo largo del canal de calentamiento 72.  
 El flujo rotacional 76 puede girar desde el lado de succión 54 hacia el lado de presión 52 en el borde de ataque 18,  
 como se ilustra. Alternativamente, el flujo rotativo 76 puede girar desde el lado de presión 52 hacia el lado de  
 succión 54. La abertura 60' está situada a una primera distancia de abertura D1 del lado de succión 54 y a una  
 segunda distancia de abertura D2 del lado de presión 52. Para influir en el flujo del fluido a través del canal de  
 calentamiento 72, dando lugar a un flujo rotacional 76 del fluido calentado alrededor de la dirección de flujo principal  
 74, la primera distancia de apertura D1 y la segunda distancia de apertura pueden ser diferentes. Por ejemplo, la  
 segunda distancia de apertura D2 puede ser más larga que la primera distancia de apertura D1, como se ilustra,  
 dando lugar, por ejemplo, a un flujo rotacional 76 desde el lado de succión 54 al lado de presión 52 en el borde de  
 ataque 18. Alternativamente, la segunda distancia de apertura puede ser más corta que la primera distancia de  
 apertura D1. De este modo, la posición de la abertura 60' afecta al flujo del fluido calentado en el canal de  
 calentamiento 72, dando lugar a un flujo rotacional 76 del fluido calentado alrededor de la dirección de flujo principal  
 74.

25 [0050] La Fig. 5a es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección longitudinal de un alma a cortante  
 30 ejemplar 22 o un lado del larguero 23, de una pala de turbina eólica, como la pala de turbina eólica ilustrada en  
 relación con la Fig. 4a o 4b. La vista en sección longitudinal se ve desde el borde de ataque hasta el borde de  
 salida. El alma a cortante 22 o el lado del larguero 23 comprende una pluralidad de aberturas 60 distribuidas a lo  
 largo de la dirección longitudinal de la pala de turbina eólica. Las aberturas 60 comprenden un elemento de  
 dirección de fluido 62 para dirigir el fluido calentado desde el primer canal 70 hacia el canal de calentamiento 72.  
 Las aberturas 60 están configuradas para dirigir el fluido calentado hacia el canal de calentamiento 72 en una  
 primera dirección que forma un primer ángulo (no mostrado) con una segunda dirección entre la abertura 60 y el  
 borde de ataque 18. De este modo, el fluido calentado puede fluir en un flujo rotacional 76 alrededor de una  
 dirección de flujo principal 74, y puede girar desde el lado de succión 54 hasta el lado de presión 52 en el borde  
 de ataque 18.

35 [0051] La Fig. 5b es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección longitudinal de un alma a cortante  
 40 22 o un lado del larguero 23 ejemplar de una pala de turbina eólica, como la pala de turbina eólica ilustrada en  
 relación con la Fig. 4c. La vista en sección longitudinal se ve desde el borde de ataque hasta el borde de salida. El  
 alma a cortante 22 o el lado del larguero 23 puede comprender una pluralidad de aberturas 60' distribuidas a lo  
 largo de la dirección longitudinal de la pala de turbina eólica. Las aberturas 60' están situadas a una primera  
 distancia de abertura D1 del lado de succión 54 y a una segunda distancia de abertura D2 del lado de presión 52.  
 Para influir en el flujo del fluido a través del canal de calentamiento 72, dando lugar a un flujo rotacional 76 del  
 fluido calentado en torno a la dirección de flujo principal 74, la primera distancia de apertura D1 y la segunda  
 distancia de apertura son diferentes. Por ejemplo, la segunda distancia de apertura D2 puede ser más larga que  
 la primera distancia de apertura D1, como se ilustra, dando lugar, por ejemplo, a un flujo rotacional 76 desde el  
 lado de succión 54 hacia el lado de presión 52 en el borde de ataque, y desde el lado de presión hacia el lado de  
 succión 54 en la superficie posterior del canal de calentamiento 72, por ejemplo, el alma a cortante 22 o el lado de  
 larguero 23. Alternativamente, la segunda distancia de la abertura puede ser más corta que la primera distancia  
 de la abertura D1, lo que proporcionaría un flujo rotacional opuesto. De este modo, la posición de las aberturas 60'  
 afecta al flujo del fluido calentado el canal de calentamiento 72, dando lugar al flujo rotacional 76 del fluido calentado  
 en torno a la dirección de flujo principal 74.

50 [0052] La Fig. 5c es un diagrama esquemático que ilustra una vista en sección longitudinal de un alma a cortante  
 55 22 o un lado del larguero 23 ejemplar de una pala de turbina eólica. La vista en sección longitudinal se ve desde  
 el borde de ataque hasta el borde de salida. El alma a cortante 22 o el lado del larguero 23 puede comprender una  
 pluralidad de estructuras de guía 90 distribuidas a lo largo de una dirección longitudinal del alma a cortante 22 o  
 del lado del larguero 23, como por ejemplo a lo largo de una dirección longitudinal del canal de calentamiento 72.  
 Las estructuras de guía 90 pueden estar configuradas para afectar al flujo del fluido calentado a través del canal  
 de calentamiento 72, dando lugar a un flujo rotacional 76 del fluido calentado alrededor de una dirección de flujo  
 principal 74. Las estructuras de guía pueden estar configuradas de tal manera que el flujo rotacional 76 pueda girar  
 desde el lado de succión 54 hacia el lado de presión 52 en el borde de ataque, y desde el lado de presión hacia el  
 lado de succión 54 en la superficie posterior del canal de calentamiento 72, por ejemplo, el alma a cortante 22 o el  
 lado de larguero 23. La estructura de guía 90 comprende una superficie de guía 92. La normal de superficie de  
 guía n forma un ángulo de superficie de guía  $\phi$  con la dirección de flujo principal 74. El ángulo de la superficie de  
 guía  $\phi$  puede ser superior a 0 grados e inferior a 90 grados, por ejemplo, el ángulo de la superficie de guía  $\phi$  puede  
 ser de 45 grados.

