

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 790**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.05.2005 PCT/DK2005/000324**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **23.11.2006 WO06122547**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.05.2005 E 05739534 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.05.2017 EP 1886016**

54 Título: **Pala de turbina eólica controlada por cabeceo que tiene medios de generación de turbulencia, turbina eólica y uso de la misma**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.07.2017

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N , DK**

72 Inventor/es:

**GODSK, KRISTIAN, BALSCHMIDT y
NIELSEN, THOMAS, STEINICHE, BJERTRUP**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 627 790 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

Pala de turbina eólica controlada por cabeceo que tiene medios de generación de turbulencia, turbina eólica y uso de la misma

Antecedentes de la invención

- 5 La invención se refiere a una pala de turbina eólica controlada por cabeceo tal como se especifica en el preámbulo de la reivindicación 1, a una turbina eólica tal como se especifica en la reivindicación 15 y al uso de la misma.

Descripción de la técnica relacionada

- 10 Una turbina eólica conocida en la técnica comprende una torre de turbina eólica y una góndola de turbina eólica situada encima de la torre. Un rotor de turbina eólica con tres palas de turbina eólica está conectado a la góndola a través de un árbol de baja velocidad, que se extiende fuera de la parte delantera de la góndola tal como se ilustra en la figura 1.

- 15 En turbinas eólicas controladas por entrada en pérdida, las palas de rotor están habitualmente unidas en un ángulo fijo. Sin embargo, la geometría del perfil de pala de rotor está diseñada aerodinámicamente para garantizar que, en situaciones de alta velocidad del viento, se crea turbulencia en el lado posterior de la pala de rotor, haciendo que entre en pérdida. La ventaja básica del control de entrada en pérdida es que se evitan partes móviles en el rotor y un sistema de control complejo.

Una desventaja en palas de turbina eólica controlada por entrada en pérdida es el hecho de que la entrada en pérdida es un mecanismo de generación de ruido significativo, cuando la capa límite se separa de la superficie de pala. El ruido generado es normalmente de alto nivel y de alta frecuencia, por ejemplo en la zona de los kilohercios.

- 20 Para impedir una entrada en pérdida temprana a velocidades del viento que se producen antes de alcanzarse la potencia nominal, se conoce proporcionar a las palas controladas por entrada en pérdida generadores de vórtice cerca de la raíz de las palas, donde la velocidad de las palas es la menor. Aplicando generadores de vórtice se crea turbulencia controlada y por tanto puede retrasar la separación de la capa límite.

- 25 El documento GB 2186033 da a conocer una pala de turbina eólica dotada de trayectorias que se extienden longitudinalmente, en la que se dirige aire hacia fuera y sobre la pala adhiriéndose a la superficie de pala. De ese modo, el aire se acelera sobre la superficie de pala aumentando la sustentación aerodinámica. El documento WO 2004/099608 da a conocer el uso de flaps de regulación de la sustentación ajustables en el lado de superficie de sotavento de una pala de turbina eólica regulada por cabeceo.

- 30 Además, a partir del documento WO 00/15961 se conoce proporcionar a las palas generadores de vórtice a lo largo de toda la longitud de las palas, para impedir la entrada en pérdida prematura a una alta velocidad del viento en las palas controladas por entrada en pérdida.

- 35 Sin embargo, las palas de una turbina eólica controlada por entrada en pérdida tienen que diseñarse bien y ser resistentes con el fin de impedir vibraciones inducidas por entrada en pérdida y para resistir las fuerzas de altas velocidades del viento. El tamaño y especialmente el peso de palas de turbina eólica controlada por entrada en pérdida son significativamente mayores que cualquier otro tipo de palas de turbina eólica. Por consiguiente, el control por entrada en pérdida no es una elección típica en el diseño de turbinas eólicas modernas grandes.

Además, usar generadores de vórtice en turbinas eólicas controladas por entrada en pérdida da como resultado un gran aumento de la resistencia aerodinámica durante el funcionamiento normal y también ruido autoinducido a partir de los generadores de vórtice.

- 40 Un objeto de la invención es proporcionar una técnica de pala aerodinámica ventajosa para turbinas eólicas modernas grandes y palas de turbina eólica.

Especialmente, un objeto de la invención es proporcionar una técnica ventajosa para turbinas eólicas controladas por cabeceo y palas de turbina eólica, con respecto a la emisión de ruido.

La invención

- 45 La invención proporciona una pala de turbina eólica controlada por cabeceo, según la reivindicación 1, en la que dicha pala comprende medios de generación de turbulencia en la que dichos medios están colocados en el lado de superficie de sotavento de dicha pala de turbina eólica y en la sección exterior de dicha pala de turbina eólica en dirección de la punta de pala.

- 50 La altura de dichos medios de generación de turbulencia tiene el mismo alcance o es más alta más cerca del borde de salida de dicha pala de turbina eólica, que más cerca del borde de ataque de dicha pala de turbina eólica.

Realizar los medios de generación de turbulencia con una altura constante o superior en la parte posterior vista

desde la punta o la raíz de la pala resulta ventajoso, porque proporciona a los medios buenas cualidades de generación de turbulencia.

5 La altura más alta de dichos medios de generación de turbulencia es de entre el 0,01% y el 5%, preferiblemente entre el 0,1% y el 3% y lo más preferiblemente entre el 0,2% y el 0,8% de la longitud de cuerda de dicha pala de turbina eólica.

El presente intervalo de altura proporciona a los medios de generación de turbulencia una relación ventajosa entre emisión de ruido y resistencia aerodinámica.

10 Resulta ventajoso proporcionar a una pala de turbina eólica controlada por cabeceo medios de generación de turbulencia, porque hace posible optimizar de manera continua el ángulo de ataque de palas con respecto a la producción de potencia y emisión de ruido.

Además, el oído humano es sensible al ruido en una banda de frecuencia estrecha. Proporcionar a la pala medios de generación de turbulencia amplía la banda de frecuencia a la que se emite el ruido, haciendo que sea menos irritante para el oído humano.

15 Además, los medios de generación de turbulencia pueden transformar una parte de la frecuencia de ruidos generados, de baja frecuencia a alta frecuencia. Esto resulta ventajoso porque el aire puede absorber de manera mucho más eficiente el ruido a alta frecuencia que el ruido a baja frecuencia, lo que reduce de ese modo la emisión de ruido global de la pala y por tanto de la turbina eólica en la que está montada la pala, según lo percibe el oído humano.

20 El término "lados de superficie de sotavento" también puede entenderse como el lado de succión, es decir, el lado de la pala orientado hacia la torre en una turbina eólica a barlovento durante el funcionamiento normal.

En un aspecto de la invención, dichos medios de generación de turbulencia son medios de reducción de ruido de flujo de aire.

25 Las turbinas eólicas producen ruido cuando las palas rotan a través del aire. Por tanto, resulta ventajoso proporcionar a las palas medios de reducción de ruido de flujo de aire, aunque esto puede aumentar la resistencia aerodinámica y por tanto reducir marginalmente la eficiencia de turbinas eólicas.

