



# OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: 2 548 441

61 Int. Cl.:

F01D 11/00 (2006.01) F01D 11/02 (2006.01) F01D 11/04 (2006.01)

(12) TF

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: 25.03.2008 E 08718171 (5)

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: 01.07.2015 EP 2132414

(54) Título: Disposición de junta de solape a haces

(30) Prioridad:

05.04.2007 CH 5722007

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente: 16.10.2015

(73) Titular/es:

ALSTOM TECHNOLOGY LTD (100.0%) BROWN BOVERI STRASSE 7 5400 BADEN, CH

(72) Inventor/es:

HEINZ-SCHWARZMAIER, THOMAS; RATHMANN, ULRICH y SIMON-DELGADO, CARLOS

(74) Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel** 

## **DESCRIPCIÓN**

Disposición de junta de solape a haces.

## Campo técnico

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

La presente invención concierne a una disposición entre elementos de álabe en una fila de álabes de una turbina de gas según el preámbulo de la reivindicación 1.

## Estado de la técnica

Se conocen en general medios de sellado convencionales para sellar espacios intermedios, tal como, por ejemplo, juntas de goma, juntas de polímero, adhesivos o un encaje de un saliente en una ranura, como los que se pueden encontrar especialmente en el sellado entre dos elementos estáticos. En las turbinas de gas se enfrían los más diferentes elementos por medio de una corriente de aire refrigerante a fin de evitar daños por calor. Esta corriente de aire refrigerante deberá desarrollarse con la menor cantidad de pérdidas posible para maximizar el potencial de refrigeración. Se conocen por el sector de la presente invención varias clases de juntas para sellar espacios intermedios en turbinas de gas (por ejemplo, documentos GB 2 420 162, US 5 797 723). Sin embargo, tales clases de juntas son difícilmente aplicables en turbinas de gas entre dos partes móviles una con relación a otra, tal como, por ejemplo, entre un elemento de rotor y un elemento de estator, o entre dos partes que han de tener una cierta holqura.

Para conseguir un sellado efectivo entre dos elementos de álabe en una turbina de gas, por ejemplo para impedir la pérdida de aire refrigerante por una corriente de fuga, es necesaria una exacta adaptación de los elementos de álabe uno a otro. Sin embargo, si se quiere habilitar una cierta "holgura" para las partes aplicadas una a otra, lo que es imprescindible, por ejemplo, entre dos álabes de circulación en un rotor de una turbina de gas a causa del fuerte barrido envolvente de los elementos de álabe con un medio de trabajo caliente durante el funcionamiento, es casi imposible una exacta adaptación exenta de holgura de dos bandas de cubierta continuas de elementos de álabe, ya que una construcción tan estanca, como la que sería necesaria para el sellado completo de la rendija radial, puede conducir a problemas, por ejemplo a causa de la dilatación térmica. También puede ser considerable la acción de fuerzas centrífugas entre las piezas después del montaje, lo que puede conducir a un fuerte desgaste de medios de sellado convencionales (como se expone, por ejemplo, en el documento DE 199 31 765 A1). Por estos motivos, se emplean entre álabes en un rotor de turbina de das según un diseño convencional las llamadas "juntas de solape a haces" ("shiplaps") para sellar la corriente de fuga en dirección axial. Las juntas de solape a haces representan un medio de sellado térmicamente resistente, ya que están configuradas sustancialmente por el material de los propios elementos de álabe, forman una parte integrante de los elementos de álabe y, por tanto, hacen posible una acción de sellado sin un material adicional que, a lo mejor, es sensible al calor o posee un coeficiente de dilatación térmica diferente.

Los álabes de turbina, especialmente los álabes de turbina de baja presión, presentan casi siempre radialmente por dentro y/o por fuera al menos un elemento de banda de cubierta que, estando montada la fila de álabes, limita mediante los lados orientados en dirección periférica con el respectivo elemento de banda de cubierta contiguo del respectivo elemento de álabe contiguo, formando al propio tiempo una respectiva rendija sustancialmente radial. Este elemento de álabe de turbina puede presentar en al menos un canto axial, especialmente el canto efluencia, un saliente que discurre en dirección periférica y que, en un primer lado orientado en dirección periférica, penetra en el elemento de banda de cubierta del elemento de álabe adyacente, y en un segundo lado orientado en dirección periférica puede presentar un rebajo de alojamiento de este saliente.

El montaje secuencial de tales elementos de álabe conduce a la formación de una llamada "junta de solape a haces" ("shiplap") entre dos elementos de álabe. Esta junta de solape a haces es una zona de solapamiento o encaje escalonada en la dirección de flujo del gas de trabajo entre el elemento de banda de cubierta en un canto axial de un elemento de álabe y el elemento de banda de cubierta en el mismo canto axial del elemento de álabe contiguo. Esta junta de solape a haces sella la rendija radial entre los lados periféricos yuxtapuestos de dos álabes de turbina contra la salida de aire refrigerante del circuito de aire secundario, es decir, contra la corriente de fuga en dirección axial. Esta junta de solape a haces se produce por el recubrimiento de un rebajo en un primer lado – orientado en dirección periférica – de un elemento de álabe contiguo por un saliente en el segundo lado – orientado en dirección periférica – de un elemento de álabe o por el encaje del saliente en el rebajo. En el documento US 6 966 750 se representan en la figura 13 un saliente de esta clase, así como un rebajo y la zona de superposición o encaje escalonado resultante durante el montaje. Sin embargo, la junta de solape a haces regular conocida no es capaz de sellar completamente la rendija radial, por lo que puede escapar una cantidad significativa de aire refrigerante por la zona de solapamiento escalonada. Esta pérdida da como resultado una eficiencia y una potencia aminoradas de la turbina.