65 [0053] La Fig. 6 muestra un diagrama de flujo de un método ejemplar 200, para el deshielo de una pala de turbina

eólica, como la pala de turbina eólica de cualquiera de las figuras anteriores, por ejemplo la Fig. 2. El método 200 comprende proporcionar un flujo de fluido calentado 202 a través del primer canal y del canal de calentamiento que tiene una dirección de flujo principal a lo largo de una dirección longitudinal de la pala de turbina eólica. Por ejemplo, el fluido calentado puede ser proporcionado por un aparato de calentamiento y circulación. El método 200 comprende además afectar 204 al flujo del fluido calentado a través del canal de calentamiento, dando lugar a un flujo rotacional del fluido calentado alrededor de la dirección de flujo principal. Por ejemplo, el flujo principal puede verse afectado proporcionando una o más aberturas con un elemento de dirección del fluido (véanse, por ejemplo, las figuras 4a, 4b o 5a), desplazando la o las aberturas hacia el lado de presión o el lado de succión (véanse, por ejemplo, las figuras 4c o 5b), o proporcionando una o más estructuras de guía (véase, por ejemplo, la figura 5c).

[0054] Se entenderá que los ejemplos anteriores no son mutuamente excluyentes y pueden combinarse. Las características individuales de las realizaciones anteriores pueden combinarse con las características de cualquier otra realización. Por ejemplo, pueden combinarse los ejemplos descritos anteriormente para afectar al flujo del fluido calentado a través del canal de calentamiento que da lugar a un flujo rotacional del fluido calentado en torno a la dirección principal del flujo. Por ejemplo, puede realizarse una pala de turbina eólica que tenga elementos de dirección de fluido 62 como se explica en relación con las Figs. 4a, 4b y 5a en combinación con aberturas desplazadas como se explica en relación con las Figs. 4c y 5b y/o en combinación con estructuras de guía 90 como se explica en relación con la Fig. 5c.

[0055] Una pala de turbina eólica con un sistema de deshielo como el descrito ofrece varias ventajas respecto a la técnica anterior. La invención proporciona un sistema de deshielo más eficiente y eficaz, lo que se traduce en una reducción de los esfuerzos y tensiones y de los requisitos de peso para la estructura general de la pala de la turbina eólica.

[0056] Se entenderá que los elementos comunes a las diferentes realizaciones de la invención se han proporcionado con los mismos números de referencia en los dibujos. Se entenderá además que las características individuales mostradas en las diferentes realizaciones de la invención no se limitan únicamente a esas realizaciones específicas, y pueden reproducirse adecuadamente en cualquiera de las otras realizaciones mostradas.

[0057] La invención se ha descrito con referencia a las realizaciones preferidas. Sin embargo, el alcance de la invención no se limita a las realizaciones ilustradas, y pueden llevarse a cabo alteraciones y modificaciones sin desviarse del alcance de la invención.

## LISTA DE REFERENCIAS

### [0058]

10	pala
14	punta de pala
15	extremo de punta
16	raíz de pala
17	extremo de raíz
18	borde de ataque
20	borde de salida
22	alma a cortante de borde de ataque
23	lado de larguero de borde de ataque
24	alma a cortante de borde de salida
25	lado de larguero de borde de salida
26	larguero
52	lado de presión
54	lado de succión
60	aberturas
62	elemento de dirección de fluido
	primer ángulo
70	primer canal
72	canal de calentamiento
74	dirección de flujo principal
76	flujo rotativo
78	cavidad de borde de ataque
79	superficie trasera
80	aparato de calentamiento y circulación
90	estructura de la guía
92	superficie de guía
n	normal de superficie de guía
$\phi$	ángulo de guía

