

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 535 824**

51 Int. Cl.:

**F03B 3/12** (2006.01)

**F03B 11/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2011 E 11743847 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.02.2015 EP 2596234**

54 Título: **Rueda de turbina Francis con una distribución angular de los álabes no periódica**

30 Prioridad:

**21.07.2010 FR 1055957**

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

**18.05.2015**

73 Titular/es:

**ALSTOM RENEWABLE TECHNOLOGIES (100.0%)  
82, Avenue Léon Blum  
38100 Grenoble, FR**

72 Inventor/es:

**BOMCHIL, YOANN y  
BALCET, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 535 824 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).

**DESCRIPCION**

Rueda de turbina Francis con una distribución angular de los álabes no periódica

**[0001]** La invención se refiere a una rueda de turbina Francis, así como a una instalación de conversión de energía que comprende dicha rueda.

5 **[0002]** En el ámbito de la conversión de energía hidráulica en energía eléctrica o mecánica, es conocido utilizar una rueda de turbina Francis para accionar en rotación un árbol que soporta esta rueda y conectado, por ejemplo, con un alternador. En algunas zonas de puntos de funcionamiento, se producen fenómenos de fluctuación de presión río debajo de la rueda y se amplían. Estas fluctuaciones de presión entorpecen la explotación de la turbina.

10 **[0003]** Una solución para responder a este problema es equipar una rueda de turbina Francis con una punta que comprende superficies respectivamente convergente y divergente, como se ha considerado en el documento WO-A-2005/038243. Esto limita, en una amplia medida, las fluctuaciones de presión. Sin embargo, para ciertas turbinas Francis, pueden subsistir las turbulencias.

15 **[0004]** Es igualmente conocido por el documento US-A-2010/086394 prever un juego de álabes cortos y un juego de álabes largos en una rueda de turbina Francis, estando cada uno de estos juegos de álabes distribuido de forma periódica y uniforme alrededor del eje de rotación de la rueda. El documento FR-A-2.919.553 prevé la utilización de un número impar de álabes en una zona de turbina Francis, estando estos álabes uniformemente distribuidos, con una periodicidad constante, alrededor del eje de rotación de la rueda. Con estas distribuciones periódicas y uniformes pueden subsistir turbulencias, al menos a ciertos regímenes, río abajo de la rueda.

20 **[0005]** Son estos inconvenientes los que pretende más particularmente remediar la invención proponiendo una ruda de turbina Francis que reduzca, por si misma, las fluctuaciones de presión río abajo.

**[0006]** A este respecto, la invención se refiere a una rueda de turbina Francis que comprende un techo, un cerco y varios álabes repartidos alrededor de un eje de rotación de esta rueda, caracterizada por que los álabes no son simétricos con relación al eje de rotación y presentan una distribución con relación a este eje que no es periódica y uniforme.

25 **[0007]** En otras palabras, la rueda no presenta ninguna simetría de revolución con relación a su eje de rotación. El carácter no simétrico de los álabes con relación al eje de rotación corresponde al hecho de que la distribución de estos álabes alrededor de este eje no es periódica y uniforme, debido a una separación inter-álabes no constante y/o una geometría variable de los álabes. Este carácter no simétrico permite perturbar la distribución periódica de la circulación que atraviesa la rueda, lo cual reduce sustancialmente las fluctuaciones de presión río abajo de la rueda.

30 **[0008]** Según aspectos ventajosos pero no obligatorios de la invención, una rueda de este tipo puede incorporar una o varias de las características siguientes, tomadas con cualquier combinación técnicamente admisible:

- Los álabes están distribuidos alrededor del eje de rotación con una desviación angular entre dos álabes adyacentes no constante;

35 - Los álabes están distribuidos alrededor del eje de rotación con una posición angular definida, con relación a una posición de referencia, por medio de un ángulo determinado a partir de un número de orden de cada álabe mediante una función no afín, particularmente una función trigonométrica o aleatoria;

- Los álabes están distribuidos alrededor del eje de rotación según una ley de tipo

$$\alpha_i = \frac{i * 360^\circ}{N} + f(i)$$

40 donde N es el número de álabes de la rueda, i es un número entero natural comprendido entre 1 y N y f es una función no afín. Ventajosamente, esta función f es sinusoidal y se expresa bajo la forma

$$f(i) = A \sin \left( B \frac{i * 360^\circ}{N} \right)$$

donde A es una amplitud angular fija, de preferencia comprendida entre 2 y 10°, y B es un número entero, de preferencia comprendido entre 1 y 4.