Se ha dado a conocer por el documento EP 1 408 199 A1 una disposición entre elementos de álabes en una fila de álabes de una turbina de gas, en donde cada elemento de álabe presenta al menos un elemento de banda de cubierta y una pala de álabe que limita con este elemento de banda de cubierta y está unida con éste y discurre

sustancialmente en dirección radial con respecto a un eje principal de la fila de álabes. Estando montada la fila de álabes, el elemento de banda de cubierta limita mediante los dos lados orientados en dirección periférica con el respectivo elemento de banda de cubierta contiguo del respectivo elemento de álabe contiguo, formando al propio tiempo una respectiva rendija radial. Al menos un elemento de álabe en un primer lado orientado en dirección periférica presenta un saliente que discurre en dirección periférica y penetra en el elemento de banda de cubierta del elemento de álabe adyacente y al menos un elemento de álabe presenta en un segundo lado orientado en dirección periférica un rebajo de alojamiento de dicho saliente. En la zona del saliente o del rebajo está presente un segmento escalonado de la rendija radial, estando configurado el trazado de la rendija radial en el segmento escalonado como una junta laberíntica.

Se desprende del documento EP 1 221 539 A2 una estructura de pared subdividida en una turbina de gas con varios segmentos de pared parcial que están unidos en la dirección periférica de un rotor de la turbina de gas de modo que forman la estructura de pared con una sección transversal sustancialmente circular. Los segmentos de pared están fijados a un extremo exterior o a un extremo interior de un respectivo álabe de la turbina de gas o están dispuestos con un espacio intermedio predeterminado entre el extremo exterior del respectivo álabe para formar una pared de paso para gas a alta temperatura juntamente con la superficie del respectivo álabe, estando previstas unas rendijas o espacios intermedios entre segmentos de pared unidos contiguos.

Se desprenden del documento US 6 425 738 B1 unas toberas del mecanismo propulsor de una turbina de gas que comprende bandas exteriores e interiores. Cada una de las bandas comprende en dirección periférica unos segmentos que están dispuestos en posición adyacente a hendiduras (rendijas) correspondientes. Las hendiduras de la banda interior están dispuestas en dirección periférica respecto de las hendiduras de la banda exterior. Una pluralidad de álabes está unida fijamente con los segmentos exteriores e interiores, de tal manera que definen entre ellos una vía de carga a manera de acordeón.

Se desprenden del documento EP 1 033 477 A2 un anillo envolvente de turbina de gas con un gran número de segmentos de envolvente y láminas de sellado, estando acoplados los segmentos de envolvente de tal manera que dan como resultado una forma cilíndrica debido a que un tramo extremo de una lámina de sellado está inserta en un tramo de unión de dos segmentos de envolvente contiguos. El tramo de unión presenta una forma tal que el tramo extremo interior de un segmento de envolvente sobresale en dirección periférica, en comparación con el tramo extremo exterior. Un primer segmento de envolvente, que es contiguo a un segundo segmento de envolvente, presenta un tramo de unión cuya forma es complementaria de la forma del tramo de unión de este segmento de envolvente, y los segmentos de envolvente contiguos están acoplados de tal manera que existe una rendija específica entre ellos, estando previsto un agujero (2) para dejar pasar una cantidad de aire refrigerante en el tramo de unión del segmento de envolvente.

Se desprende del documento GB 2 166 805 A una turbina de gas que presenta un camino de flujo anular para gases de trabajo y una vía de flujo para fluido refrigerante que está dispuesta radialmente con respecto al camino de flujo de los gases de trabajo. Un gran número de segmentos de junta de forma de arco se extienden en dirección periférica sobre el eje, formando al menos un par de segmentos de junta un primer tramo de junta y un segundo tramo de junta que está distanciado en dirección periférica respecto del primer segmento de junta, originándose debido a esta configuración una ranura que se conforma de manera variable a la luz de las condiciones de funcionamiento.

#### 40 Exposición de la invención

20

25

30

35

45

50

55

Por consiguiente, la invención se basa en el problema de proporcionar una disposición mejorada que tenga una acción de sellado mejorada en comparación con las juntas de solape a haces conocidas por el estado de la técnica y, por tanto, aminore el flujo de fuga desde el circuito de aire secundario.

La solución de este problema se consigue introduciendo en la junta de solape a haces al menos un escalón laberíntico. Por tanto, se proporciona una disposición con una junta laberíntica entre álabes de turbina o álabes de circulación o álabes de guía en un rotor, que reduce en el canto de flujo de descarga la salida del aire refrigerante inyectado desde la zona de aire refrigerante en la rendija radial de una turbina de baja presión.

Por consiguiente, el núcleo de la invención consiste en prever una junta laberíntica entre dos bandas de cubierta contiguas de un elemento de álabe. En el estado de la técnica no se conoce el principio de introducir una junta laberíntica de esta clase entre dos componentes en principio estáticos uno respecto de otro. Por junta laberíntica se debe entender en relación con esta invención una zona de solapamiento o encaje – configurada sustancialmente en forma de zigzag – de dos elementos de banda de cubierta contiguos en álabes de turbina con más de dos variaciones de dirección de la rendija radial, o una zona de solapamiento o encaje que aprovecha el efecto sinérgico del estrechamiento y el ensanchamiento de la rendija sobre la formación de torbellinos del aire que se encuentra en la rendija, o una zona de solapamiento o encaje de dos elementos de banda de cubierta contiguos en álabes de turbina que presenta una forma de construcción que incluye una combinación de los dos principios.

