

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 763 645**

51 Int. Cl.:

F01D 5/10 (2006.01)

G06F 17/50 (2006.01)

F01D 5/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.02.2015 E 15153431 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.12.2019 EP 2918778**

54 Título: **Método para diseñar una turbina**

30 Prioridad:

14.03.2014 DE 102014204725

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

29.05.2020

73 Titular/es:

**MTU AERO ENGINES AG (100.0%)
Dachauer Strasse 665
80995 München, DE**

72 Inventor/es:

**BROSZAT, DOMINIK y
THOUAULT, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 763 645 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

Método para diseñar una turbina

5 La invención se refiere a un método para diseñar una turbina, en particular una turbina de baja presión, una turbina de gas, en particular un motor de avión, así como a una turbina diseñada en correspondencia.

10 De la propia patente europea EP 1 738 061 B1 y de la propia patente paralela de los Estados Unidos US 7,806,651 B2, a las que se hace referencia, se conoce un método para diseñar una turbina de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 o una turbina de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 9.

15 Esta patente propone diseñar al menos una etapa de la turbina de manera tal que un parámetro de la proporción aspa-hoja, que determina la relación entre el número de álabes guía y el número de álabes rotatorios de la etapa, en condiciones de funcionamiento de la turbina en las que el ruido es crítico, se encuentre entre un límite inferior de corte para el modo $k=-1$ de la frecuencia de paso de las hojas de esta etapa y un límite superior de corte para el modo $k=-2$ de la frecuencia de paso de las hojas de esta etapa, con el fin de reducir el nivel de ruido emitido por la turbina.

20 La patente de los Estados Unidos US 2011/0123342 A1 describe un método de fabricación de una sección de compresión en donde el número de álabes guía y el número de álabes rotatorios se seleccionan de acuerdo con un diseño de corte.

La patente de los Estados Unidos US 2012/099995 A1 describe una turbomaquinaria con diferentes espaciamientos entre los álabes.

25 La patente WO 2013/186756 A1 describe estructuras de álabes con diferentes características geométricas entre sí. De la patente de los Estados Unidos US2014/0050590A1 se conoce una rejilla de funcionamiento con diferentes álabes.

Un objetivo de una modalidad de la presente invención es mejorar una turbina de una turbina de gas.

30 Este objetivo se logra con un método que tiene las características de la reivindicación 1. La reivindicación 9 protege una turbina correspondiente. Las modalidades ventajosas de la invención son objeto de las reivindicaciones dependientes.

35 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, una turbina de una turbina de gas diseñada o a ser diseñada tiene una pluralidad de etapas dispuestas axialmente una detrás de otra en la dirección del flujo de la turbina, que están formadas por una rejilla guía fija que tiene una pluralidad de álabes guía y una rejilla de funcionamiento rotatoria que tiene una pluralidad de álabes rotatorios, dicha rejilla de funcionamiento puede estar adyacente a la rejilla guía de la etapa en la dirección del flujo aguas abajo o aguas arriba. La rejilla guía de una etapa puede ser la rejilla guía de entrada de esta etapa o la rejilla guía de salida de esta etapa o la rejilla guía de entrada de otra etapa adyacente aguas abajo en la dirección del flujo.

40 La turbina puede ser, en particular, una turbina de baja presión de una o varias etapas, que puede estar situada aguas abajo de una turbina de alta o media presión de una o varias etapas y/o aguas arriba de una carcasa de salida de la turbina ("turbine exit case" TEC) en la dirección del flujo. La turbina de gas puede ser, en particular, una turbina de gas de un motor de avión. En una modalidad, la turbina de gas tiene una cámara de combustión delante de la turbina y de uno o varios compresores de una o varias etapas delante de esta cámara de combustión. El motor de avión puede tener, en particular, un ventilador que puede acoplarse a la turbina de baja presión, en particular a través de un engranaje.

45 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, la rejilla de funcionamiento de una o más etapas de la turbina diseñada o a ser diseñada tiene en cada caso una pluralidad de estructuras de álabes rotatorios; en una modalidad la rejilla de funcionamiento está formada por la pluralidad de estructuras de álabes rotatorios o no tiene ningún otro álabe rotatorio que no sean los álabes rotatorios de las estructuras de álabes rotatorios.