- Los álabes tienen la misma geometría. En variante, los álabes tienen geometrías diferentes. En este caso, el espesor máximo de los álabes y/o la geometría del borde de ataque y/o del borde de salida de los álabes es variable de un álabe a otro. La curvatura de los álabes puede igualmente ser variable de un álabe a otro.

5 **[0009]** La invención se refiere igualmente a una instalación de conversión de energía hidráulica en energía eléctrica o mecánica, comprendiendo esta instalación un conducto de traída de agua, una rueda que gira alrededor de un eje de rotación, un árbol de soporte de la rueda y un conducto de aspiración. Esta instalación se caracteriza por que la rueda es tal como la mencionada anteriormente.

10 **[0010]** La invención se comprenderá mejor y otras ventajas de ésta aparecerán más claramente a la luz de la descripción que sigue de dos modos de realización de una rueda de turbina Francis y de una instalación conformes a su principio, dada únicamente a título de ejemplo y realizada con referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

- la figura 1 es una representación esquemática de principio, en sección axial, de una instalación conforme a un primer modo de realización de la invención;

- la figura 2 es una sección a mayor escala según la línea II-II de la figura 1;

15 - la figura 3 es un esquema representativo de la posición de los álabes de la rueda de las figuras 1 y 2 en comparación con los álabes de una turbina de distribución simétrica;

- la figura 4 es una representación del desvío angular de los álabes de la rueda de las figuras 1 y 2 con relación a una distribución simétrica de estos álabes alrededor del eje de rotación de la rueda; y

- la figura 5 es una sección análoga a la figura 2, para una rueda conforme a un segundo modo de realización de la invención.

20 **[0011]** La instalación I representada en la figura 1 comprende una turbina 1 de tipo Francis cuya rueda 2 está destinada para ser puesta en rotación, alrededor de un eje vertical  $X_2$ , por una circulación forzada de agua E procedente de un embalse no representado. Un árbol 3 soporta la rueda y está acoplado con un alternador 4 que proporciona una corriente alterna a una red no representada. La instalación I permite por consiguiente convertir la energía hidráulica de la circulación E en energía eléctrica. La instalación I puede comprender varias turbinas 1  
25 alimentadas a partir del mismo embalse.

**[0012]** En variante, el árbol 3 puede acoplarse a un conjunto mecánico, en cuyo caso la instalación I convierte la energía hidráulica del elemento E en energía mecánica.

30 **[0013]** Un conducto de alimentación forzada 5 permite llevar la circulación E a la rueda 2 y se extiende entre el embalse y un cárter 6 equipado con directrices 61 que regulan la circulación E. Un conducto de aspiración 8 está previsto río abajo de la turbina 1 para evacuar la circulación E y reenviarla hacia el lecho de un arroyo o de un río.

**[0014]** La rueda 2 comprende un techo 22, un cerco 24 y trece álabes  $26_i$  a  $26_{13}$  repartidos alrededor del eje  $X_2$  que es un eje de simetría para el techo 22 y el cerco 24. Se aprecia  $26_i$  un álabe para  $i$  un número entero natural comprendido entre 1 y 13.

35 **[0015]** Los álabes  $26_i$  tienen la misma geometría y comprenden cada uno un borde de ataque 26a, un borde de salida 26b, una superficie extradós 26c y una superficie intradós 26d.

**[0016]** Se marca la posición angular de un álabe  $26_i$  alrededor del eje  $X_2$  mediante un ángulo  $\alpha_i$  definido, en el plano de la figura 2, entre un radio  $R_2$  de la rueda 2 que constituye un origen y una recta  $D_i$  que pasa por el eje  $X_2$  y por el borde de salida de este álabe en este plano.