Es bien conocido el principio de la junta laberíntica por situaciones en las que unas piezas están montadas

dinámicamente de forma móvil entre ellas. Varios documentos, como, por ejemplo, los documentos US 5 279 109 y US 5 222 742, consignan que especialmente las juntas laberínticas podrían contribuir a reducir la corriente de fuga de aire refrigerante en turbinas de gas y, por tanto, a lograr una acción de refrigeración mejorada. Además, se conocen enfoques para mejorar el diseño de juntas laberínticas. Así, por ejemplo, el documento US 5 639 095 revela varios escalones laberínticos conectados uno tras otro. Estas juntas laberínticas mejoradas se han desarrollado para optimizar la desviación del flujo, aminorar el rozamiento a consecuencia de la "geometría en zigzag" que se presenta en juntas laberínticas sencillas y conseguir un movimiento turbulento máximo y la mejora de la acción de junta. Sin embargo, el lugar de destino de la utilización de tales juntas laberínticas mejoradas es siempre en los documentos citados el canal de flujo entre el elemento de rotor y el elemento de estator de una turbina de gas. Todas las formas de realización preferidas (figuras 3-18) están orientadas a sistemas específicos de juntas laberínticas con una geometría correspondiente a las superficies de junta entre el rotor y el estator y, por tanto, se dirigen a elementos que en funcionamiento son dinámicamente móviles uno con relación a otro. Sin embargo, en contraste con esto, la presente invención concierne al sellado entre dos elementos de álabe o entre dos elementos contiguos, por ejemplo en un rotor, que no son dinámicamente móviles uno con respecto a otro, pero entre los cuales es necesaria una cierta "holgura" durante el funcionamiento de la turbina de gas. Por tanto, esta solución no es evidente para el experto.

5

10

15

20

25

35

40

45

50

55

Las juntas laberínticas se han empleado hasta ahora solamente entre dos partes móviles una con relación a otra, tal como, por ejemplo, un elemento de estator y un elemento de rotor. Los documentos DE 39 40 607 y US 5 222 742 revelan sistemas de juntas laberínticas entre piezas rotativas y estacionarias de una turbina de gas. En el documento DE 39 40 607 se obtiene un sistema laberíntico por el engrane de dientes largos escalonados en un elemento de junta de estator y rebajos escalonados en el elemento de junta del rotor, así como de dientes cortos escalonados del elemento de junta del rotor con rebajos escalonados del elemento de junta del estator. Se varían aquí la geometría y la inclinación de los dientes, lo que conduce a rendijas que estrangulan en grado diferente la energía cinética del gas o vapor circulante por ellas. El documento WO 2005/028812 A1 revela una disposición de juntas laberínticas apiladas para reducir la corriente de fuga entre componentes estacionarios y rotativos, concretamente un anillo interior segmentado para sujetar álabes de guía en una turbina de gas estacionaria.

La presente invención transfiere de manera no evidente el principio de la junta laberíntica estacionaria a la problemática del sellado de una rendija entre bandas de cubierta de elementos de álabes contiguos contra una corriente de fuga, especialmente en relación con una junta de solape a haces.

30 Según la invención, esto se consigue debido a que la rendija radial presenta en la zona escalonada al menos un segmento en el que la dirección de flujo de la rendija (S) discurre en sentido contrario a la dirección de afluencia (A), según la parte caracterizadora de la reivindicación 1.

Una primera forma de realización de la junta laberíntica se caracteriza por que se proporciona una disposición entre elementos de álabe de una fila de álabes de una turbina de gas, en donde cada elemento de álabe presenta al menos un elemento de banda de cubierta y una pala de álabe que limita con este elemento de banda de cubierta y que está unida con éste y discurre sustancialmente en dirección radial con respecto a un eje principal de la fila de álabes. Estando montada la fila de álabes, el elemento de banda de cubierta limita mediante los dos lados orientados en dirección periférica con el respectivo elemento de banda de cubierta contiguo del respectivo elemento de álabe contiguo, formando al propio tiempo una respectiva rendija sustancialmente radial. En este caso, al menos un elemento de álabe presenta en un primer lado orientado en dirección periférica un saliente que discurre en dirección periférica y penetra en el elemento de banda de cubierta del elemento de álabe adyacente, y al menos un elemento de álabe presenta en el segundo lado orientado en dirección periférica un rebajo de alojamiento de este saliente. En la zona del saliente o del rebajo está presente un segmento escalonado de la rendija radial, estando configurado el trazado de la rendija radial en el segmento escalonado, es decir, en la zona de la junta de solape a haces, como una junta laberíntica.

Según otra forma de realización preferida, la rendija radial presenta en la zona escalonada más de dos variaciones de dirección, especialmente cuatro, seis u ocho variaciones de dirección. Sin embargo, son enteramente imaginables también disposiciones con un número impar de variaciones de dirección, por ejemplo 3, 5, 7 o más.

Como variación de dirección se entiende sustancialmente una variación de la dirección de flujo de la rendija de 40 a 130 grados, preferiblemente de 60 a 110 grados, en particular de preferencia sustancialmente de 80 a 100 grados, pero en particular sustancialmente, en el caso de superficies de borde angulosas de la rendija radial, de aproximadamente 90 grados. La dirección de flujo de la rendija se define como la dirección de la corriente de aire en la rendija radial que discurre siempre sustancialmente paralela a la superficie de la banda de cubierta, en donde el aire que viene del canto de afluencia fluye primero en dirección axial hacia el canto de efluencia, pero, después de una variación de dirección, puede fluir enteramente también en forma oblicua o transversal a la dirección de afluencia. No obstante, en el caso de superficies de borde redondeadas puede ser enteramente preferible también prever variaciones de dirección de 40-80 grados o de 110-130 grados. Una variación de dirección tiene, según la invención, la finalidad de desviar la corriente del aire de la rendija que ha llegado impremeditadamente a la rendija radial desde la zona de aire refrigerante, de tal manera que tenga lugar una reducción de la presión dentro del

escalonamiento, produciéndose una resistencia adicional al flujo dentro del escalonamiento. Debido a la variación de dirección se forman torbellinos en el aire refrigerante, especialmente al pasar por segmentos de rendija estrechados. Estos torbellinos son desviados en una variación de dirección siguiente y emigran debido a que no pueden entrar en el segmento de rendija siguiente. Los torbellinos que no emigran en una dirección orientada en sentido contraria a la corriente de la rendija, se disuelven de nuevo al menos parcialmente cuando entran en una zona ensanchada de la rendija. Gracias a esta desviación de la corriente de la rendija y a la formación de remolinos inherente por aire que circula en direcciones diferentes y a la disolución de tales torbellinos se impide que el aire refrigerante produzca, debido a su propio movimiento, un flujo uniforme con un alto caudal másico. Debido a que se impide un alto caudal másico sale menos aire refrigerante de la rendija radial por el canto axial.