En un aspecto de la invención, dichos medios de generación de turbulencia se colocan en una sección exterior que oscila entre el 60% y el 100% de la longitud de dicha pala, por ejemplo la tercera parte más externa de dicha pala de turbina eólica.

30 La emisión de ruido a partir de una pala de turbina eólica aumenta cuando aumenta la velocidad de rotación de la pala; y la velocidad de pala, con respecto al aire circundante, aumenta hacia la punta de la pala. Por tanto, el presente intervalo proporciona una colocación ventajosa de los medios de generación de turbulencia con respecto a la emisión de ruido.

En un aspecto de la invención, dicha sección exterior está subdividida en dos o más subsecciones, y dichos medios de generación de turbulencia son sustancialmente uniformes dentro de cada una de dichas subsecciones.

35 Hacer que los medios de generación de turbulencia sean uniformes resulta ventajoso desde el punto de vista de la producción, porque pueden producirse en masa, y por tanto reducir considerablemente el coste de los medios de generación de turbulencia individuales. Pero para reducir eficazmente la emisión de ruido a partir de la pala, puede resultar ventajoso variar el diseño o el tamaño de los medios de generación de turbulencia a lo largo de la sección de la pala en la que se distribuyen. Subdividiendo la sección exterior en dos o más subsecciones en las que los
40 medios de generación de turbulencia son sustancialmente uniformes, se alcanza una relación ventajosa entre los costes de fabricación y la reducción de emisión de ruido.

En un aspecto de la invención, la distancia entre dichos medios de generación de turbulencia es sustancialmente constante.

45 Mantener la distancia entre los medios de generación de turbulencia sustancialmente constante resulta ventajoso porque facilita montarlos en una pala de turbina eólica ya fabricada. Además, también puede mejorar la eficiencia de los medios de generación de turbulencia con respecto a la reducción de la emisión de ruido.

En un aspecto de la invención, dichos medios de generación de turbulencia se colocan en un intervalo de entre el 5% y el 85%, preferiblemente entre el 10% y el 75% y lo más preferiblemente entre el 15% y el 60% de la longitud de cuerda, desde el borde de ataque de dicha pala de turbina eólica.

50 El presente intervalo proporciona una colocación ventajosa de los medios de generación de turbulencia con respecto a la emisión de ruido.

En un aspecto de la invención, dichos medios de generación de turbulencia están unidos a la pala de turbina eólica

de manera individual o por parejas por medio de medios de unión tales como tornillos, pernos, remaches, soldadura o preferiblemente adhesivo.

Resulta ventajoso unir los medios de generación de turbulencia de manera individual o por parejas, porque permite la posibilidad de situar los medios de manera individual para una reducción del ruido óptima.

- 5 En un aspecto de la invención, dichos medios de generación de turbulencia están unidos a la pala de turbina eólica como parte de una tira de cinta, una bobina o una banda por medio de medios de unión tales como tornillos, pernos, remaches, soldadura o preferiblemente adhesivo.

Resulta ventajoso unir los medios de generación de turbulencia a la superficie de la pala como parte de una tira de cinta, una bobina o una banda, porque proporciona una manera sencilla y rentable de unir los medios.

- 10 En un aspecto de la invención, dichos medios de generación de turbulencia son placas que se extienden formando un ángulo de entre 60° y 120°, por ejemplo de manera ortogonal desde la superficie de dicho lado de superficie de sotavento de palas de turbina eólica.

Diseñar los medios de generación de turbulencia como placas que se extienden desde el lado de superficie de succión de palas en el presente intervalo de ángulo proporciona un diseño ventajoso de los medios de generación de turbulencia con respecto a la emisión de ruido.

- 15 En un aspecto de la invención, dichos medios de generación de turbulencia comprenden lados situados de manera alternante formando un ángulo con respecto a la dirección del flujo de aire de entre 50° y 2°, preferiblemente entre 30° y 5° y lo más preferiblemente entre 20° y 10° y entre -50° y -2°, preferiblemente entre -30° y -5° y lo más preferiblemente entre -20° y -10°.

- 20 Hacer que el ángulo de los lados de los medios de generación de turbulencia sea de manera alternante positivo y negativo con respecto a la dirección del flujo de aire incidente proporciona un diseño ventajoso de los medios de generación de turbulencia con respecto a la generación de turbulencia y la emisión de ruido.

En un aspecto de la invención, dichos medios de generación de turbulencia están formados de manera solidaria con la pala de turbina eólica.

- 25 Formar los medios de generación de turbulencia de manera solidaria con la pala de turbina eólica, por ejemplo durante la fabricación de la pala, resulta ventajoso porque proporciona una manera sencilla y rentable de proporcionar a la pala medios de generación de turbulencia.

En un aspecto de la invención, dichos medios de generación de turbulencia son generadores de vórtice.

- 30 Usar generadores de vórtice como medios para impedir o minimizar la entrada en pérdida se conoce bien en la técnica de fabricación de palas de turbina eólica, alas de aeronaves y otros. Por tanto, muchas cuestiones referentes a métodos de producción, métodos de unión y otros ya se han abordado, y por tanto resulta ventajoso aprovechar estas experiencias en la fabricación de medios de generación de turbulencia.

En un aspecto de la invención, dicha pala de turbina eólica comprende al menos una unidad de control de cabeceo.

- 35 La invención proporciona además una turbina eólica según la reivindicación 15 que comprende al menos dos palas de turbina eólica controlada por cabeceo. De ese modo se logra un aparato ventajoso según la invención.

En un aspecto de la invención, dicha turbina eólica es una turbina eólica controlada por cabeceo de velocidad variable.

- 40 Las velocidades de rotación variables producen ruido variable a niveles variables que pueden ser particularmente irritantes para el oído humano. Por tanto, resulta ventajoso reducir la emisión de sonido mediante el uso de medios de generación de turbulencia en las palas en turbina eólica controlada por cabeceo de velocidad variable.

La invención también se refiere al uso de palas de turbina eólica controlada por cabeceo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14 en relación con una turbina eólica controlada por cabeceo según las reivindicaciones 15 ó 16 para ajustar el cabeceo de pala y el nivel de ruido.

Figuras

- 45 La invención se describirá a continuación con referencia a las figuras en las que

la figura 1 ilustra una turbina eólica moderna grande vista desde la parte delantera,

la figura 2 ilustra una pala de turbina eólica, vista desde la parte delantera,

la figura 3 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica, vista desde la raíz de la pala,

la figura 4 ilustra una realización de un medio de generación de turbulencia visto desde la parte delantera,

la figura 5 ilustra la misma realización de un medio de generación de turbulencia que la ilustrada en la figura 4, visto desde el lado,

5 la figura 6 ilustra la misma realización de un medio de generación de turbulencia que la ilustrada en la figura 4, visto desde la parte superior,

la figura 7 ilustra una realización de un medio de generación de turbulencia macizo visto desde la parte delantera,

la figura 8 ilustra la misma realización de un medio de generación de turbulencia que la ilustrada en la figura 7, visto desde el lado,

10 la figura 9 ilustra la misma realización de un medio de generación de turbulencia que la ilustrada en la figura 7, visto desde la parte superior,

la figura 10 ilustra otra realización de un medio de generación de turbulencia macizo visto desde la parte delantera,

la figura 11 ilustra la misma realización de un medio de generación de turbulencia que la ilustrada en la figura 10, visto desde el lado,

15 la figura 12 ilustra la misma realización de un medio de generación de turbulencia que la ilustrada en la figura 10, visto desde la parte superior,

la figura 13 ilustra una sección de pala de turbina eólica, visto desde el lado de sotavento, que comprende varios medios de generación de turbulencia,

la figura 14 ilustra una sección de pala de turbina eólica, vista desde el borde de ataque de la pala, que comprende varios medios de generación de turbulencia, y

20 la figura 15 ilustra una diagrama que muestra los resultados de una serie de pruebas.