40 **[0017]** Como se desprende de las figuras 2 a 4, los álabes  $26_i$  no están regularmente distribuidos alrededor del eje  $X_2$ .

**[0018]** Si los álabes  $26_i$  estuviesen regularmente distribuidos alrededor del eje  $X_2$ , entonces el desvío angular entre dos álabes tendría un valor constante  $\theta_0$  representado en la figura 3 entre radios en líneas de trazo interrumpido correspondiente a una distribución uniforme de trece álabes alrededor del eje  $X_2$ . Por el contrario, los álabes  $26_i$  tienen la distribución representada con línea de trazo continuo en la figura 3.

**[0019]** Por  $i$  comprendido entre 2 y 13, se define el desvío angular  $E_i$  entre los álabes de la fila  $i$  e  $i-1$  como igual a la diferencia entre los ángulos  $\alpha_i$  y  $\alpha_{i-1}$ . El desvío angular  $E_1$  entre los álabes 26<sub>1</sub> y 26<sub>13</sub> es igual a  $\alpha_1 - \alpha_{13} = \alpha_1$  ya que  $\alpha_{13}$  equivale a 0°. Con el protocolo de indicación  $\alpha_{13} = \alpha_0 = 0^\circ$ , los desvíos angulares  $E_i$  se definen por consiguiente como

5 
$$E_i = \alpha_i - \alpha_{i-1}.$$

**[0020]** Los desvíos angulares  $E_i$  no son constantes alrededor del eje  $X_2$ . Así, los álabes 26 <sub>$i$</sub>  no son simétricos alrededor de este eje.

**[0021]** Se define un desvío angular  $\Delta\alpha_i$  entre un ángulo  $\alpha_i$  y el ángulo que formaría el álabe 26 <sub>$i$</sub>  con relación al radio  $R_2$  en caso de distribución regular de los álabes 26 <sub>$i$</sub>  alrededor del eje  $X_2$ . En otras palabras, el desvío angular  $\Delta\alpha_i$  está representado en la figura 3 por el desvío angular entre una recta  $D_i$  con línea de trazo continuo y la recta  $D'_i$  adyacente con líneas de trazo interrumpido.

10

**[0022]** Este desvío  $\Delta\alpha_i$  está representado en la figura 4, en función de la hilera  $i$  de un álabe, tomando como decimotercer álabe aquel cuyo borde de salida esté alineado con el radio  $R_2$ , para el cual  $\Delta\alpha_{13}$  equivale a 0°. Por ejemplo, el desvío  $\Delta\alpha_2$  para el álabe 26<sub>2</sub> se encuentra entre 5 y 6° y la recta  $D_2$  está más inclinada con relación al radio  $R_2$  que la recta con líneas de trazo interrumpido  $D'_2$  correspondiente al segundo álabe de una distribución uniforme. El desvío  $\Delta\alpha_5$  para el álabe 26<sub>5</sub> es de -6° y la recta  $D$  está menos inclinada con relación al radio  $R_2$  que la recta con líneas de trazo interrumpido  $D'_5$  que corresponden al quinto álabe de una distribución uniforme.

15

**[0023]** Como se desprende claramente de las figuras 3 y 4, el valor de  $\Delta\alpha_i$  varía entre los diferentes álabes. Así, el desvío entre dos álabes 26 <sub>$i$</sub>  adyacentes no es constante en la rueda 2.

20 **[0024]** De hecho, el valor del ángulo  $\alpha_i$  se establece según una ley tipo

$$\alpha_i = \frac{i * 360^\circ}{N} + f(i)$$

$N$  es el número de álabes de la rueda 2, en el ejemplo 13.

$i$  es un número entero natural comprendido entre 1 y  $N$

$f$  es una función no afín, por ejemplo una función trigonométrica o aleatoria.

25 **[0025]** Por ejemplo, como se ha representado en la figura 4, la función  $f$  puede ser sinusoidal y expresada bajo la forma

$$f(i) = A \sin \left( B \frac{i * 360^\circ}{N} \right)$$

donde

$A$  es una amplitud angular fija, 6° en el ejemplo y

30  $B$  es un número entero, 2 en el ejemplo.