50 La etapa puede ser una etapa, en particular una primera etapa, dispuesta delante de otra etapa en la dirección del flujo aguas arriba, o una etapa, en particular una última etapa de la turbina, dispuesta después de otra etapa en la dirección del flujo aguas abajo. En una modalidad, las estructuras de álabes rotatorios de la etapa son iguales entre sí.

55 En una modalidad, las estructuras de álabes rotatorios están formadas en cada caso por al menos dos álabes rotatorios con perfiles de álabe diferentes entre sí. Los perfiles de álabe diferentes entre sí pueden tener, en particular, diferentes espesores de perfil, distribuciones de espesores de perfil, distribuciones de torsión y/o distribuciones de escalonamiento y/o tipos de perfil. Adicional o alternativamente, en una modalidad las estructuras de álabes rotatorios están formadas en cada caso por una estructura de al menos dos álabes rotatorios con diferentes espaciamientos de los álabes entre sí con respecto a los álabes rotatorios adyacentes a continuación en el sentido de la rotación. Los álabes rotatorios de una estructura de álabes rotatorios pueden estar o están unidos entre sí de forma permanente o desmontables, en particular integrados unos con otros.

60 Con a estas estructuras sucesivas periódicas de álabes rotatorios, además de la frecuencia de paso de las hojas y sus armónicos, que se consideran en la patente europea EP 1 738 061 B1 descrita en la introducción, también aparecen

contribuciones acústicas con frecuencias (inferiores) correspondientes a la periodicidad de la distribución circunferencial de las estructuras de álabes rotatorios. Por ejemplo, en el caso de una etapa cuya rejilla de funcionamiento ABABAB... está compuesta por álabes A, B dispuestos alternativamente, es decir, por estructuras de álabes rotatorios (AB) iguales entre sí, aparece una contribución acústica con la mitad de la frecuencia de sucesión de hojas, así como sus armónicos.

5 Al colocar (también o solamente) tales contribuciones acústicas en un área de corte, se puede mejorar ventajosamente un nivel de ruido emitido por la turbina.

10 Una etapa que tiene una pluralidad de estructuras de álabes rotatorios, cada una de las cuales tiene al menos dos álabes rotatorios con diferentes perfiles de álabe y/o espaciamientos entre álabes con respecto a los álabes rotatorios adyacentes a continuación en el sentido de rotación, se caracteriza por un parámetro de la proporción aspa-hoja $V/(B/P)$ que determina la relación del número de álabes guía V y el cociente (B/P) del número de álabes rotatorios B de la etapa, dividido por el número de álabes rotatorios P por estructura de álabes rotatorios. Con ello, P se corresponde con una periodicidad de la distribución circunferencial de las estructuras de álabes rotatorios. Si las estructuras de álabes rotatorios de la etapa tienen diferentes números de álabes rotatorios, el número de álabes rotatorios P por estructura de álabes rotatorios puede ser, en el sentido de la presente invención, el número máximo, mínimo o medio o promedio de álabes rotatorios por estructura de álabes rotatorios.

20 Si, por ejemplo, en una modalidad, todas las estructuras de álabes rotatorios que forman una etapa están formadas por un primer álabe rotatorio A y un segundo álabe rotatorio B que tiene un perfil de álabe diferente al del primer álabe rotatorio A y/o un espaciamiento entre álabes diferente al del primer álabe rotatorio A con respecto a un álabe rotatorio adyacente aguas abajo en el sentido de rotación, esta etapa tiene la forma $(AB)(AB)(AB)...$ y una periodicidad o número de álabes rotatorios P por estructura de álabes rotatorios de 2.

25 Si por el contrario, en otra modalidad, por ejemplo, todas las estructuras de álabes rotatorios que forman una etapa están formadas por un primer álabe rotatorio A , un segundo álabe rotatorio B que tiene un perfil de álabes diferente al del primer álabe rotatorio A y/o un espaciamiento entre álabes diferente al del primer álabe rotatorio A , con respecto a un álabe rotatorio adyacente aguas abajo en el sentido de rotación, y otro primer álabe rotatorio A o un tercer álabe rotatorio C , que tiene un perfil de álabe diferente al del primer álabe A y al del segundo álabe B y/o un espaciamiento de álabe diferente al del primer álabe A y del segundo álabe B con respecto a un álabe rotatorio adyacente aguas abajo en el sentido de rotación, esta etapa tiene la forma $(ABA)(ABA)(ABA)...$ o $(ABC)(ABC)(ABC)...$ y una periodicidad o número de álabes rotatorios P por estructura de álabes rotatorios de 3.