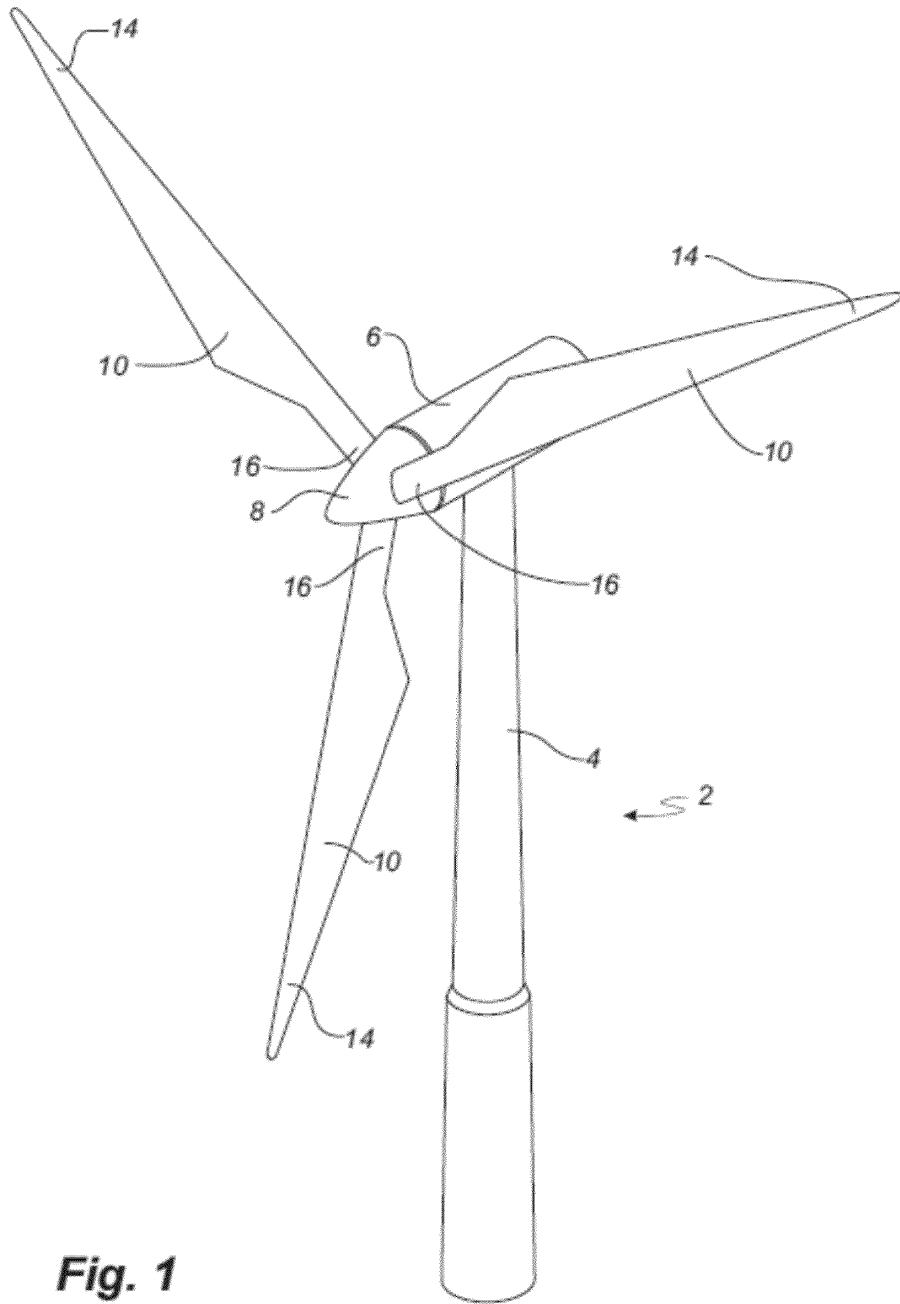
## ES 2 906 859 T3

D1 primera distancia de apertura  
D2 segunda distancia de apertura  
P1 primera posición  
P2 segunda posición

**REIVINDICACIONES**

1. Una pala (10) de turbina eólica que tiene un sistema de deshielo de pala, la pala de turbina eólica comprende un extremo de raíz (17) y un extremo de punta (15), un borde de ataque (18) y un borde de salida (20), un lado de succión (54) y un lado de presión (52), y una cavidad interna de borde de ataque (78) entre el borde de ataque (18) y una superficie posterior (79) formada por al menos un alma a cortante interna o un lado de larguero que se extiende entre el lado de succión (54) y el lado de presión (52), el sistema de deshielo de pala comprende:
- 5 un primer canal (70) que se extiende longitudinalmente desde una primera posición (P1) hasta una segunda posición (P2), en la que la segunda posición (P2) se encuentra entre el extremo de punta (15) y la primera posición (P1); y
- 10 un canal de calentamiento (72) que se extiende longitudinalmente desde la segunda posición (P2) hasta la primera posición (P1) a lo largo del borde de ataque (18) de la pala (10) de turbina eólica, estando el canal de calentamiento (72) y el primer canal (70) en conexión fluida;
- 15 donde el sistema de deshielo de pala está dispuesto para proporcionar un flujo de fluido calentado a través del primer canal (70) y del canal de calentamiento (72), teniendo el flujo de fluido calentado a través del canal de calentamiento (72) una dirección de flujo principal a lo largo de una dirección longitudinal de la pala (10) de la turbina eólica;
- caracterizada porque el sistema de deshielo de pala está configurado para afectar al flujo del fluido calentado a través del canal de calentamiento, dando lugar a un flujo rotativo del fluido calentado alrededor de la dirección de flujo principal, y
- 20 en el que el flujo rotativo está girando desde el lado de succión (54) hacia el lado de presión (52) en el borde de ataque (18) o girando desde el lado de presión (52) hacia el lado de succión (54) en el borde de ataque (18).
- 25 2. Pala de turbina eólica según la reivindicación 1 que comprende un aparato de calentamiento y/o un aparato de circulación (80) dispuesto en la primera posición (P1).
- 30 3. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el sistema de deshielo de la pala está dispuesto para proporcionar el flujo de fluido calentado desde la primera posición (P1) a través del primer canal (70) hasta la segunda posición (P2), y desde la segunda posición (P2) a través del canal de calentamiento (72) hasta la primera posición (P1).
- 35 4. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, y en la que la cavidad de borde de ataque (78) forma el canal de calentamiento (72).
5. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la superficie posterior (79) separa el canal de calentamiento (72) y el primer canal (70).
- 40 6. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el primer canal (70) está dispuesto en un espacio entre un alma a cortante de borde de ataque o un lado de larguero de borde de salida, y un alma a cortante de borde de salida o un lado de larguero de borde de salida.
- 45 7. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en la que el primer canal (70) está dispuesto dentro de la cavidad de borde de ataque (78).
- 50 8. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende una pluralidad de aberturas (60) entre el primer canal (70) y el canal de calentamiento (72), estando la pluralidad de aberturas distribuidas a lo largo de la dirección longitudinal de la pala (10) de turbina eólica.
- 55 9. Pala de turbina eólica según la reivindicación 8, en la que la pluralidad de aberturas (60) está configurada para dirigir el fluido calentado hacia el canal de calentamiento (72) en una primera dirección, formando la primera dirección un primer ángulo con una segunda dirección entre la abertura (60) y el borde de ataque (18).
10. Pala de turbina eólica según la reivindicación 9, en la que el primer ángulo es superior a 10 grados.
11. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 8-10, en la que la pluralidad de aberturas (60) comprende un elemento de dirección de fluido (62) para dirigir el fluido calentado en la primera dirección.