**[0026]** En la práctica, el valor de  $A$  puede ser seleccionado entre 2 y 10°, mientras que el valor de  $B$  puede ser seleccionado entre 1 y 4.

**[0027]** La distribución no simétrica de los álabes 26 <sub>$i$</sub>  induce a una circulación diferente en cada uno de los espacios inter-álabes, lo cual tiene por efecto limitar fuertemente la fluctuación de presión en esta zona de la instalación I.

35

5 **[0028]** En el segundo modo de realización de la invención representado en la figura 5, los elementos análogos al del primer modo de realización llevan la misma referencia. En este modo de realización, los álabes  $26_i$  no tienen la misma geometría. Por ejemplo, la superficie extradós 26c del álabes  $26_2$  presenta una inflexión marcada que define una zona cóncava, mientras que la superficie extradós 26c del álabes  $26_3$  no presenta, dicha zona de inflexión. Los álabes  $26_i$  no son por consiguiente simétricos alrededor del eje  $X_2$ .

**[0029]** Esto tiene igualmente por efecto que la circulación E a la salida de la rueda 2 no es simétrica alrededor del eje  $X_2$ .

10 **[0030]** En el modo de realización representado en la figura 5, el ángulo  $\alpha_i$  que marca la posición de un álabes  $26_i$ , con la misma definición que para el primer modo de realización, aumenta con un paso constante de un álabes al otro. En otras palabras, el desvío angular  $E_i$ , definido como en el primer modo de realización entre dos álabes  $26_i$  y  $26_{i-1}$ , es constante y los bordes de salida 26b de los álabes  $26_i$  están regularmente distribuidos alrededor del eje  $X_2$  en este modo de realización.

15 **[0031]** Esto no es sin embargo obligatorio y es posible prever una distribución no uniforme de los álabes  $26_i$  con geometrías diferentes entre si. En otras palabras, es posible combinar los acercamientos mencionados anteriormente respecto al primer modo de realización y el segundo modo de realización.

20 **[0032]** En el segundo modo de realización, la geometría de los álabes  $26_i$  pueden variar de un álabes a otro no solamente debido a la geometría de las superficies intradós y extradós 26c y 26d sino igualmente en función de la geometría de los bordes de ataque 26a y de salida 26b que pueden ser diferentes de un álabes a otro, del espesor máximo  $e_{26}$  o de la curvatura media del álabes, es decir del radio de curvatura media del álabes, es decir del radio de curvatura de una curva  $C_{26}$  que une el borde de ataque y el borde de salida de un álabes, que pueden igualmente ser diferentes de un álabes a otro.

25 **[0033]** La ausencia de simetría de los álabes  $26_i$  alrededor del eje  $X_2$ , ya sea por el hecho de su desvío angular no constante o sus geometrías diferentes, o los dos, permite una acción no simétrica de estos álabes sobre la circulación E, lo cual disminuye fuertemente los riesgos de fluctuaciones de presión en la instalación, en una amplia gama de funcionamiento.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Rueda de turbina Francis (2) que comprende un techo (22), un cerco (24) y varios álabes (26<sub>i</sub>) repartidos alrededor de un eje de rotación (X<sub>2</sub>) de la rueda, no siendo los álabes (26<sub>i</sub>) simétricos con relación al eje de rotación (X<sub>2</sub>), **caracterizada por que** los álabes presentan una distribución alrededor de este eje (X<sub>2</sub>) que no es periódica y uniforme.
2. Rueda según la reivindicación 1, **caracterizada por que** los álabes (26<sub>i</sub>) están distribuidos alrededor del eje de rotación con un desvío angular (E<sub>i</sub>) entre dos álabes adyacentes (26<sub>i</sub>) no constante.
- 10 3. Rueda según la reivindicación 2, **caracterizada por que** los álabes (26<sub>i</sub>) están distribuidos alrededor del eje de rotación (X<sub>2</sub>) con una posición angular definida, con relación a una posición de referencia (R<sub>2</sub>), por medio de un ángulo (α<sub>i</sub>) determinado a partir de un número de orden (i) de cada álabe por una función no afín, particularmente una función trigonométrica o aleatoria.
4. Rueda según una de las reivindicaciones 2 o 3, **caracterizada por que** los álabes (26<sub>i</sub>) están distribuidos alrededor del eje de rotación (X<sub>2</sub>) según la ley:

$$\alpha_i = \frac{i * 360^\circ}{N} + f(i)$$

15 donde

- N es el número de álabes de la rueda,
- i es un número entero natural comprendido entre 1 y N
- y f es una función no afín.

5. Rueda según la reivindicación 4, **caracterizada porque** la función f es sinusoidal y se expresa bajo la forma

$$f(i) = A \sin \left( B \frac{i * 360^\circ}{N} \right)$$

20

donde

- A es una amplitud angular fija, de preferencia comprendida entre 2° y 10°, y
- B es un número entero, de preferencia comprendido entre 1 y 4.

25 6. Rueda según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** los álabes (26<sub>i</sub>) tienen la misma geometría.

7. Rueda según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada por que** los álabes (26<sub>i</sub>) son geometrías diferentes.

8. Rueda según la reivindicación 7, **caracterizada por que** el espesor máximo (e<sub>26</sub>) de los álabes y/o la geometría del borde de ataque (26a) y/o del borde de salida (26b) de los álabes (26<sub>i</sub>) es variable de un álabe al otro.

30 9. Rueda según una de las reivindicaciones 7 u 8, **caracterizada por que** la curvatura (C<sub>26</sub>) de los álabes (26<sub>i</sub>) es variable de un álabe a otro.

10. Instalación (I) de conversión de energía hidráulica en energía eléctrica o mecánica, comprendiendo esta instalación un conducto forzado (5) de traída de agua, una rueda (2) giratoria alrededor de un eje de rotación (X<sub>2</sub>), un árbol (4) de soporte de la rueda y un conducto de aspiración (8), **caracterizada por que** la rueda (2) es según una de las reivindicaciones anteriores.