- Según otra forma de realización preferida, la rendija radial presenta en la zona de la junta de solape a haces unas superficies de borde angulosas y/o redondeadas. Esto quiere decir que, en el caso de una variación de dirección, los distintos segmentos pueden hacer transición de uno a otro en forma angulosa o redonda bajo un ángulo determinado. Las superficies de borde pueden estar configuradas como cóncavas y/o convexas y/o como rectas.
- Según otra forma de realización preferida, la rendija radial experimenta sucesivamente durante su recorrido en la zona escalonada dos respectivos cambios de dirección en el mismo sentido. Esto quiere decir que, por ejemplo, dos cambios de dirección en sentido contrario al de las agujas del reloj podrían seguir a dos cambios de dirección en el sentido de las agujas del reloj, y/o viceversa. Esto es especialmente lo que ocurre cuando la rendija radial en la zona de solapamiento o encaje escalonada presenta una forma de zigzag. Una disposición con esta geometría de zigzag de la rendija radial puede presentar en la zona escalonada al menos un segmento en el que la dirección de flujo de la rendija discurre en sentido contrario a la dirección de afluencia.
  - Como alternativa a las formas de realización anteriores o adicionalmente a ellas en combinación con ellas, es posible y preferible que la rendija radial presente en la zona escalonada al menos un estrechamiento y/o al menos un ensanchamiento. Un segmento de la rendija radial con tal ensanchamiento puede ascender a al menos un 30% más y preferiblemente al menos un 50% más que la anchura de la rendija radial o que la sección transversal de flujo a la entrada en la zona escalonada, y, en cierta circunstancias, puede ser incluso el doble de grande que la sección transversal de flujo a la entrada en la zona escalonada. En el segmento de un estrechamiento la anchura de la rendija radial o la sección transversal de flujo asciende a 75%-50% y preferiblemente 50%-25% de la anchura de la rendija a la entrada en la zona escalonada.
- Visto en la dirección del primer canto axial al segundo canto axial, pueden estar dispuestos un ensanchamiento y/o un estrechamiento delante y/o detrás de una variación de dirección. Para la formación de torbellinos es óptimo que en la rendija radial esté dispuesto un ensanchamiento después de un estrechamiento, considerado en la dirección de la corriente del aire en la rendija. Sin embargo, un estrechamiento puede seguir nuevamente a un ensanchamiento para aumentar el efecto de formación de torbellinos. La zona de la variación de dirección, es decir, la zona en la que las superficies de borde de la rendija radial limitan una con otra o hacen transición de una a otra en forma redonda o angulosa bajo un ángulo determinado, puede estar configurada también como un ensanchamiento o un estrechamiento en comparación con la zona de entrada del aire en la zona escalonada. En otra forma de realización preferida tales zonas de la variación de dirección presentan zonas triangulares redondeadas (visto desde arriba mirando hacia el plano de la superficie de la banda de cubierta).
- Otra forma de realización preferida según la presente invención es una fila de álabes de una turbina de gas con una disposición según una de las formas de realización anteriormente descritas. Según otra forma de realización preferida de tal fila de álabes, se cubre la rendija radial entre dos elementos de banda de cubierta contiguos en el lado inferior de la banda, por medio de una chapa de junta. Esta chapa de junta dificulta la entrada de aire de la zona de aire refrigerante en la rendija radial y, por tanto, minimiza inicialmente sobre todo la cantidad de aire a la que se deberá impedir que salga de la rendija por medio de la disposición de junta de solape a haces según la invención, ya que, en lo posible, se le deberá impedir ya la entrada en la rendija por medio de la chapa de junta. No quedan excluidas aquí otras variantes de junta como alternativa a la chapa de junta.

En las reivindicaciones subordinadas se describen otras formas de realización preferidas de la invención.

## Breve explicación de las figuras

5

25

50

- Se explicará seguidamente la invención con más detalle ayudándose de ejemplos de realización en relación con los dibujos. Muestran:
  - La figura 1, el estado de la técnica, mostrando la figura 1a una representación esquemática de una disposición de álabes de turbina y mostrando la figura 1b una vista de detalle de una junta de solape a haces;
  - La figura 2, una representación esquemática de una sección a lo largo de la línea C-C del fragmento 10 de la zona entre dos elementos de álabe contiguos 1, considerado desde la dirección de afluencia A;
- La figura 3, cinco variantes diferentes (3a-f) de posibles geometrías de juntas laberínticas en una vista de detalle 20

de la zona escalonada 2 de la figura 1; y

La figura 4, un resultado de cálculo 2D CFD (simulación de flujo numérica plana) como comparación entre una sencilla junta laberíntica (figura 4a) y un ejemplo de realización más preferido de la presente invención (figura 4b) para representar los valores absolutos de las velocidades de flujo.

#### 5 Modos de realización de la invención

10

40

45

50

55

La figura 1a muestra una disposición de álabes de turbina como un segmento desarrollado de una fila de álabes en una vista en planta de la superficie 23 de una banda de cubierta, estando representados tres elementos de álabe yuxtapuestos. Un elemento de álabe 1 presenta un elemento de banda de cubierta 13 y una pala de álabe 9 que limita con este elemento de banda de cubierta 13 y que está unida con éste y discurre sustancialmente en dirección radial con respecto a un eje principal de la fila de álabes. El eje principal de la fila de álabes es el eje en torno al cual se forman cilindros circulares definidos por una fila de álabes montada. El eje principal de la fila de álabes representa, por ejemplo en el caso de álabes de circulación montados en un rotor de una turbina de gas, el eje alrededor del cual giran los álabes de circulación dispuestos en forma cilíndrica circular.