- 5 12. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 8-11, en la que la pluralidad de aberturas (60) está situada a una primera distancia de abertura (D1) del lado de succión (54) y a una segunda distancia de abertura (D2) del lado de presión (52), y en la que la segunda distancia de abertura (D2) es más larga que la primera distancia de abertura (D1).
13. Pala de turbina eólica según la reivindicación 12, en la que la segunda distancia de apertura (D2) es más del doble de la primera distancia de apertura (D1).
- 10 14. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el canal de calentamiento comprende una pluralidad de estructuras de guía (90) que se distribuyen a lo largo de la dirección longitudinal del canal de calentamiento (72), estando la pluralidad de estructuras de guía (90) configuradas para afectar al flujo del fluido calentado a través del canal de calentamiento (72) dando lugar al flujo rotacional del fluido calentado alrededor de la dirección de flujo principal.
- 15 15. Pala de turbina eólica según la reivindicación 14, en la que las estructuras de guía (90) comprenden una superficie de guía con una normal de superficie de guía que forma un ángulo de guía con la dirección de flujo principal, siendo el ángulo de guía superior a 0 grados e inferior a 90 grados.
- 20 16. Método (200) para el deshielo de una pala de turbina eólica que comprende un extremo de raíz y un extremo de punta, un borde de ataque y un borde de salida, un lado de succión y un lado de presión, y una cavidad interna de borde de ataque entre el borde de ataque y una superficie posterior formada por al menos un alma a cortante interna o un lado de larguero que se extiende entre el lado de succión y el lado de presión, la pala de turbina eólica comprende además un primer canal que se extiende longitudinalmente desde una primera posición hasta una
- 25 segunda posición, en la que la segunda posición se encuentra entre el extremo de punta y la primera posición, y la pala de turbina eólica comprende además un canal de calentamiento que se extiende longitudinalmente desde la segunda posición hasta la primera posición a lo largo del borde de ataque de la pala de turbina eólica, estando el canal de calentamiento y el primer canal en conexión fluida, comprendiendo el método:
- 30 - proporcionar (202) un flujo de fluido calentado a través del primer canal y del canal de calentamiento, teniendo el flujo de fluido calentado a través del canal de calentamiento una dirección de flujo principal a lo largo de una dirección longitudinal de la pala de turbina eólica, y
- 35 - afectando (204) al flujo del fluido calentado a través del canal de calentamiento, dando lugar a un flujo rotativo del fluido calentado en torno a la dirección principal del flujo, en el que el flujo rotativo está girando desde el lado de succión hacia el lado de presión en el borde de ataque o girando desde el lado de presión hacia el lado de succión en el borde de ataque.