35

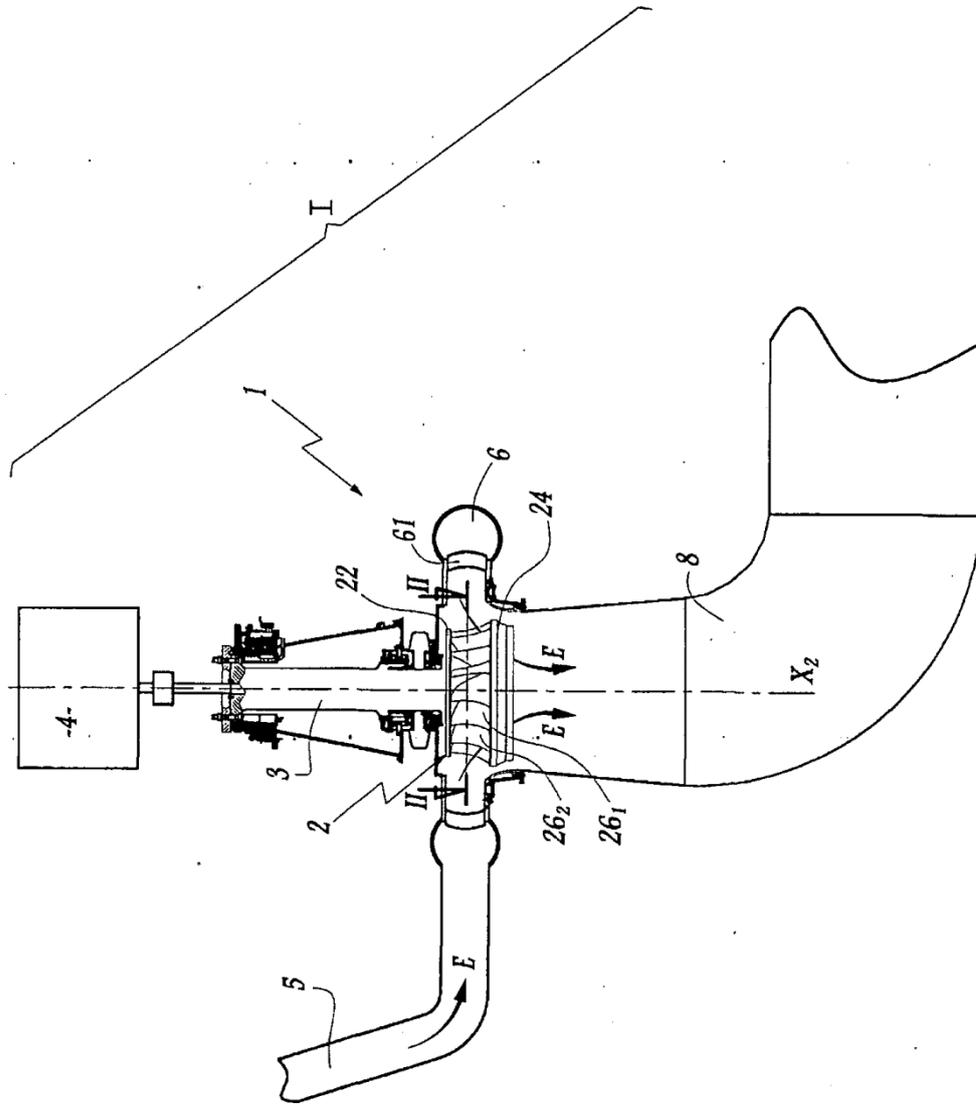


Fig. 1

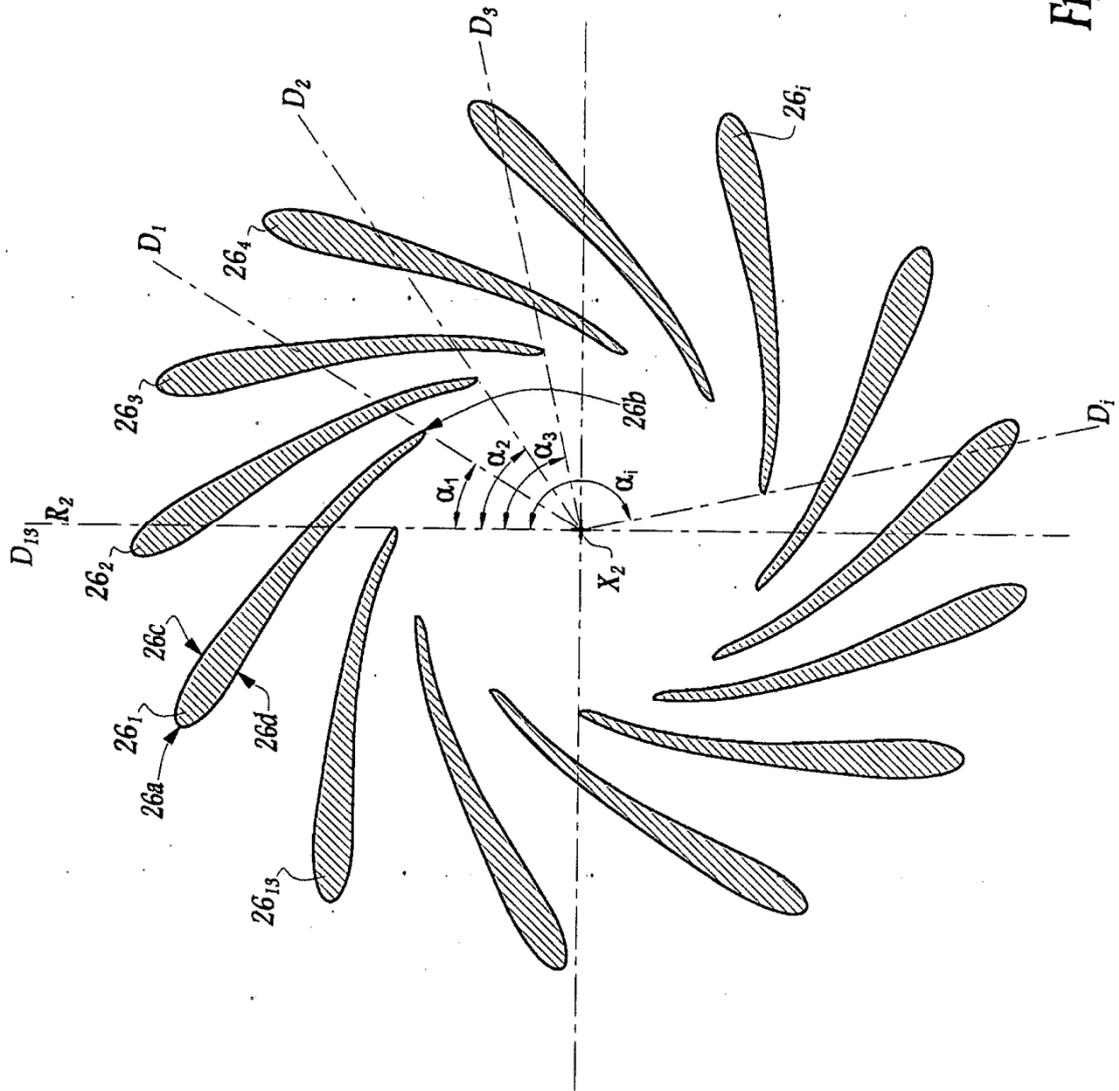