La pala de álabe 9 presenta un canto de álabe axialmente delantero 14 y un canto de álabe axialmente trasero 15. El canto de álabe delantero 14 es barrido primero en la dirección de afluencia A desde el primer canto axial o desde el canto de afluencia 11 por la corriente de aire del medio de trabajo que circula en la zona R de dicho medio de trabajo. El medio de trabajo barre entonces la pala de álabe 9 y sale por el canto de álabe trasero 15 en dirección al segundo canto axial o canto de efluencia 12.

Estando montada la fila de álabes, el elemento de banda de cubierta 13 limita mediante los dos lados 4, 5 orientados en dirección periférica U con el respectivo elemento de banda de cubierta contiguo 13 del respectivo elemento de álabe contiguo 1, formando al propio tiempo una respectiva rendija sustancialmente radial 3. En la figura 1a se representan los elementos de álabe 1 con solamente un respectivo elemento de banda de cubierta 13. Sin embargo, es imaginable que los elementos de álabe 1 presenten tanto un elemento de banda de cubierta radialmente interior como un elemento de banda de cubierta radialmente exterior 13.

Cada elemento de álabe 1 presenta en dirección periférica U un primer lado 4 orientado en la dirección de montaje M y un segundo lado 5 orientado en sentido contrario a la dirección de montaje M. El primer lado periférico 4 – orientado en la dirección de montaje M – de un elemento de álabe montado 1 viene a quedar situado, debido al montaje de un elemento de álabe siguiente 1, en el segundo lado periférico 5 – orientado en sentido contrario a la dirección de montaje M – del siguiente elemento de álabe montado 1.

El primer elemento de álabe montado 1, designado con "I", y todos los elementos de álabe siguientes 1 presentan un saliente 6 que en un canto axial 12, en un primer lado 4 orientado en la dirección periférica U, mira hacia delante en la dirección de montaje M y que discurre en la dirección periférica U y penetra en el elemento de banda de cubierta 13 del elemento de álabe adyacente 1. Asimismo, los elementos de álabe ilustrados 1 presentan en un segundo lado 5 orientado en la dirección periférica U un rebajo correspondiente 7 de alojamiento de este saliente 6. La anchura B del saliente 6, medida en dirección radial, asciende como máximo a un 40%, preferiblemente como máximo un 20% y de manera especialmente preferida un 5-15% de la profundidad de montaje T de un elemento de álabe 1. La profundidad de montaje T viene definida por la distancia axial entre el canto de afluencia 11 y el canto de efluencia 12 del elemento de álabe 1.

El saliente 6 puede entenderse como un decalaje en la dirección periférica U sobre una parte del recorrido axial de un lado periférico 4 de un elemento de álabe 1. En particular, el saliente 6 define con respecto al eje longitudinal L de una pala de álabe 9, entre dos elementos de álabe montados contiguos 1, una rendija radial 3 escalonada en un plano definido por la superficie 23 de la banda de cubierta, cuya rendija se extiende en un plano radial E entre los lados contiguos 4, 5 de los distintos elementos de álabe desde el canto de afluencia axial 11 de un elemento de álabe 1 hasta el canto de efluencia axial 12. En estado montado, la yuxtaposición de los elementos de álabe 1 da como resultado una zona de solapamiento o encaje escalonada 2 entre las bandas de cubierta de elementos de álabe contiguos, con lo que la rendija radial 3 queda sellada contra la salida de aire refrigerante. Sin esta disposición escalonada 2 el aire que haya entrado en la rendija radial 3 saldría sin impedimentos por la abertura 8 del canto de efluencia axial 12 y, por tanto, se perdería para el sistema.

La figura 1b muestra una vista de detalle esquemática de una zona de solapamiento escalonada según el estado de la técnica. Se puede apreciar aquí la forma de zigzag de la rendija radial 3 que resultado debido al solapamiento de las bandas de cubierta de los dos elementos de álabe contiguos. Esta disposición con dos variaciones de dirección desvía el aire refrigerante que ha pasado de la zona de aire refrigerante a la rendija radial 3 y contribuye a aminorar la corriente de fuga en el canto de efluencia de los elementos de álabe. Por tanto, la junta de solape a haces convencional según la representación tiene dos variaciones de dirección en el rango de un ángulo α de sustancialmente 90 grados con respecto al recorrido de la rendija radial 3. Esta zona de solapamiento escalonada según el estado de la técnica presenta en todo el recorrido de la zona radial, en la zona escalonada, una anchura de

rendija sustancialmente constante.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

En la figura 2 se representa esquemáticamente la zona 10 señalada en la figura 1a entre dos elementos de álabe contiguos 1 en un primer canto axial o canto de afluencia 11, en una sección perpendicular al eje principal de la fila de álabes a lo largo de la línea C-C marcada en la figura 1a. Se representa un fragmento de dos elementos de banda de cubierta contiguos 13 con sus palas de álabe correspondientes 9. En la figura se representa la zona de aire refrigerante K por debajo de los elementos de banda de cubierta 13, y entre las dos palas de álabe 9 se representa la zona R del medio de trabajo, señalado por la dirección de flujo del medio de trabajo A. La entrada de aire refrigerante en la rendija radial 3 que discurre entre las dos bandas de cubierta 13 y la difusión axial del aire en la rendija radial 3 se dificultan en este ejemplo de realización por medio de una chapa de junta 17. La chapa de junta 17 para sellar la rendija radial 3 descansa, cubriendo la rendija, en sendas depresiones 24 o escalones de dos bandas de cubierta contiguas en la dirección periférica U del lado inferior de las bandas de cubierta o encaja en estos escalones o depresiones 24 y se extiende en su longitud a lo largo de la rendija radial 3 paralelamente a un plano definido por la superficie de la banda de cubierta hasta la zona escalonada 2 en el canto de efluencia 12 del elemento de banda de cubierta 13. Debido a la fuerza centrífuga se mantiene en su posición la tira de chapa de junta 17 que encaja en las dos depresiones 24 de los elementos de banda de cubierta contiguos 13. Mientras que la disposición de junta de solape a haces o la zona escalonada 2 tiene la misión de reducir la componente axial del flujo de fuga a la salida de la rendija radial 3 en el canto de efluencia 12, esta chapa de junta 17 tiene la función de capturar la componente radial del flujo de fuga, es decir, impedir la entrada radial de aire refrigerante desde la zona de aire refrigerante K en la rendija radial 3 y con ello impedir también el primer paso para la difusión de la corriente de fuga en dirección axial. Sin embargo, esta chapa de junta 17 ya no cubre completamente la rendija radial en dirección radial en la zona escalonada de la junta de solape a haces, por lo que en la zona 20 de la junta de solape a haces puede seguir entrando relativamente mucho aire refrigerante desde la zona de aire refrigerante K en la rendija radial 3. Por tanto, en la presente invención se trata, entre otras cosas, de minimizar que salga de la rendija radial 3 el aire que, a pesar de medios de junta, tal como aquí, por ejemplo, la chapa de junta 17, haya llegado a la rendija radial 3.