35 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, esta etapa se diseñará ahora de manera tal que, en una condición de funcionamiento de la turbina especificada, se considera que este parámetro de la proporción aspa-hoja está por encima de un límite superior de corte para el modo $k=-1$ o entre un límite inferior de corte para el modo $k=-1$ y un límite superior de corte para el modo $k=-2$ con una frecuencia f/P formada por la relación de la frecuencia de paso de las hojas f con respecto al número de álabes rotatorios por estructura de álabes rotatorios P o un múltiplo entero de $2-(f/P)$, $3-(f/P)$,.... de esta relación, en particular el doble o el triple de esta relación.

40 Mediante esta colocación de una contribución acústica con la frecuencia (inferior) correspondiente a la periodicidad de la distribución circunferencial de las estructuras de álabes rotatorios en un área de corte, se puede mejorar ventajosamente el nivel de ruido emitido por la turbina, tal y como se explicó anteriormente.

45 La condición de funcionamiento dada podrá ser, en particular, una condición de funcionamiento en la que el ruido es crítico, tal como se contempla en la patente europea EP 1 738 061 B1 explicada en la introducción, en particular, un despegue, una aproximación de aterrizaje y/o un rodaje sobre una pista de un avión con la turbina.

50 La frecuencia de paso de las hojas o la frecuencia de sucesión de las hojas denotan, en una forma conocida, la frecuencia con la que los álabes rotatorios giran delante de un álabe guía fijo de la etapa.

55 En una modalidad, las estructuras de álabes rotatorios están formadas en cada caso por una estructura de exactamente dos álabes rotatorios con diferentes espaciamientos de los álabes entre sí con respecto a los álabes rotatorios adyacentes siguientes en el sentido de la rotación. En una modalidad, esta etapa tiene, en particular, la forma $(AB)(AB)(AB)...$ y una periodicidad o número de álabes rotatorios P por estructura de álabes rotatorios de 2.

60 En otra modalidad, las estructuras de álabes rotatorios de la etapa están formadas cada una por al menos, en particular exactamente, tres álabes rotatorios, de los cuales dos o todos tienen perfiles de álabe que difieren entre sí en pares y/o espaciamientos entre álabes que difieren entre sí en el sentido de rotación de los álabes rotatorios adyacentes. En particular, las estructuras de álabes rotatorios en esta etapa pueden tener un primer álabe A , un segundo álabe rotatorio B adyacente a este a continuación en el sentido de rotación y otro primer álabe rotatorio A o tercer álabe rotatorio C adyacente a este a continuación en el sentido de rotación, en particular estar formadas por estos, en donde el primer, el segundo y el tercer álabe rotatorio tienen perfiles de álabe y/o espaciamientos entre álabe diferentes entre sí con respecto a los álabes adyacentes a continuación en el sentido de rotación. En este caso, esta etapa puede tener en particular la forma $(ABA)(ABA)(ABA)...$ o $(ABC)(ABC)(ABC)...$ y una periodicidad o número de álabes rotatorios P por estructura de álabes rotatorios de 3.

En una modalidad, las estructuras de álabes rotatorios de la etapa están formadas cada una por al menos, en particular exactamente, cuatro álabes rotatorios, de los cuales tres o todos tienen perfiles de álabe que difieren entre sí en pares y/o espaciamientos entre álabes que difieren entre sí en el sentido de rotación de los álabes rotatorios adyacentes a continuación. En particular, las estructuras de álabes rotatorios de esta etapa pueden tener cada una un primer álabe A, un segundo álabe B adyacente a este a continuación en el sentido de rotación, otro primer álabe rotatorio A o tercer álabe rotatorio C adyacente a este a continuación en el sentido de rotación, y otro primer álabe A, otro segundo álabe rotatorio B, otro tercer álabe rotatorio C u otro cuarto álabe rotatorio D adyacente a este a continuación en el sentido de rotación, en particular estar formadas por estos, en donde el primer, el segundo, el tercer y el cuarto álabe rotatorio tienen perfiles de álabe diferentes entre sí y/o espaciamientos entre los álabes diferentes entre sí con respecto a los álabes rotatorios adyacentes a continuación en el sentido de rotación. En este caso, esta etapa puede tener en particular la forma (ABCD)(ABCD)(ABCD)... o (ABAC)(ABAC)(ABAC)... y una periodicidad o número de álabes rotatorios P por estructura de álabes rotatorios de 4.