**Fig. 1**

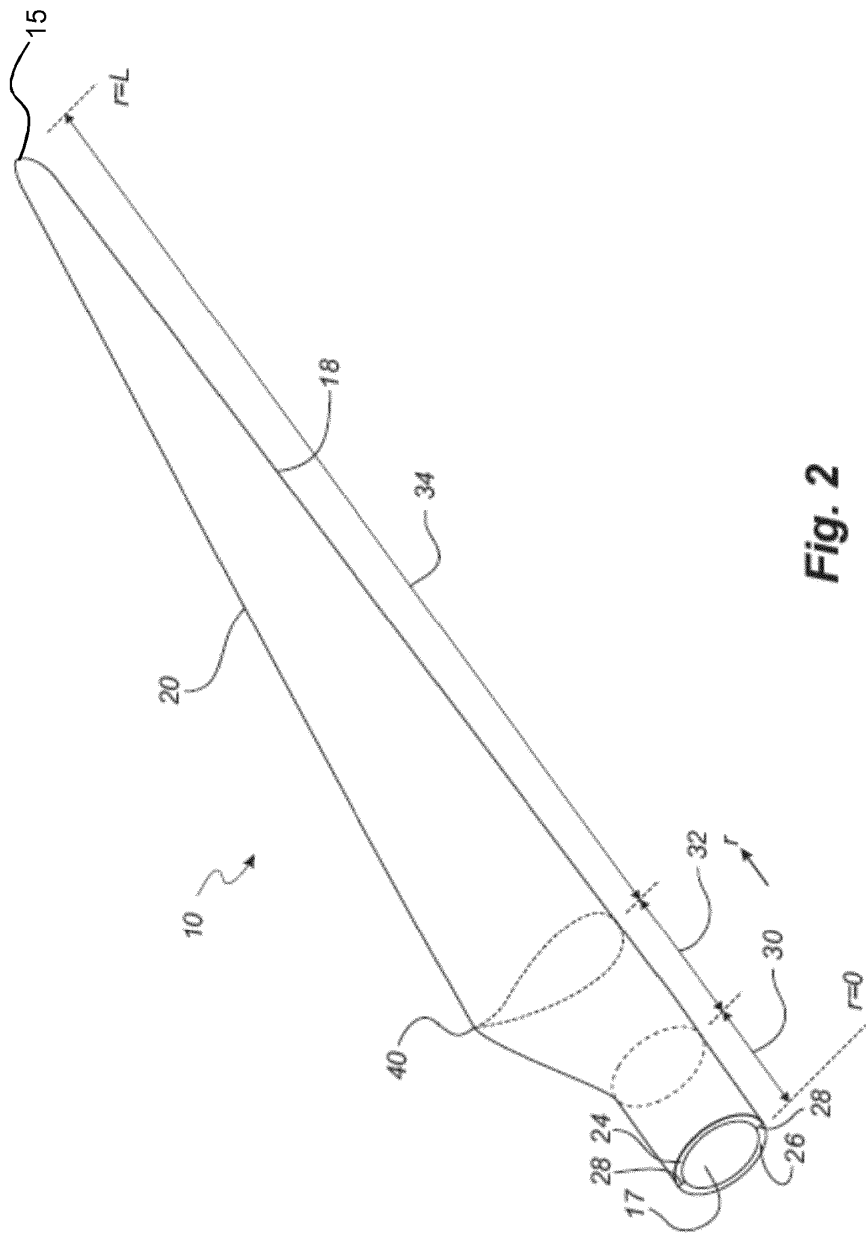