Descripción detallada

25 La figura 1 ilustra una turbina eólica moderna 1, que comprende una torre 2 y una góndola de turbina eólica 3 situada encima de la torre 2. El rotor de turbina eólica 4, que comprende tres palas de turbina eólica 5, está conectado a la góndola 3 a través del árbol de baja velocidad que se extiende fuera de la parte delantera de la góndola 3.

La figura 2 ilustra una pala de turbina eólica 5, vista desde la parte delantera/lado de presión 14. La pala de turbina eólica 5 comprende un borde de ataque 6, un borde de salida 7, una punta 8 y una raíz 9. Una pala de turbina eólica 5 conocida en la técnica se fabrica normalmente de un material compuesto de resina y fibra de vidrio reforzado por fibra de carbono, madera reforzada con fibra de carbono o una combinación de los mismos.

30 La longitud de la pala 5 se indica mediante BL.

En la raíz 9 la pala 5 está dotada de una unidad de control de cabeceo 16 que puede comprender cojinetes, rueda dentada, medios para producir el cabeceo de la pala 5 y/o medios para unir los medios para producir el cabeceo de la pala 5.

35 OS indica la sección exterior de la pala 5 en esta realización de la invención, y la sección exterior OS está adicionalmente subdividida en subsecciones 1, 2 y 3 SS1, SS2, SS3. En otra realización de la invención, la sección exterior OS puede subdividirse en otro número de subsecciones, por ejemplo dos o cuatro de longitud idéntica o variable. La sección exterior OS constituye aproximadamente el 40% de la longitud de pala BL en esta realización de la invención, es decir, se extiende desde aproximadamente el 60% de la longitud de pala BL hasta el 100% de la longitud de pala BL, medida desde la raíz 9.

40 La figura 3 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica 5, vista desde la raíz 9 de la pala 5. La pala 5 comprende un lado de succión/sotavento 13, un lado de presión 14, un borde de ataque 6 y un borde de salida 7. La longitud de cuerda de la pala 5 se ilustra como C y es la distancia entre el borde de ataque 6 y el borde de salida 7. La altura de la pala 5 se marca como t.

45 En esta realización de la invención, un medio de generación de turbulencia 10 está colocado en el lado de sotavento 13 de la pala 5 a aproximadamente el 20% de la longitud de cuerda C desde el borde de ataque 6.

50 La figura 4 ilustra una realización de un medio de generación de turbulencia 10 visto desde la parte delantera. En esta realización, el medio de generación de turbulencia 10 está compuesto por una única placa en la que los extremos de la placa están curvados hacia arriba, produciendo una aleta o placa 15 que se extiende de manera ortogonal desde cada extremo de la base 11. Entonces la base 11 se une a la superficie de una pala de turbina eólica 5, por ejemplo mediante medios adhesivos, tornillos, pernos, remaches u otros medios de unión adecuados.

En otra realización de la invención, las aletas 15 pueden ser placas individuales unidas a la base 11 mediante el uso de medios adhesivos, soldadura, tornillos, pernos u otros, o las aletas 15 pueden unirse directamente a la pala de turbina eólica 5, por ejemplo mediante el uso de medios adhesivos, tornillos, pernos u otros o incluso realizarse de manera solidaria con la pala 5 durante la fabricación de la pala 5.

5 Las aletas 15 también pueden realizarse de manera solidaria con una tira de cinta, una bobina o una banda realizada por ejemplo de aluminio, acero inoxidable, plástico o cualquier otro material adecuado para ese fin. Esta tira de cinta, bobina o banda que contiene un gran número de medios de generación de turbulencia 10 se unirá entonces a la pala de turbina eólica 5, por ejemplo mediante el uso de medios adhesivos, tornillos, pernos u otros.

10 El medio de generación de turbulencia 10 puede realizarse del mismo tipo de material del que está realizada la pala 5, o puede realizarse de madera, metal tal como aluminio o acero inoxidable, plástico o cualquier otro material adecuado para realizar medios de generación de turbulencia 10.

15 La figura 5 ilustra la misma realización de unos medios de generación de turbulencia 10 que la ilustrada en la figura 4, vistos desde el lado. En esta realización de la invención, las aletas 15 del medio de generación de turbulencia 10 son triangulares, haciendo que las aletas 15 sean lo más altas en la parte posterior. La altura más alta de las aletas 15 se ilustra como la medida H.

En otra realización de la invención, las aletas 15 pueden estar conformadas como una parte de un círculo o un cono, como una aleta de tiburón, rectangulares o de cualquier otra forma adecuada para generar turbulencia.

20 La figura 6 ilustra la misma realización de un medio de generación de turbulencia 10 que la ilustrada en la figura 4, visto desde la parte superior. La flecha en la parte delantera del medio de generación de turbulencia 10 ilustra la dirección de flujo de aire durante el funcionamiento normal, cuando el medio de generación de turbulencia 10 está montado en una pala de turbina eólica 5. Tal como se ilustra mediante el ángulo A, los lados 12 del medio de generación de turbulencia 10 están situados formando un ángulo de aproximadamente 16° y -16° con respecto a la dirección de flujo de aire. En otra realización de la invención, los lados 12 pueden situarse formando otro ángulo con respecto a la dirección de flujo de aire o los lados 12 pueden ser paralelos a la dirección de flujo de aire.

25 La figura 7 ilustra una realización de unos medios de generación de turbulencia macizos 10 vistos desde la parte delantera. En esta realización de la invención, el medio de generación de turbulencia 10 se realiza como un elemento macizo que comprende una base 11, que puede unirse a la superficie de una pala de turbina eólica 5, por ejemplo mediante medios adhesivos, tornillos, pernos, remaches u otros medios de unión adecuados, o el medio de generación de turbulencia 10 puede formarse de manera solidaria con la pala 5 durante la fabricación de la pala 5.
30 En otra realización de la invención, el medio de generación de turbulencia 10 ilustrado también puede ser hueco.

Tal como se ilustra mediante el ángulo A, los lados 12 del medio de generación de turbulencia macizo 10 se crean formando un ángulo de aproximadamente 15° y -15° con respecto a la dirección de flujo de aire. En otra realización de la invención, los lados 12 pueden situarse formando otro ángulo con respecto a la dirección de flujo de aire o los lados 12 pueden ser paralelos a la dirección de flujo de aire.