La figura 3 muestra diferentes ejemplos de realización preferidos de disposiciones de junta de solape a haces configuradas en forma de juntas laberínticas, como una representación esquemática del fragmento 20 marcado en la figura 1a. Con excepción de la junta de solape a haces representada en la figura 3d, se han representado aquí con solo un escalonamiento sencillo unas respectivas juntas de solape a haces con una junta laberíntica de múltiples escalones en el sentido de la invención, por ejemplo con 4 variaciones de dirección, si bien esto no pretende excluir la presencia de más escalones laberínticos, es decir, de 2 y más variaciones de dirección adicionales. En esencia, en todos los ejemplos de realización representados de la junta laberíntica unos segmentos de la rendija radial 3, que discurren en dirección paralela u oblicua con respecto a la dirección de flujo A, se alternan con segmentos de esta clase que están dispuestos transversalmente a la dirección de afluencia A. Sin embargo, es imaginable también que en la zona escalonada de la rendija 3 estén presenten solamente segmentos achaflanados con respecto a la dirección de flujo A o solamente la combinación de segmentos paralelos a la dirección de flujo A y segmentos perpendiculares a ésta.

La figura 3a muestra una forma en zigzag de la rendija radial 3 en la zona escalonada 2. La forma en zigzag de la rendija 3 se consigue haciendo que dos variaciones de dirección en el sentido de las agujas del reloj sigan a dos variaciones de dirección en el sentido contrario al de las aquias del reloi. Sin embargo, esto podría ser alternativamente también el caso contrario. La corriente en la rendija 3 discurre en un segmento, visto desde el canto de afluencia 11, en sentido contrario a la dirección de afluencia A después de las dos variaciones de dirección en el sentido contrario al de las agujas del reloj. Aunque aguí solamente se representa una de estas fases, son imaginables, en el caso de un número mayor de variaciones de dirección en la zona escalonada 2, varios segmentos de esta clase que discurran en sentido contrario a la dirección de afluencia A. El presente ejemplo de realización tiene cuatro variaciones de dirección de la rendija radial 3, de las cuales las dos primeras variaciones de dirección, visto desde el canto de afluencia 11 hasta el canto de efluencia 12, están dispuestas en el sentido contrario al de las agujas del reloj y las dos variaciones de dirección siguientes están dispuestas en el sentido de las agujas del reloj. Según este ejemplo de realización, el aire circula en la rendija radial primeramente en sentido paralelo a la dirección de flujo A, después de lo cual circula en un tramo transversalmente a la dirección de flujo A y a continuación en sentido contrario a la dirección de flujo A, y luego circula de nuevo transversalmente a ésta antes de que la geometría de la rendija radial 3 le permita nuevamente circular en la dirección de flujo A. Por tanto, en la figura 3a la corriente S del aire refrigerante en la rendija, viniendo del canto de afluencia 11 y estando dirigida hacia el canto de efluencia 12, entra en la zona escalonada 2 en sentido sustancialmente paralelo a la dirección de flujo A. A continuación, según la representación, el aire refrigerante es desviado dos veces en aproximadamente 90 grados en el sentido contrario al de las aquias del reloi para experimentar después dos veces una variación de dirección de aproximadamente 90 grados en el sentido de las agujas de reloj, antes de que el aire refrigerante que, a pesar de la disposición escalonada como junta laberíntica, se haya visto impedido de circular hasta el canto de efluencia 12, salga de la rendija radial 3 por el canto de efluencia 12. La forma de realización preferida representada en la figura 3a presenta unas superficies de borde rectas 21 que limitan una con otra en forma angulosa bajo ángulos determinados a. Sin embargo, en una disposición de esta clase las superficies de borde 21 podrían limitar enteramente también una con otra a través de formas de superficie de borde cóncavas o convexas, por así

## ES 2 548 441 T3

decirlo bajo "esquinas redondas". Es imaginable también que la rendija radial 3 podría presentar en esta disposición unas variaciones de dirección de otras magnitudes angulares α.

El ejemplo de realización de una junta laberíntica representado en la figura 3b muestra también una rendija radial 3 constituida exclusivamente por superficies de borde rectas 21 en la zona escalonada 2. Las zonas de las variaciones de dirección son todas ellas angulosas en este ejemplo de realización. La corriente S del aire refrigerante en la rendija, después de su entrada en la zona escalonada 2, entra en una zona de rendija estrechada 18 paralelamente a la dirección de afluencia A al producirse la primera variación de dirección, que asciende a aproximadamente 90 grados en el sentido contrario al de las agujas del reloj, tras lo cual la corriente de la rendija es desviada en aproximadamente 90 grados en el sentido al de las agujas del reloj hacia una zona ensanchada 19 y luego nuevamente es desviada en aproximadamente 90 grados en el sentido contrario al de las agujas del reloj hacia una zona de estrechamiento 18, para experimentar seguidamente todavía una desviación de aproximadamente 90 grados en el sentido contrario al de las agujas del reloj antes de que el aire, después de otras dos variaciones de dirección de sustancialmente unos 90 grados en el sentido de las agujas del reloj, llegue a la abertura de salida 8 en el canto de efluencia 12 del elemento de álabe 1.