Como se ha indicado anteriormente, las contribuciones acústicas con frecuencias correspondientes a la periodicidad de la distribución circunferencial de las estructuras de álabes rotatorios adicionales a las contribuciones acústicas con la frecuencia de repetición de los álabes y/o sus armónicos pueden situarse en un área de corte. Por tanto, en una modalidad la etapa también puede diseñarse de manera tal que un parámetro de la proporción aspa-hoja, que determina la relación entre el número de álabes guía y el número de álabes rotatorios de la etapa, en las condiciones de funcionamiento de la turbina especificadas, pueda estar por encima de un límite superior de corte o por debajo de un límite inferior de corte para el modo $k=-1$, $k=-2$ y/o $k=-3$, en particular por encima de un límite superior de corte para el modo $k=-1$ o entre un límite inferior de corte para el modo $k=-1$ y un límite superior de corte para el modo $k=-2$, de la frecuencia de paso de las hojas o un múltiplo entero de esta frecuencia de paso de las hojas. Del mismo modo, estas contribuciones acústicas con frecuencias correspondientes a la periodicidad de la distribución circunferencial solo pueden colocarse en un área de corte. Por tanto, en una modalidad la etapa también puede diseñarse de manera tal que un parámetro de la proporción aspa-hoja, que determina la relación entre el número de álabes guía y el número de álabes rotatorios de la etapa, en las condiciones de funcionamiento de la turbina especificadas, contrariamente a la doctrina de la patente europea EP 1 738 061 B1 esté por debajo de un límite superior de corte y por encima de un límite inferior de corte para el modo $k=-1$, $k=-2$ y/o $k=-3$, en particular por debajo de un límite superior de corte para el modo $k=-1$ y por encima de un límite inferior de corte para el modo $k=-1$, $k=-2$ y/o $k=-3$, de la frecuencia de paso de las hojas.

En una modalidad, una o varias etapas, en particular todas las etapas, están diseñadas de manera tal que el parámetro de la proporción aspa-hoja, que determina la relación entre el número de álabes guía y el número de álabes rotatorios de la etapa, es al menos sustancialmente igual a uno ($V/B = 1$). De esta forma se puede mejorar ventajosamente tanto el nivel de ruido emitido por la turbina como su aerodinámica.

Otras características ventajosas de la presente invención se muestran en las reivindicaciones dependientes y en la siguiente descripción de las modalidades preferidas. Para ello se muestra, en parte esquematizado: en la Fig. 1 un diagrama para ilustrar el diseño de una turbina de baja presión de acuerdo con una modalidad de la presente invención; en la Fig. 2 una parte de una rejilla de funcionamiento de una etapa de la turbina de baja presión de la Fig. 1 de acuerdo con una modalidad de la presente invención; y en la Fig. 3 una parte de una rejilla de funcionamiento de una etapa de la turbina de baja presión de la Fig. 1 de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La Fig. 1 muestra un diagrama de la forma en que se conoce de la patente europea EP 1 738 061 B1 para ilustrar el diseño de una turbina de baja presión de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La turbina de baja presión comprende varias etapas, dispuestas axialmente una detrás de otra en el sentido del flujo de la turbina de baja presión. Cada etapa estará formada por un anillo de álabe guía fijo y un anillo de álabe de funcionamiento rotatorio.

El anillo de álabe guía tiene varios álabes guía fijos, también conocidos como aspas. El anillo de álabe de funcionamiento rotatorio de cada etapa tiene varios álabes de funcionamiento rotatorio, también conocidos como hojas.

La Fig. 2 muestra una parte del anillo de álabes de funcionamiento de una etapa de la turbina de baja presión con una pluralidad de estructuras de álabes rotatorios $(A_i B_i)(A_i B_i)...$, que están formadas cada una por dos álabes rotatorios A_1 , B_1 con perfiles de álabes que difieren entre sí.