35 La figura 8 ilustra la misma realización de un medio de generación de turbulencia 10 tal como se ilustra en la figura 7, visto desde el lado.

La figura 9 ilustra la misma realización de un medio de generación de turbulencia 10 tal como se ilustra en la figura 7, visto desde la parte superior.

40 La figura 10 ilustra otra realización de un medio de generación de turbulencia macizo 10 visto desde la parte delantera.

La figura 11 ilustra la misma realización de un medio de generación de turbulencia 10 tal como se ilustra en la figura 10, visto desde el lado. En otra realización de la invención, la parte delantera y la parte posterior del medio 10 pueden ser iguales haciendo que el medio 10 sea sustancialmente rectangular o cuadrado visto desde el lado. Este puede ser el caso independientemente de si el medio 10 es macizo, placas u otro.

45 La figura 12 ilustra la misma realización de un medio de generación de turbulencia 10 tal como se ilustra en la figura 10, visto desde la parte superior.

50 La figura 13 ilustra una sección de la sección exterior de una pala de turbina eólica 5, vista desde el lado de sotavento, que comprende varios medios de generación de turbulencia 10. En esta realización de la invención, los medios de generación de turbulencia 10 están situados sobre la pala en una línea recta, pero en otra realización de la invención pueden situarse dentro de un intervalo fijo o variable desde el borde de ataque 6 o el borde de salida 7 de la pala 5.

Los medios de generación de turbulencia 10 están situados a intervalos regulares, pero en otra realización de la invención los medios de generación de turbulencia 10 pueden situarse a distancias variables entre medios 10 adyacentes. En otra realización de la invención los medios de generación de turbulencia 10 también pueden situarse

en más de una fila, por ejemplo dos o tres filas.

En esta realización de la invención, los medios de generación de turbulencia 10 tienen todos el mismo tamaño y diseño vistos desde la parte delantera, pero en otra realización tanto el tamaño como el diseño pueden variar a lo largo de toda la longitud de la sección en la que se colocan los medios de generación de turbulencia 10.

5 La figura 14 ilustra una sección de la sección exterior de una pala de turbina eólica 5, vista desde el borde de ataque 6, que comprende varios medios de generación de turbulencia 10. En esta realización de la invención, la sección exterior en la que se sitúan los medios de generación de turbulencia 10 está subdividida en dos subsecciones, en la que los medios de generación de turbulencia 10 tienen diferente altura en las diferentes subsecciones.

10 La figura 15 ilustra un diagrama que muestra los resultados de una serie de pruebas llevadas a cabo con una turbina eólica Vestas V90-2MW. El eje de las ordenadas muestra el nivel de potencia acústica ponderado en A medido en dBA, y el eje de las abscisas muestra el ángulo de ataque (AoA) medido en grados.

15 Durante el funcionamiento normal de una turbina eólica 1, las palas 5 se hacen rotar con respecto al plano de rotor. El viento incidente es aproximadamente ortogonal al plano de rotor, pero dado que las palas 5 están en movimiento, el ángulo efectivo y la velocidad del viento incidente (es decir, correspondiente a palas estacionarias) depende de la velocidad de rotación de la pala. El ángulo efectivo se denomina ángulo de ataque (AoA).

De manera ideal, el ángulo de ataque será de aproximadamente 3° a 8°, pero cuando las velocidades del viento se vuelven demasiado altas, las palas se someten a cabeceo fuera del viento para proteger la turbina eólica. Por tanto, el presente diagrama ilustra la relación entre la producción de ruido total de la turbina eólica a diferentes ángulos de ataque para las palas 5, es decir diferentes velocidades del viento.

20 En el diagrama, los puntos grises ilustran una serie de medidas realizadas en diferentes condiciones meteorológicas antes de montar ningún medio de generación de turbulencia 10 en las palas 5. La curva gris ilustra el ajuste de ecuación de los puntos grises.

25 Los puntos de color gris oscuro ilustran una serie de medidas realizadas en malas condiciones meteorológicas con medios de generación de turbulencia 10 montados en las palas 5. Los puntos negros ilustran una serie de medidas realizadas en buenas condiciones meteorológicas con medios de generación de turbulencia 10 montados en las palas 5. La curva negra ilustra el ajuste de ecuación combinado de los puntos de color gris oscuro y los negros. Las dos curvas ilustran que proporcionar a las palas 5 medios de generación de turbulencia 10 reduce el nivel de potencia acústica ponderado en A en hasta 3 dBA durante el funcionamiento normal, y a un ángulo de ataque alto la reducción es de hasta 5 dBA.

30 La invención se ha mostrado anteriormente a modo de ejemplo con referencia a ejemplos específicos de palas de turbina eólica 5 y medios de generación de turbulencia 10. Sin embargo, debe entenderse que la invención no se limita a los ejemplos particulares descritos anteriormente sino que puede diseñarse y alterarse en una multitud de variedades dentro del alcance de la invención tal como se especifica en las reivindicaciones.

Lista

- 35 1. Turbina eólica
- 2. Torre
- 3. Góndola
- 4. Rotor
- 5. Pala
- 40 6. Borde de ataque
- 7. Borde de salida
- 8. Punta
- 9. Raíz
- 10. Medio de generación de turbulencia
- 45 11. Base de medio de generación de turbulencia
- 12. Lado de medio de generación de turbulencia
- 13. Lado de sotavento

- 14. Lado de presión
- 15. Placas o aletas
- 16. Unidad de control de cabeceo
- OS. Sección exterior
- 5 C. Longitud de cuerda
 - t. Altura de pala
 - A. Ángulo de lados
 - H. Altura más alta de medio de generación de turbulencia
 - AoA. Ángulo de ataque
- 10 SS1. Subsección 1
- SS2. Subsección 2
- SS3. Subsección 3
- BL. Longitud de pala

REIVINDICACIONES

1. Pala de turbina eólica controlada por cabeceo (5) que comprende un lado de superficie de presión (14) y un lado de superficie de sotavento (13) estableciendo dichas superficies (13, 14) un borde de ataque (6) y un borde de salida (7)

5 caracterizada porque

dicha pala (5) comprende medios de generación de turbulencia (10), en la que dichos medios (10) están colocados en dichos lados de superficie de sotavento (13) de dicha pala de turbina eólica (5) y en la sección exterior (OS) de dicha pala de turbina eólica (5) en la dirección de la punta de pala (8), en la que la altura de dichos medios de generación de turbulencia (10) tiene el mismo alcance o es más alta más cerca de dicho

10 borde de salida (7) de dicha pala de turbina eólica (5) que más cerca de dicho borde de ataque (6) de dicha pala de turbina eólica (5), y en la que la altura más alta (H) de dichos medios de generación de turbulencia (10) es de entre el 0,01% y el 5% de la longitud de cuerda (C) de dicha pala de turbina eólica (5).
2. Pala de turbina eólica (5) según la reivindicación 1, en la que dichos medios de generación de turbulencia (10) son medios de reducción de ruido de flujo de aire.
- 15 3. Pala de turbina eólica (5) según la reivindicación 1 ó 2, en la que dichos medios de generación de turbulencia (10) están colocados en una sección exterior (OS) que oscila entre el 60% y el 100% de la longitud (BL) de dicha pala (5) por ejemplo la tercera parte más externa de dicha pala de turbina eólica (5).
4. Pala de turbina eólica (5) según la reivindicación 3, en la que dicha sección exterior (OS) está subdividida en dos o más subsecciones (por ejemplo SS1, SS2, SS3), y dichos medios de generación de turbulencia

20 (10) son sustancialmente uniformes dentro de cada una de dichas subsecciones.
5. Pala de turbina eólica (5) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la altura más alta (H) de dichos medios de generación de turbulencia (10) es de entre el 0,1% y el 3% de la longitud de cuerda (C) de dicha pala de turbina eólica (5).
6. Pala de turbina eólica (5) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la distancia entre dichos medios de generación de turbulencia (10) es sustancialmente constante.