Fig.2

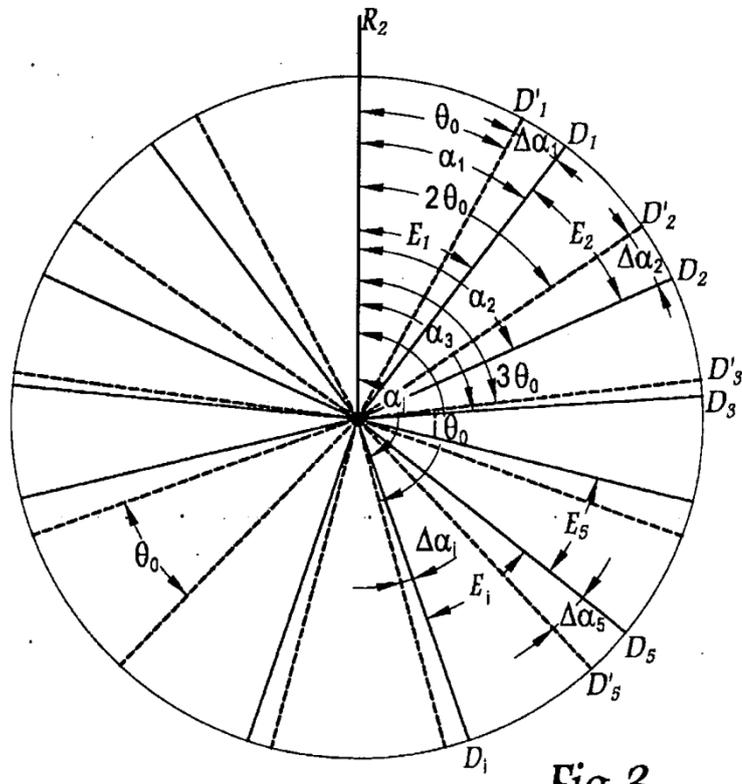


Fig.3