La Fig. 3 muestra una parte del anillo de álabes de funcionamiento de una etapa de la turbina de baja presión con una pluralidad de estructuras de álabes rotatorios $(A_2 B_2)(A_2 B_2)...$, que están formadas cada una por dos álabes rotatorios A_2 , B_2 con perfiles de álabes idénticos y espaciamientos de los álabes que difieren entre sí ϕ_A , ϕ_B con respecto a los álabes de rotación adyacentes a continuación en el sentido de la rotación.

Estas etapas se caracterizan por un parámetro de la proporción aspa-hoja $V/(B/P)$, que determina la relación entre el número de álabes guía V de la etapa y el cociente (B/P) del número de álabes rotatorios (B) de la etapa dividido por el número de álabes rotatorios $P=2$ por estructura de álabes rotatorios y se indica en la Fig. 1.

5

Estas etapas están diseñadas de manera tal que, en una condición de funcionamiento de la turbina en la que el ruido es crítico, este parámetro de la proporción aspa-hoja esté por encima de un límite superior de corte para el modo $k=-1$ o entre un límite inferior de corte para el modo $k=-1$ y por encima de un límite superior de corte para el modo $k=-2$ con una frecuencia formada por la relación entre la frecuencia de paso de las hojas y el número de álabes rotatorios por estructura de álabes rotatorios o un múltiplo entero de esta relación, de forma que la turbina de baja presión tenga un nivel de ruido lo más bajo posible en las condiciones de funcionamiento en las que el ruido es crítico. Estas condiciones de funcionamiento en las que el ruido es crítico son, por ejemplo, el despegue o la aproximación de aterrizaje de un avión o el rodaje del avión sobre una pista de aterrizaje de un aeropuerto.

10

15

Adicionalmente, en la Fig. 1 se muestran la proporción aspa-hoja (V/B) así como un límite superior e inferior de corte $\alpha_{k=-1}$ o $u_{k=-1}$ para el modo $k = -1$ de la frecuencia de paso de las hojas y un límite superior e inferior de corte $\alpha_{k=-2}$ o $u_{k=-2}$ para el modo $k = -2$ de la frecuencia de paso de las hojas (B/P) de la etapa correspondiente. En el diagrama se muestran cinco etapas o sus anillos de álabes guía $V1$ a $V5$, así como los anillos de álabes rotatorios $B1$ a $B5$ y la carcasa de salida de la turbina TEC.

20

Se puede observar que en condiciones de funcionamiento de la turbina en las que el ruido es crítico, la proporción aspa-hoja (V/B) , que determina la relación entre el número de álabes guía y el número de álabes rotatorios de la etapa, está por debajo del límite superior de corte $\alpha_{k=-1}$ y por encima del límite inferior de corte $u_{k=-1}$ para el modo $k=-1$ de la frecuencia de paso de las hojas. La proporción aspa-hoja $V/(B/P)$ está por encima del límite superior de corte $\alpha_{k=-1}$.

25

Aunque en la descripción anterior se explicaron modalidades ejemplares, cabe señalar que es posible un gran número de variaciones. Además, cabe señalar, que las modalidades ejemplares son solo ejemplos que no deben restringir en modo alguno el alcance de la protección, las aplicaciones y la estructura. Más bien, la descripción anterior proporciona al experto una pauta para la aplicación de al menos una modalidad ejemplar, en donde pueden introducirse diversos cambios, en particular con respecto a la función y la disposición de los componentes descritos, sin salirse del alcance de la protección resultante de las reivindicaciones y de las combinaciones de características equivalentes.

30

Lista de referencia de los dibujos

35

$A_1, B_1; A_2; B_2$	Álabes rotatorios
B	Número de álabes rotatorios
ϕ_A, ϕ_B	Espaciamiento entre álabes
$V/(B/P)$	Proporción aspa-hoja
V	Número de álabes guía
P	Periodicidad
$\alpha_{k=-1}, \alpha_{k=-2}$	límite superior de corte
$u_{k=-1}, u_{k=-2}$	límite inferior de corte