25
7. Pala de turbina eólica (5) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de generación de turbulencia (10) están colocados en un intervalo de entre el 5% y el 85%, preferiblemente entre el 10% y el 75% y lo más preferiblemente entre el 15% y el 60% de la longitud de cuerda (C), desde dicho borde de ataque (6) de dicha pala de turbina eólica (5).
- 30 8. Pala de turbina eólica (5) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de generación de turbulencia (10) están unidos a la pala de turbina eólica (5) de manera individual o por parejas por medio de medios de unión tales como tornillos, pernos, remaches, soldadura o preferiblemente adhesivo.
9. Pala de turbina eólica (5) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de generación de turbulencia (10) están unidos a la pala de turbina eólica (5) como parte de una tira de cinta, una bobina o una banda por medio de medios de unión tales como tornillos, pernos, remaches, soldadura o preferiblemente adhesivo.

35
10. Pala de turbina eólica (5) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de generación de turbulencia (10) son placas (15) que se extienden formando un ángulo de entre 60° y 120°, por ejemplo de manera ortogonal desde la superficie de dicho lado de superficie de sotavento (13) de palas de turbina eólica (5).

40
11. Pala de turbina eólica (5) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de generación de turbulencia (10) comprenden lados (12) situados de manera alternante formando un ángulo (A) con respecto a la dirección del flujo de aire de entre 50° y 2°, preferiblemente entre 30° y 5° y lo más preferiblemente entre 20° y 10° y entre -50° y -2°, preferiblemente entre -30° y -5° y lo más preferiblemente entre -20° y -10°.

45
12. Pala de turbina eólica (5) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de generación de turbulencia (10) están formados de manera solidaria con la pala de turbina eólica (5).
13. Pala de turbina eólica (5) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de generación de turbulencia (10) son generadores de vórtice.

50
14. Pala de turbina eólica (5) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha pala de

turbina eólica (5) comprende al menos una unidad de control de cabeceo (16).

15. Turbina eólica (1) que comprende al menos dos palas de turbina eólica controlada por cabeceo (5) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 5 16. Turbina eólica (1) según la reivindicación 15, en la que dicha turbina eólica (1) es una turbina eólica controlada por cabeceo de velocidad variable.
17. Uso de palas de turbina eólica controlada por cabeceo (5) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14 en relación con una turbina eólica controlada por cabeceo (1) según la reivindicación 15 ó 16 para ajustar el cabeceo de pala y el nivel de ruido.