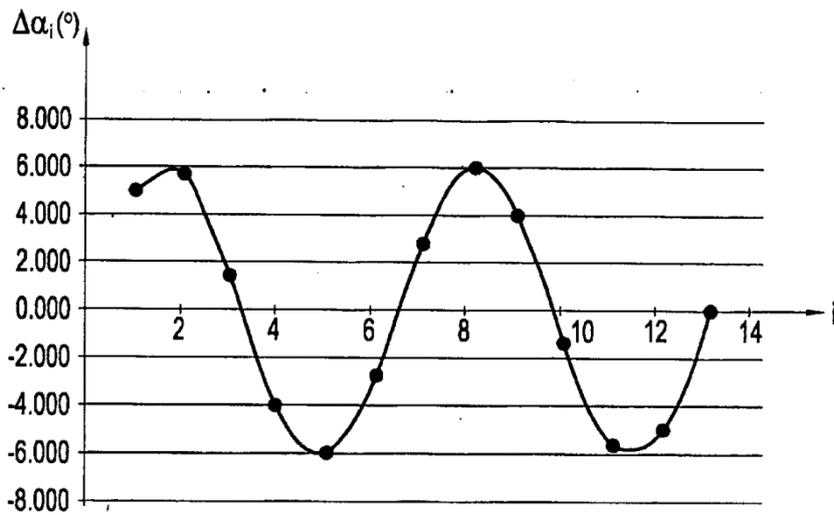


Fig.4

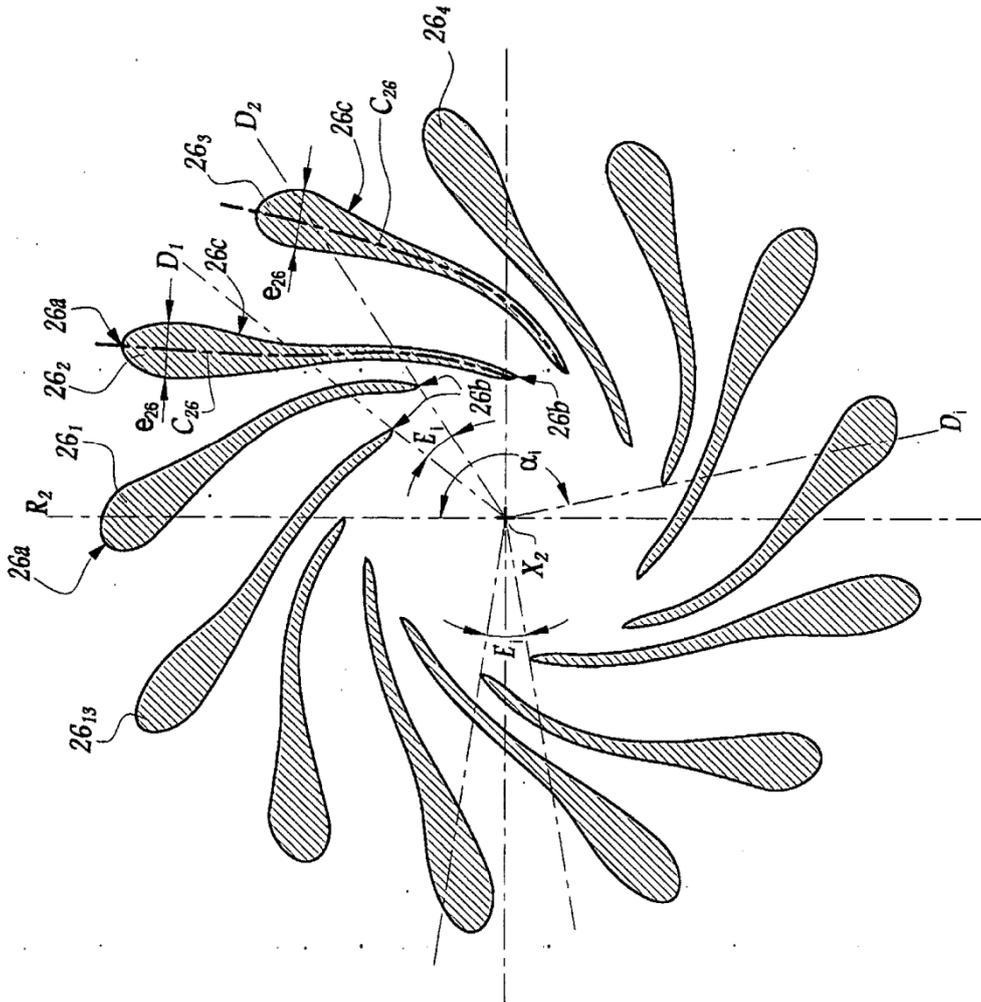


Fig.5