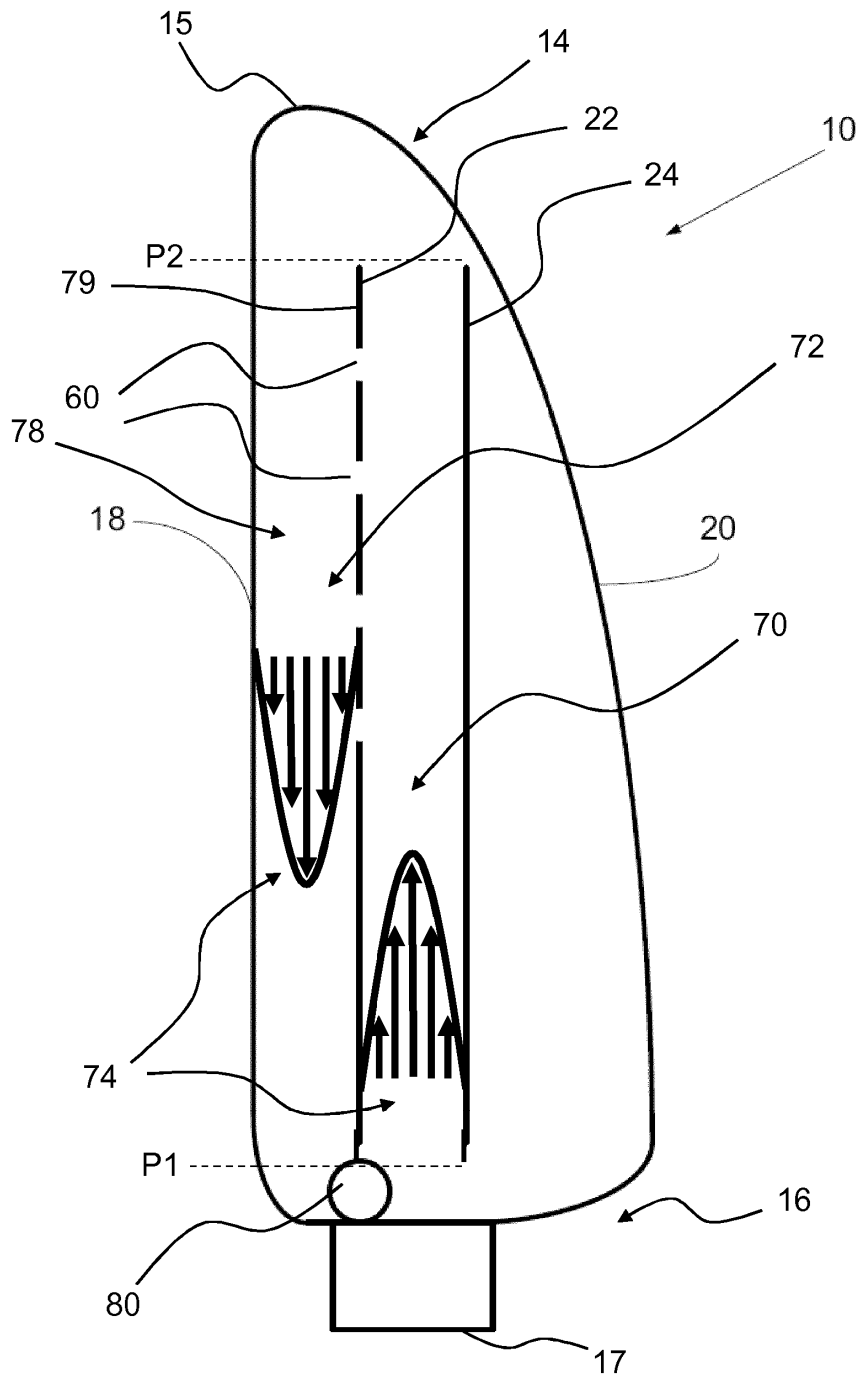
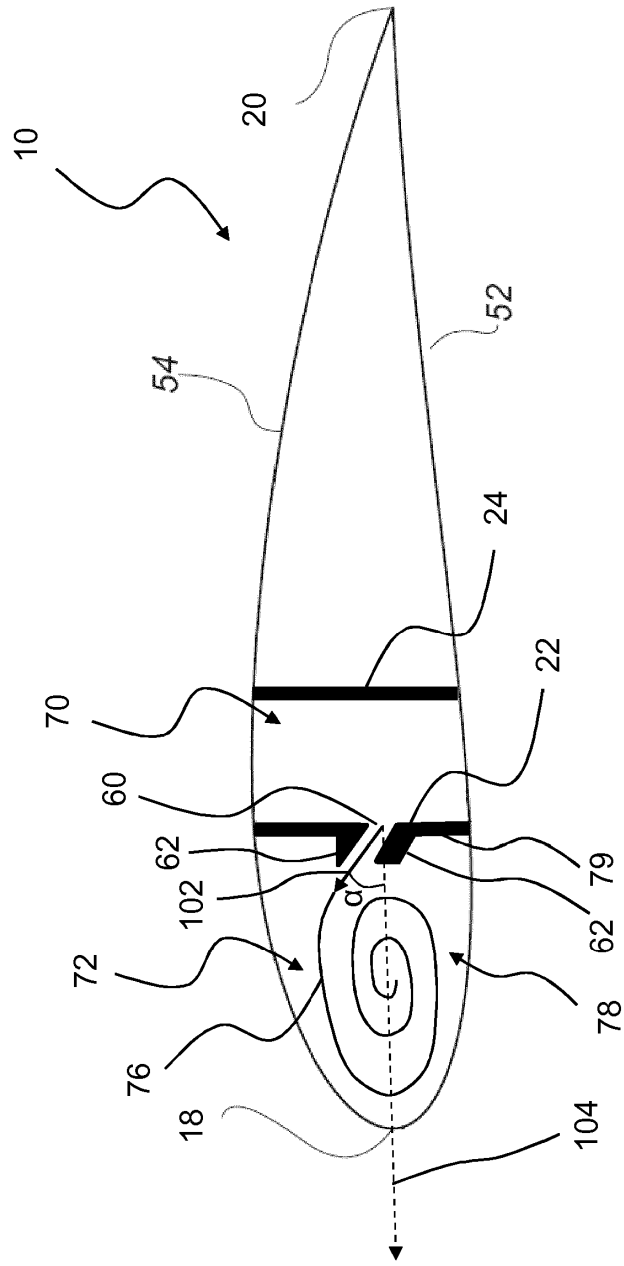