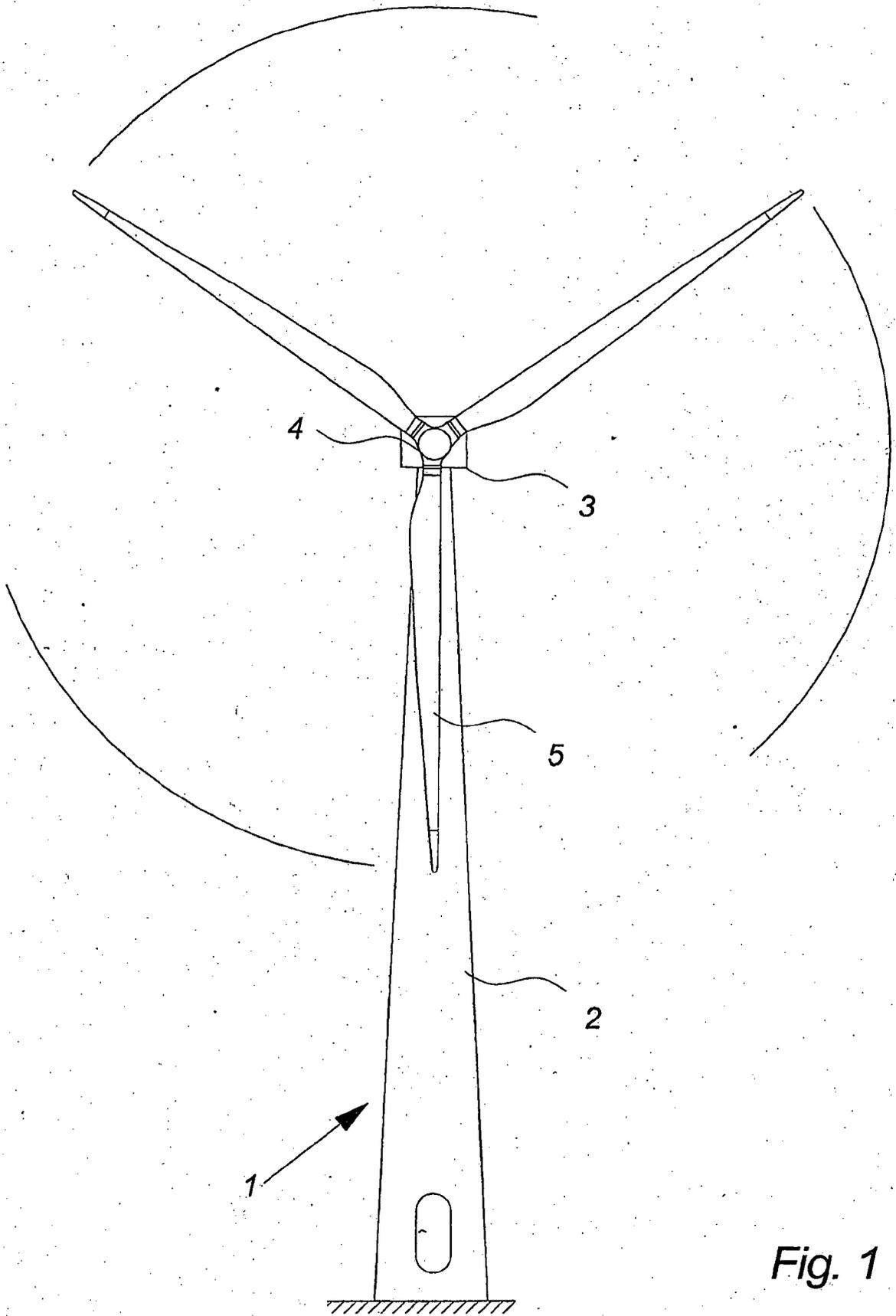


Fig. 1

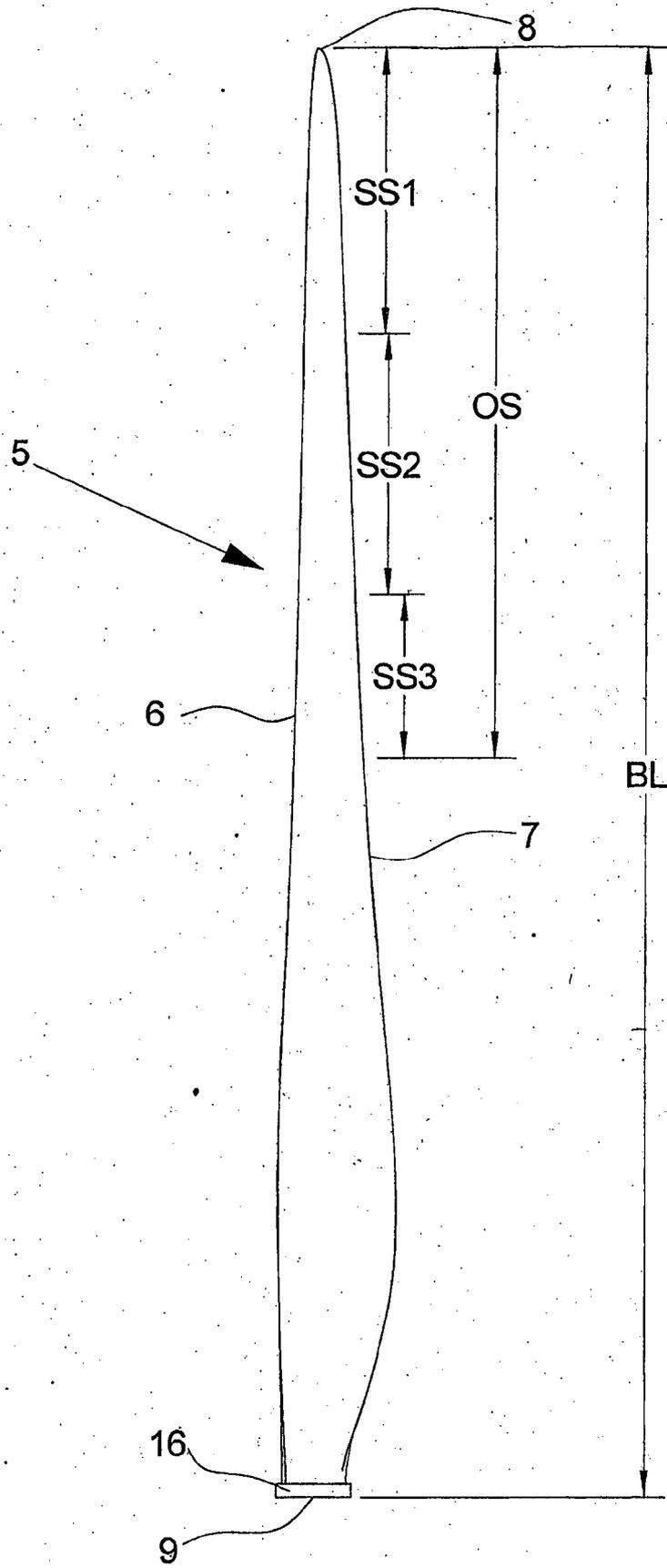


Fig. 2

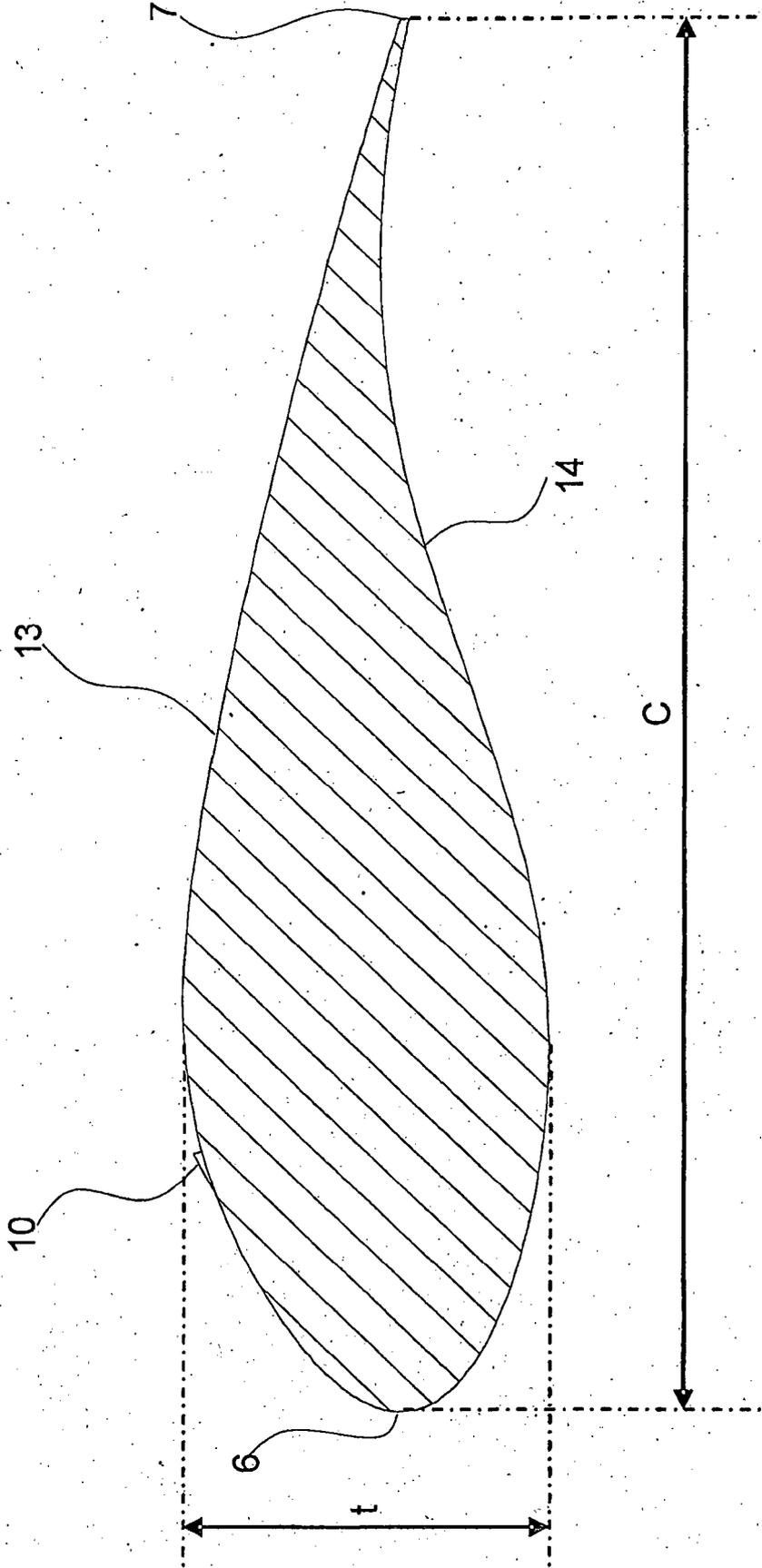


Fig. 3