40

REIVINDICACIONES

1. Método para diseñar una turbina, en particular una turbina de baja presión, una turbina de gas, en particular un motor de avión, que tenga una pluralidad de etapas dispuestas axialmente una detrás de otra en la dirección de flujo de la turbina, que están formadas cada una por una rejilla guía fija con una pluralidad de álabes guía y una rejilla de funcionamiento rotatoria con una pluralidad de álabes rotatorios; caracterizada porque, la rejilla de funcionamiento de al menos una de estas etapas tiene una pluralidad de estructuras de álabes rotatorios, cada una de las cuales está formada por al menos dos álabes rotatorios ($A_1, B_1; A_2, B_2$) con perfiles de álabes que difieren entre sí y/o espaciamientos de álabes que difieren entre sí (ϕ_A, ϕ_B) con respecto a los álabes rotatorios adyacentes a continuación en el sentido de la rotación; esta etapa se caracteriza por un parámetro de la proporción aspa-hoja ($V/(B/P)$) que determina la relación entre el número de álabes guía (V) y el cociente (B/P) del número de álabes rotatorios (B) de la etapa, dividido por el número de álabes rotatorios (P) por estructura de álabes rotatorios; esta etapa se diseñará de manera tal que, en una condición de funcionamiento de la turbina especificada, este parámetro de la proporción aspa-hoja esté por encima de un límite superior de corte para el modo $k=-1$ o entre un límite inferior de corte para el modo $k=-1$ y un límite superior de corte para el modo $k=-2$ de una frecuencia formada por una relación de la frecuencia de paso de las hojas con respecto al número de álabes rotatorios por estructura de álabes rotatorios o un múltiplo entero de esta relación.
2. Método de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque la rejilla de funcionamiento de esa etapa está formada por la pluralidad de estructuras de álabes rotatorios.
3. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las estructuras de álabes rotatorios de esa etapa son iguales entre sí.
4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las estructuras de álabes rotatorios de esa etapa están formadas cada una por exactamente dos o por al menos o exactamente tres, en particular al menos o exactamente cuatro, álabes rotatorios, en donde al menos dos álabes rotatorios de una estructura de álabes rotatorios tienen perfiles de álabes que difieren entre sí y/o espaciamientos entre álabes que difieren entre sí con respecto a los álabes rotatorios adyacentes a continuación en el sentido de rotación.
5. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las estructuras de álabes rotatorios de esa etapa pueden tener un primer álabes, un segundo álabes rotatorio adyacente a este a continuación en el sentido de rotación y otro primer o tercer álabes rotatorio adyacente a este a continuación en el sentido de rotación, en donde el primer, el segundo y el tercer álabes rotatorio tienen perfiles de álabes que difieren entre sí y/o espaciamientos entre álabes que difieren entre sí con respecto a los álabes adyacentes a continuación en el sentido de rotación.
6. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque esa etapa es una etapa de la turbina, en particular una primera etapa, dispuesta aguas arriba delante de otra etapa en la dirección de flujo, o una etapa, en particular una última etapa dispuesta aguas abajo delante de otra etapa en la dirección de flujo.
7. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los perfiles de los álabes que difieren entre sí tienen espesores de perfil, distribuciones de espesores de perfil, distribuciones de torsión y/o distribuciones de escalonamiento y/o tipos de perfil diferentes.
8. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque esa etapa está diseñada de tal manera que un parámetro de la proporción aspa-hoja, que determina la relación entre el número de álabes guía y el número de álabes rotatorios de la etapa, en las condiciones de funcionamiento de la turbina especificadas, puede estar por debajo de un límite superior de corte ($\alpha_{k=-1}, \alpha_{k=-2}$) y sobre un límite inferior de corte ($\alpha_{k=-1}, \alpha_{k=-2}$) para el modo $k=-1, k=-2$ y/o $k=-3$, en particular por debajo de un límite de corte superior para el modo $k=-1$ y por encima de un límite de corte inferior para el modo $k=-1, k=-2$ y/o $k=-3$, de la frecuencia de paso de las hojas.
9. Turbina, en particular una turbina de baja presión, una turbina de gas, en particular de un motor de avión, que tiene una pluralidad de etapas dispuestas axialmente una detrás de otra en la dirección de flujo de la turbina, que están formadas cada una por una rejilla guía fija con una pluralidad de álabes guía y una rejilla de funcionamiento rotatoria con una pluralidad de álabes rotatorios; caracterizada porque, la rejilla de funcionamiento de al menos la última etapa en la dirección del flujo de la turbina tiene una pluralidad de estructuras de álabes rotatorios, cada una de las cuales está formada por al menos dos álabes rotatorios ($A_1, B_1; A_2, B_2$) con perfiles de álabes que difieren entre sí y/o espaciamientos de álabes que difieren entre sí (ϕ_A, ϕ_B) con respecto a los álabes rotatorios adyacentes a continuación en el sentido de la rotación; esta etapa se caracteriza por un parámetro de la proporción aspa-hoja ($V/(B/P)$) que determina la relación entre el número de álabes guía (V) y el cociente (B/P) del número de álabes rotatorios (B) de la etapa, dividido por el número de álabes rotatorios (P) por estructura de álabes rotatorios; y