10

35

50

55

60

En la figura 3c, como ocurre ya en la figura 3b, se representa una junta laberíntica en la que la rendija radial 3 en las 15 superficies de borde rectas 21 dispuestas transversalmente a la dirección de flujo A es más estrecha que en las superficies de borde 21 dispuestas paralelamente a la dirección de flujo A. La zona escalonada presenta aquí ocho variaciones de dirección, estando dispuestas en la dirección S de la corriente de la rendija primeramente dos variaciones de dirección en el sentido del contrario al de las agujas del reloj, seguidas por dos variaciones de 20 dirección en el sentido de las agujas del reloj, luego nuevamente dos variaciones de dirección en el sentido contrario al de las aquias del reloj y finalmente dos variaciones de dirección en el sentido de las aquias del reloj. La primera variación de dirección en el sentido contrario al de las agujas del reloj asciende sustancialmente a 60-70 grados. La segunda variación de dirección en el sentido contrario al de las agujas del reloj asciende a aproximadamente 100-110 grados, tal como ocurre también con la variación inmediata siguiente – dispuesta en el sentido de las agujas de 25 reloj - de la rendija radial 3. La variación de dirección consecutiva en el sentido de las agujas del reloj asciende nuevamente a alrededor de 60-70 grados, tal como ocurre también con la variación de dirección subsiguiente en el sentido contrario al de las aqujas del reloj. Siguen a éstas una variación de dirección en el sentido contrario al de las agujas del reloj de aproximadamente 100-110 grados y luego dos variaciones de dirección en el sentido de las agujas del reloj, de las cuales la primera asciende también a aproximadamente 100-110 grados y la segunda asciende a aproximadamente 60-70 grados. La rendija radial 3 presenta aquí, según la representación, dos 30 segmentos que se siguen uno a otro hacia arriba (en la dirección de flujo) y dos segmentos angulosos de forma de U abierta hacia abajo.

La forma en zigzag de las juntas laberínticas con más de dos variaciones de dirección, como se representa en las figuras 3a-c, se caracteriza, entre otras cosas, por que la corriente S del aire refrigerante en la rendija es forzada a tramos también en una dirección opuesta a la dirección de flujo total A de conformidad con la geometría de la junta laberíntica dentro de la rendija radial 3 y por que la corriente S de la rendija experimenta fuertes formaciones de torbellinos en el curso de la zona escalonada 2, en cuyo caso el cociente entre la sección transversal de flujo o la anchura de la rendija radial en un estrechamiento y la sección transversal de flujo en la zona siguiente al estrechamiento influye sobre el grado de formación de torbellinos.

En general, es de mencionar que las superficies de borde 21, independientemente de cómo estén representadas en las figuras, pueden discurrir paralelamente a la dirección de afluencia A, transversalmente a ella u oblicuamente a ella, es decir, en forma acodada con respecto a la dirección de flujo. Estas superficies de borde 21 pueden estar configuradas planas o rectas, o redondeadas, bien convexas, es decir, como protuberancias hacia dentro de la rendija radial, o bien cóncavas, es decir, como ensanchamientos desde la rendija radial 3 hacia dentro del elemento de banda de cubierta 13. Asimismo, al producirse un cambio de dirección de la rendija radial 3 bajo ángulos determinados, las superficies de borde 21 limitan una con otra de forma angulosa y/o a lo largo de superficies de borde redondeadas 21.

La figura 3d muestra un ejemplo de realización de una junta laberíntica que presenta ciertamente tan solo dos variaciones de dirección, pero que tiene, frente a una junta de solape a haces sencilla, adicionalmente a las dos variaciones de dirección de la rendija radial 3, sendas zonas con un ensanchamiento 19 y un estrechamiento 18 en la rendija radial 3. Esta secuencia de un ensanchamiento 19 en la zona de la variación de dirección, seguida por un segmento de rendija estrechado 18, o viceversa, actúa también sobre la corriente de la rendija estrangulando la velocidad, lo que es deseable ciertamente con miras a minimizar la corriente de fuga. Las dos variaciones de dirección, de las cuales una está concebida en el sentido contrario al de las agujas del reloj y la segunda en el sentido de las agujas del reloj, ascienden ambas a sustancialmente alrededor de 90 grados. La zona de la primera variación de dirección en la zona escalonada 2 está configurada, según la representación, como una "esquina redondeada" o una zona triangular ensanchada redondeada, mientras que la segunda zona de variación de dirección está configurada como una esquina convencional. Un ensanchamiento 19 se define como un segmento de la rendija radial 3 en la zona escalonada 2 en el que la anchura de la rendija radial 3, es decir, la sección transversal de flujo, asciende a al menos un 30% más y preferiblemente al menos un 50% más que la anchura D de la rendija, o

incluso es el doble de grande. Un estrechamiento 18 se define como un segmento de la rendija radial 3 en la zona escalonada 2 en el que la anchura de la rendija radial 3 o la sección transversal de flujo asciende a un 50% y preferiblemente a un 25-50% de la anchura D de la rendija. Esto quiere decir que la relación de la anchura D de la rendija y la anchura de la rendija, es decir, el cociente entre la anchura de la rendija en el estrechamiento 18 y la anchura D de la rendija a la entrada de la rendija radial 3 en la zona escalonada 2, está sustancialmente entre 1:2 y 1:4, pero posiblemente llega también hasta 1:8.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