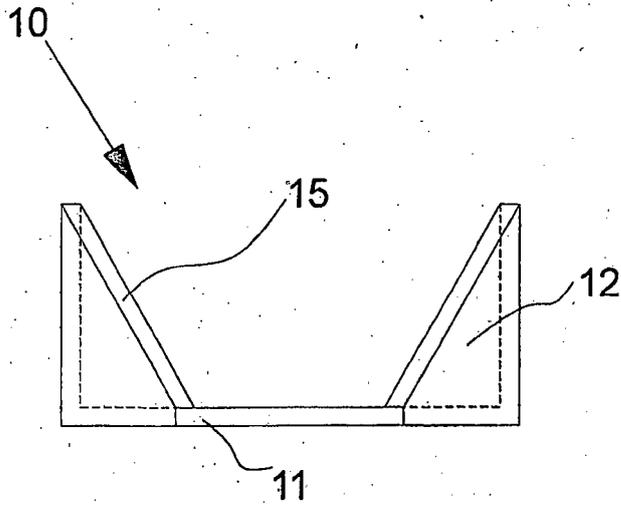


Fig. 4

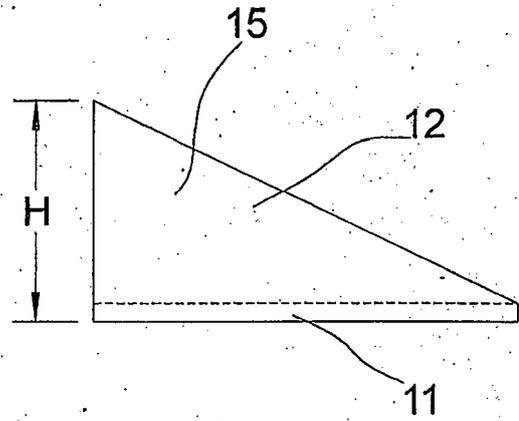


Fig. 5

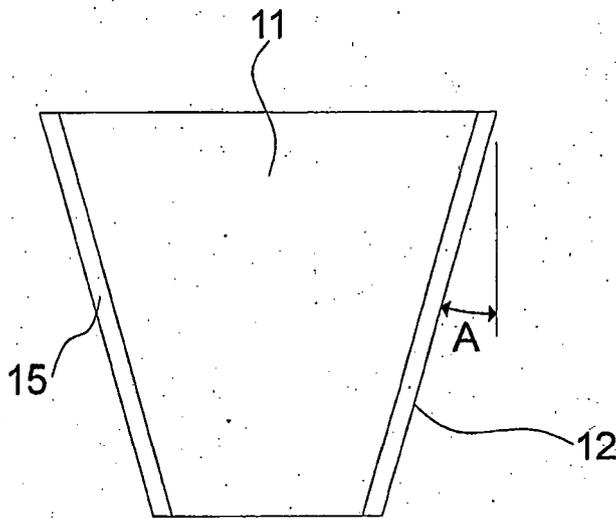
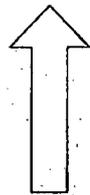