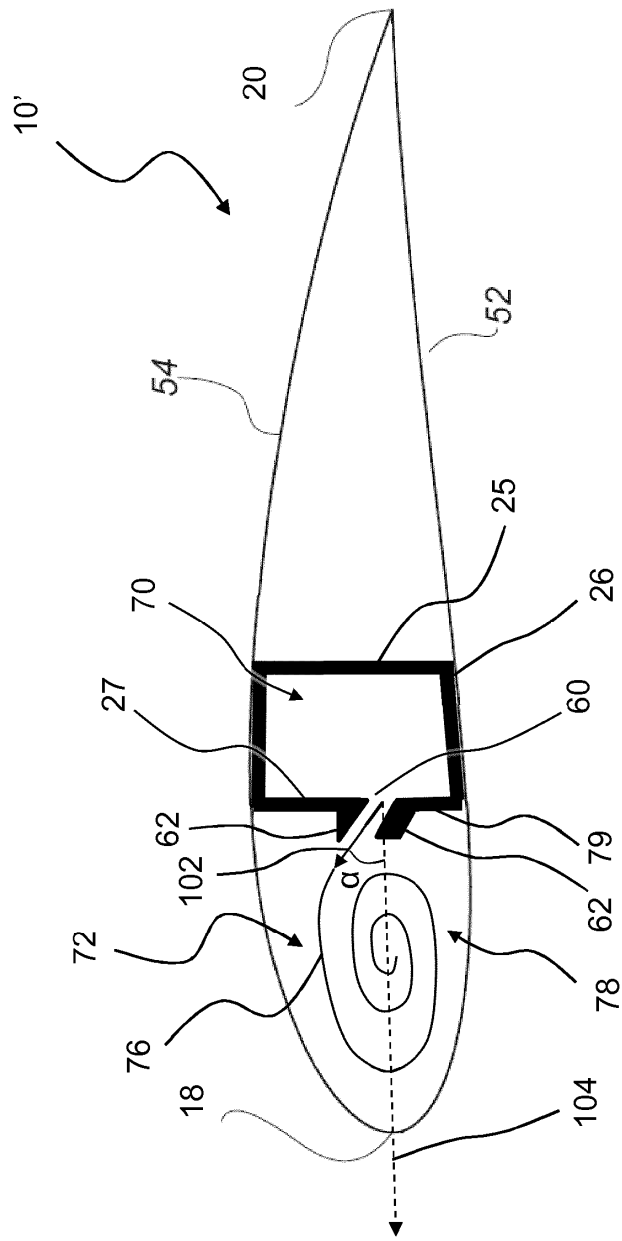
Fig. 2



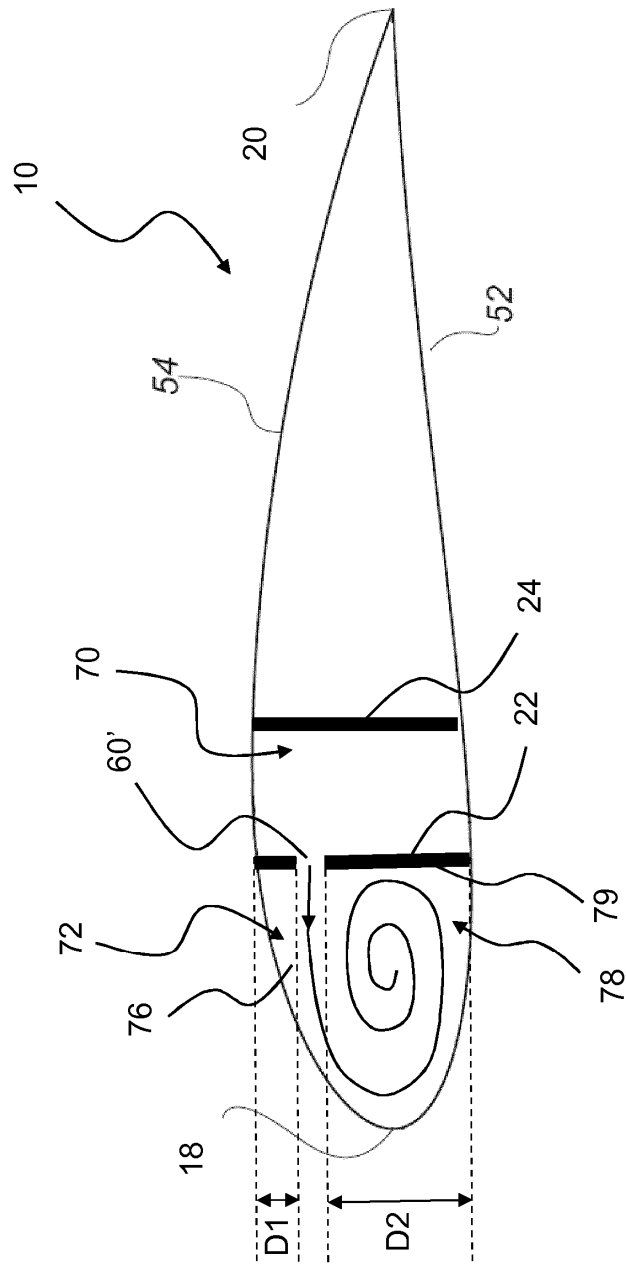
**Fig. 3**



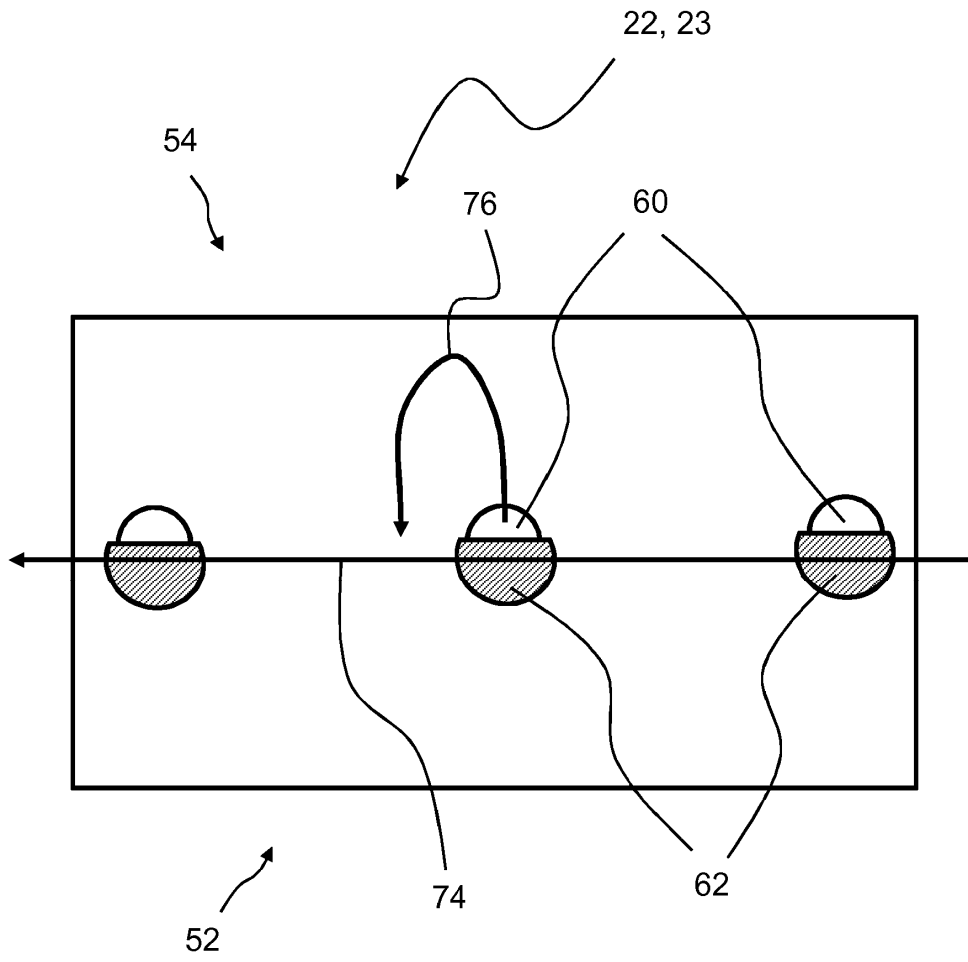
**Fig. 4a**



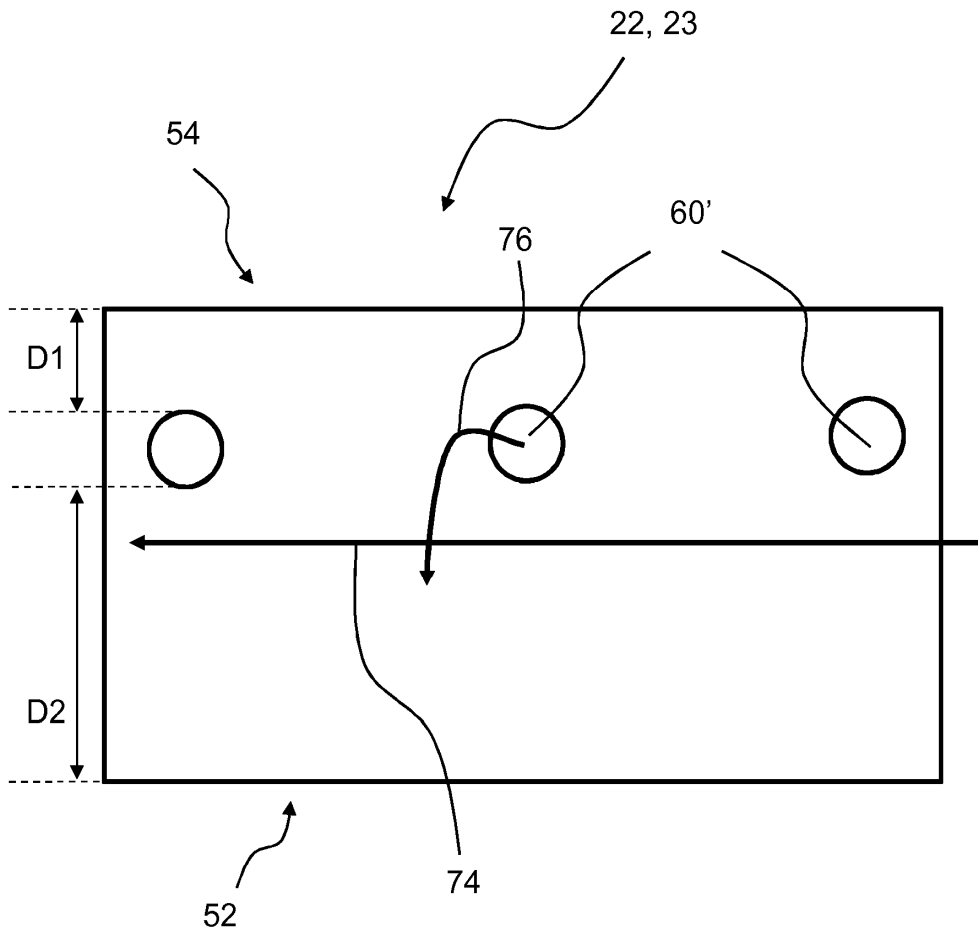