esta última etapa está diseñada de manera tal que un parámetro de la proporción aspa-hoja, que determina la relación entre el número de álabes guía y el número de álabes rotatorios de la etapa, en las condiciones de funcionamiento de la turbina especificadas, está por encima de un límite superior de corte para el modo $k=-1$ o entre un límite inferior de corte para el modo $k=-1$ y un límite superior de corte para el modo $k=-2$, de una frecuencia formada por la relación entre la frecuencia de paso de las hojas y el número de álabes rotatorios por estructura de álabes rotatorios o un múltiplo entero de esa relación y porque esa proporción aspa-hoja, que determina la relación entre el número de álabes guía y el número de álabes rotatorios de la etapa, en las condiciones de funcionamiento de la turbina especificadas, está por debajo de un límite superior de corte ($\alpha_{k=-1}$) para el modo $k=-1$ y sobre un límite inferior de corte ($\alpha_{k=-3}$) para el modo $k=-3$ de la frecuencia de paso de las hojas.

5

10

10. Turbina de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizada porque la rejilla de funcionamiento de la etapa está formada por la pluralidad de estructuras de álabes rotatorios.

15

11. Turbina de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque las estructuras de álabes de la última etapa son idénticos entre sí.

20

12. Turbina de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque las estructuras de álabes rotatorios de la última etapa están formadas cada una por exactamente dos o por al menos o exactamente tres, en particular al menos o exactamente cuatro, álabes rotatorios, en donde al menos dos álabes rotatorios de una estructura de álabes rotatorios tienen perfiles de álabe que difieren entre sí y/o espaciamientos entre álabes que difieren entre sí con respecto a los álabes rotatorios adyacentes a continuación en el sentido de rotación.

25

13. Turbina de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque las estructuras de álabes rotatorios de la última etapa pueden tener un primer álabe, un segundo álabe rotatorio adyacente a este a continuación en el sentido de rotación y un primer o tercer álabe rotatorio adyacente a este a continuación en el sentido de rotación, en donde el primer, el segundo y el tercer álabe rotatorio tienen perfiles de álabe que difieren entre sí y/o espaciamientos entre álabe que difieren entre sí con respecto a los álabes adyacentes a continuación en el sentido de rotación.

Fig. 1

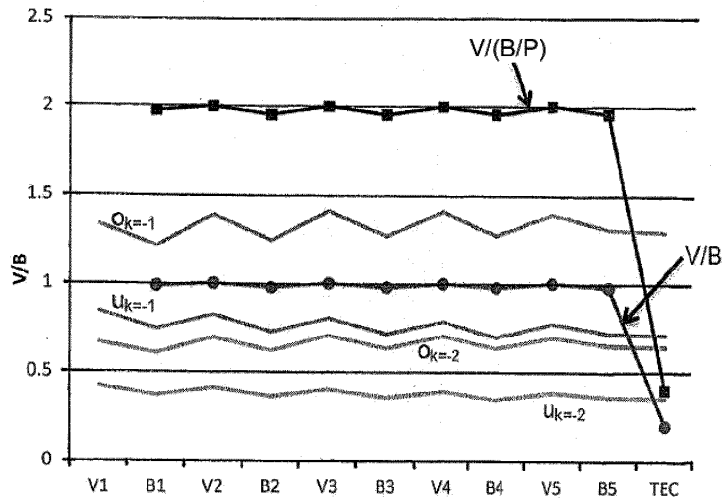


Fig. 2

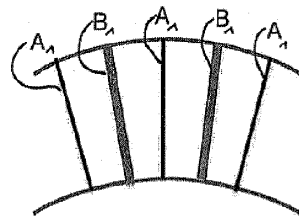


Fig. 3