Fig. 6



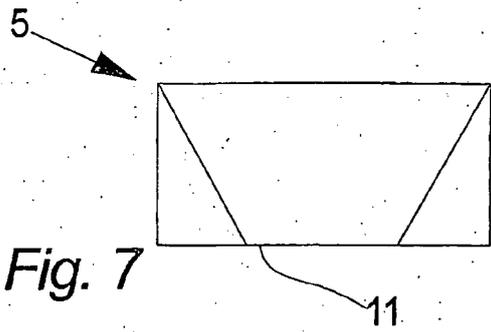


Fig. 7

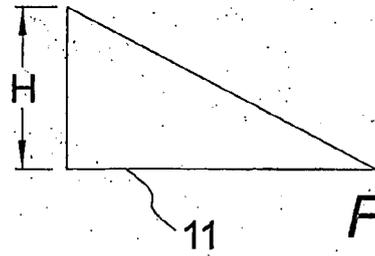


Fig. 8

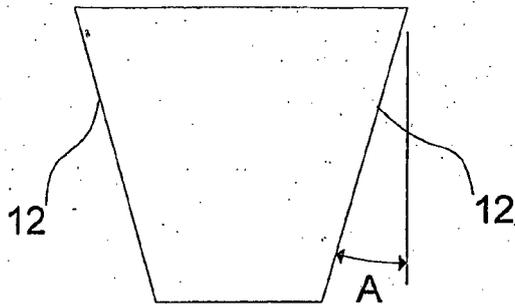


Fig. 9

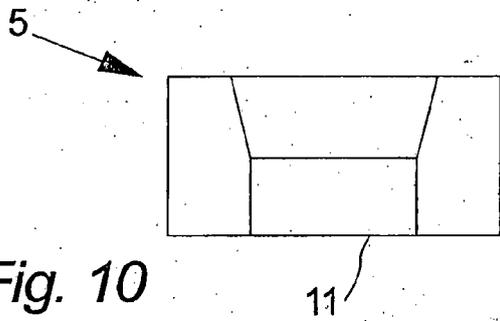


Fig. 10

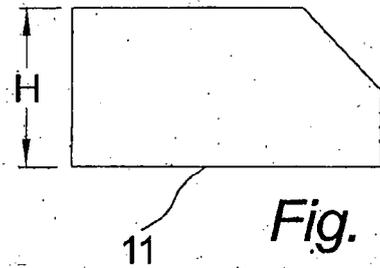


Fig. 11

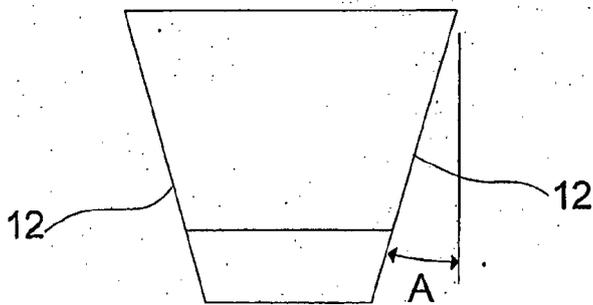


Fig. 12

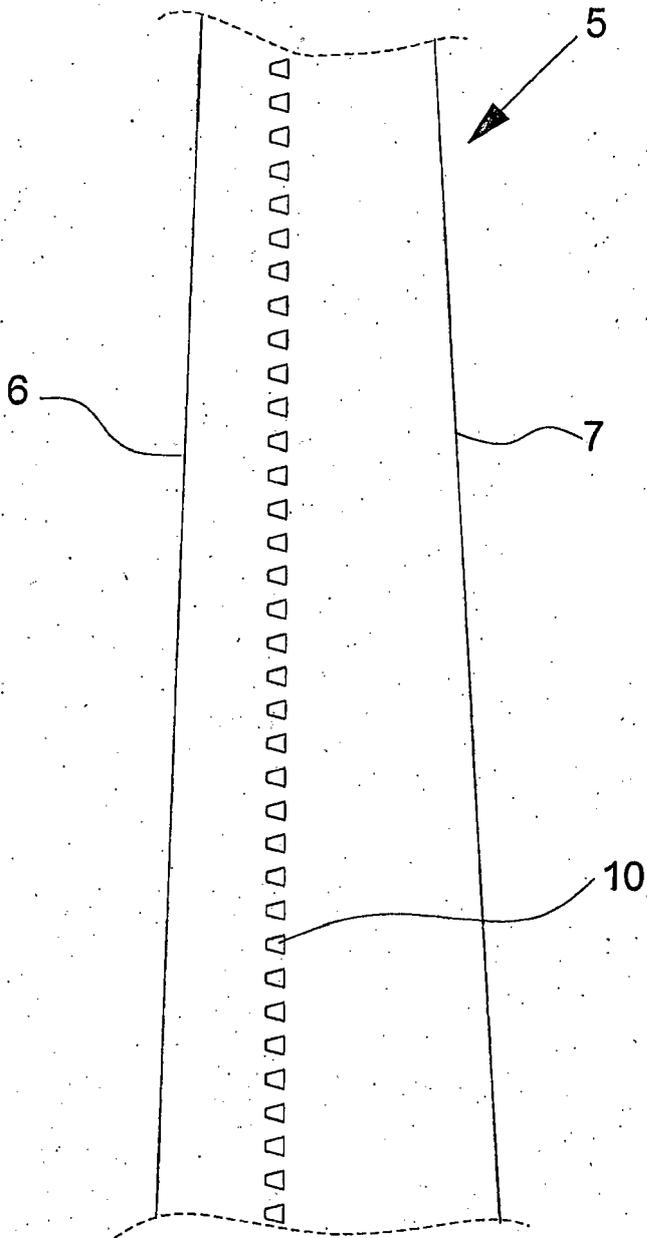


Fig. 13

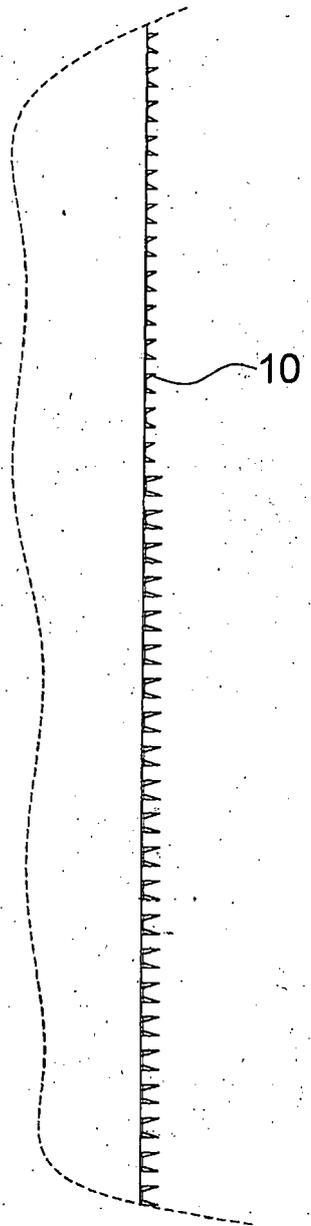


Fig. 14

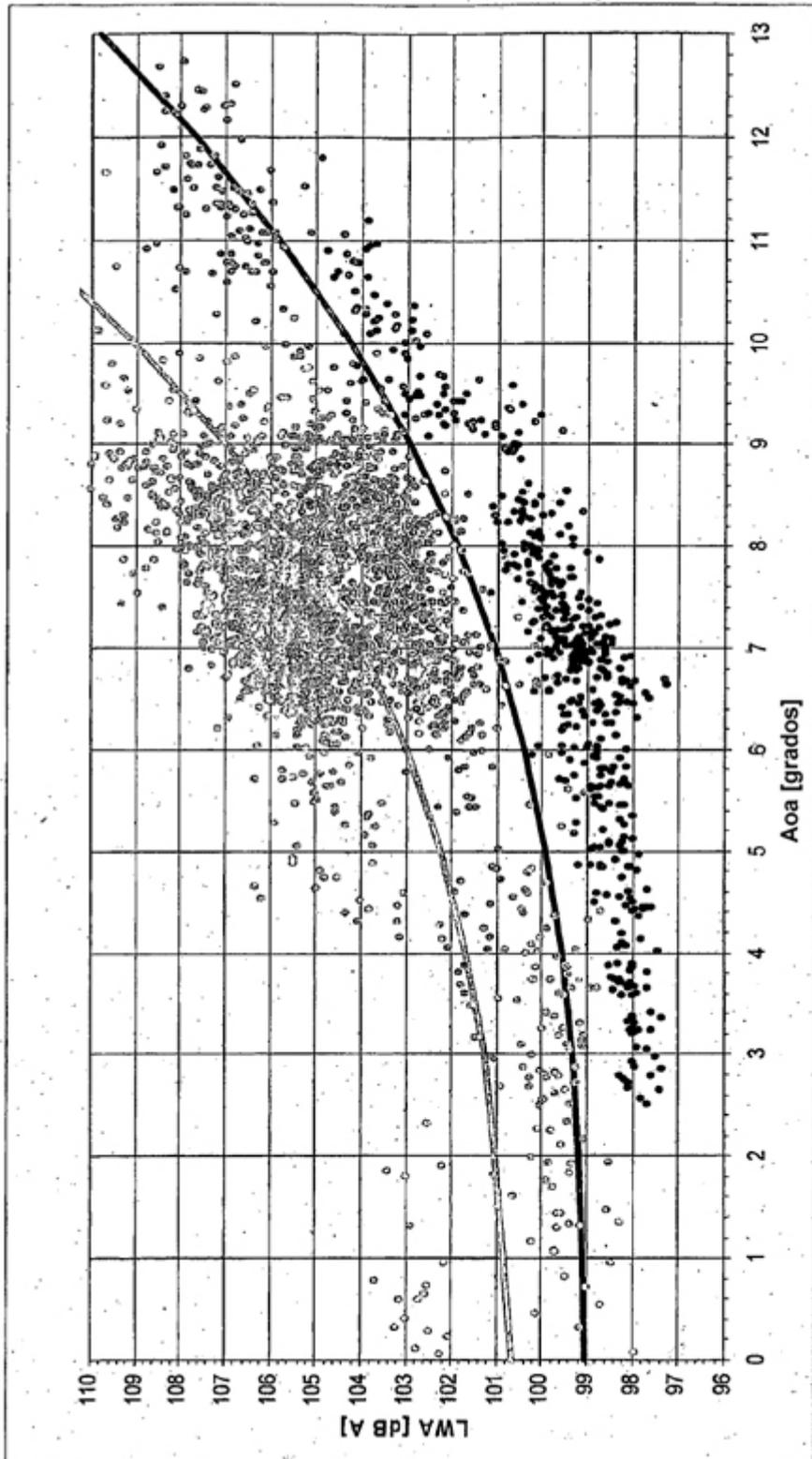


Fig. 15