**Fig. 4b**



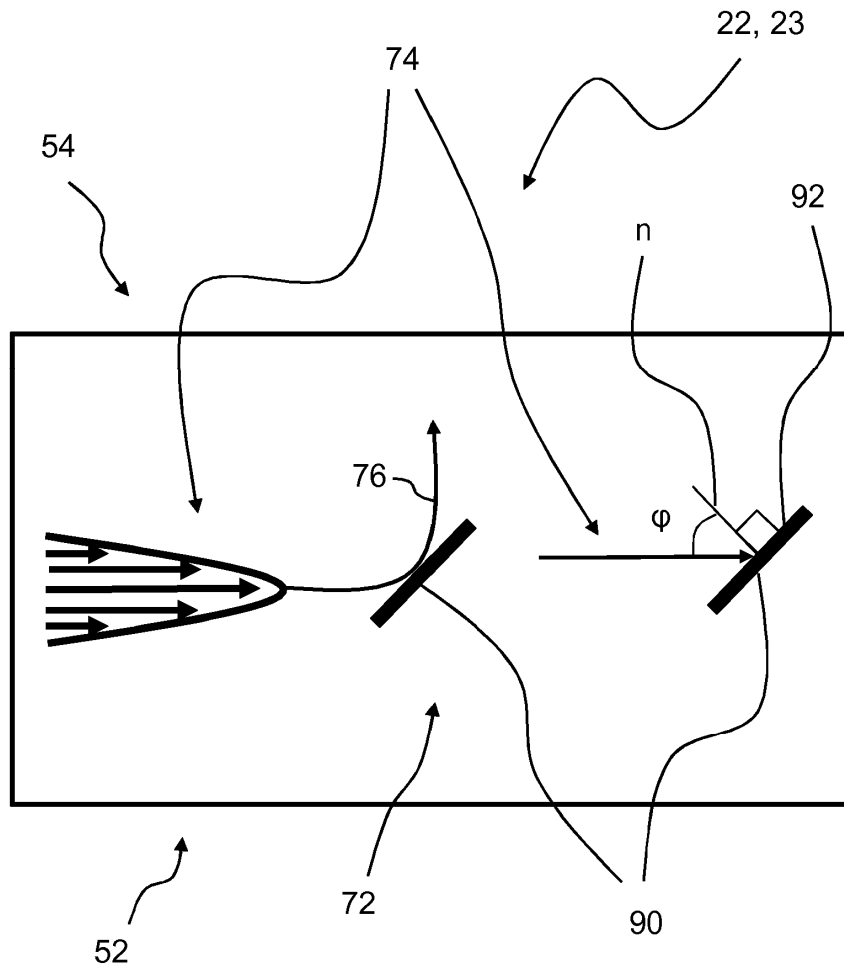
**Fig. 4c**



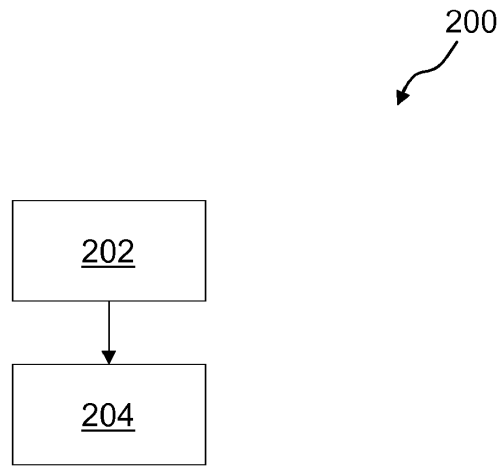
**Fig. 5a**



**Fig. 5b**



**Fig. 5c**



**Fig. 6**