La junta laberíntica según el ejemplo de realización representado en la figura 3e presenta superficies de borde 21 mayoritariamente redondeadas. Después de que entra aire de la corriente S de la rendija en la zona escalonada 2, visto desde el canto de afluencia 11 en dirección al canto de efluencia 12, a través de un estrechamiento cónico 26 representado según este ejemplo de realización, dicho aire llega a una zona triangular ensanchada 25 con superficies de borde redondeadas 21, en cuyas superficies de borde 21 limitadoras de la rendija radial 3 se desvía y se turbuliza considerablemente la corriente de aire, aquí en aproximadamente 130 grados en el sentido contrario al de las agujas del reloj, antes de que dicha corriente sea impulsada con una variación de dirección en el sentido de las agujas del reloj de aproximadamente 50-60 grados hacia un segmento estrechado 18 de la rendija radial 3 dispuesto transversalmente a la dirección de afluencia A de los elementos de álabe 1. A continuación, la corriente de aire refrigerante que circula en la rendija radial 3 experimenta una desviación de aproximadamente 40-50 grados en el sentido de las agujas del reloj hacia dentro de un segundo ensanchamiento 19, para experimentar después nuevamente una desviación de aproximadamente 50-60 grados en el sentido contrario al de las agujas del reloj hacia dentro de una zona de rendija nuevamente estrechada 18, antes de que esta corriente, después de una desviación adicional de aproximadamente 70-85 grados en el sentido de las agujas del reloj, pueda salir de la rendija radial 3 por el canto de efluencia 12.

En la junta laberíntica según el ejemplo de realización de la figura 3f las superficies de borde 21 limitadoras de la rendija radial 3 limitan primero una con otra de forma angulosa a través de dos variaciones de dirección respecto de la corriente S del aire refrigerante en la rendija después de la entrada en la zona escalonada 2, mientras que, al producirse un cambio de dirección, la rendija radial 3 en la región subsiguiente de la zona escalonada 2 presenta también yuxtaposiciones redondeadas de las superficies de borde 21. La rendija radial 3 en la junta laberíntica representada en la figura 3f presenta en una primera mitad con respecto a la dirección de la corriente S de la rendija una anchura sustancialmente unitaria D, mientras que la segunda mitad presenta primero a lo largo de una superficie plana una zona 18 estrechada en comparación con el primer escalón del laberinto y a continuación un ensanchamiento 19. La corriente S de la rendija que penetra en la zona escalonada 2 según este ejemplo de realización es desviada primeramente tan solo en una pequeña medida, en un ángulo α de aproximadamente 30 grados en el sentido contrario al de las agujas del reloj, antes de que experimente, con miras a la formación de torbellinos y a la estrangulación de la velocidad, una considerable desviación de sustancialmente 90 grados en el sentido contrario al de las agujas del reloj, para ser desviada luego en la considerable cantidad de 130-140 grados en el sentido de las agujas del reloj hacia un segmento siguiente de la rendija radial 3, y después es forzada en nuevamente alrededor de 130-140 grados, pero esta vez en el sentido contrario al de las agujas del reloj, hacia una zona de rendija estrechada 18 que discurre sustancialmente transversal a la dirección de afluencia A, para expandirse luego nuevamente en un ensanchamiento cónico 27 según un ángulo α de aproximadamente 50-70 grados hacia dentro de una zona triangular redondeada 25, en cuyas superficies de borde redondeadas 21 se guía la corriente de aire en aproximadamente 50-70 grados hacia la salida en el segundo canto axial o en el canto de efluencia 12.

En la figura 4 se muestran dos representaciones de contorno de los valores absolutos de las velocidades de flujo del aire refrigerante en la rendija radial 3 en la zona escalonada 2. La figura muestra en una representación 2D CFD unos resultados de cálculo de estudios de una primera junta laberíntica (figura 4a) en el sentido del ejemplo de realización representado en la figura 3d, en comparación con una junta laberíntica aún más mejorada (figura 4b). Las zonas marcadas 22, 28 se definen por su velocidad de flujo. La zona 22 se define como una zona con una alta velocidad de flujo, ya que la velocidad de flujo es más alta que la de la corriente de aire durante la entrada en la zona escalonada 2. La zona de entrada en la zona escalonada 2 pertenece, al igual que la zona de la salida de la zona escalonada 2, a la zona 28, que presenta así una velocidad de flujo más baja que la de la zona 22. En la figura 4a las zonas 28 presentan una velocidad de flujo que es sustancialmente alrededor de dos veces más alta que la velocidad de flujo en las zonas citadas 28 del ejemplo de realización representado en la figura 4b. La figura 4a presenta solamente una zona 22 con alta velocidad de flujo. Por el contrario, la disposición representada en la figura 4b presenta, debido a su escalonamiento adicional, tres de estas zonas 22 con alta velocidad de flujo, en las que el aire refrigerante tiene una velocidad de flujo más alta que la velocidad de entrada en la rendija radial. Sin embargo, la velocidad de flujo alcanzada en estas zonas presenta velocidades de flujo aproximadamente la mitad de grandes en comparación con la zona 22 señalada en la figura 4a. Tanto el límite inferior como el límite superior de la velocidad de flujo en la zona marcada 22 de la figura 4a asciende sustancialmente a alrededor del doble del límite inferior y el límite superior correspondientes de las citadas zonas 22 de la figura 4b. Se prefieren tales zonas 22 debido a que se reduce el caudal másico por efecto de una velocidad de flujo rebajada. La presión de entrada p1 del aire refrigerante en la zona radial 3, viniendo desde el canto de afluencia 11 hacia la zona escalonada 2, es en la disposición de junta de solape a haces según la figura 4a es más alta que la presión p2 a la salida de la zona escalonada 2. Sin embargo. en condiciones sustancialmente iguales, en el ejemplo de realización

## ES 2 548 441 T3

preferido representado en la figura 4b con seis variaciones de dirección en la rendija radial 3 con un ángulo  $\alpha$  de sustancialmente alrededor de 90 grados cada vez, el caudal másico se reduce sustancialmente a la mitad.

## Lista de símbolos de referencia

5	1 2 3 4 5	Elemento de álabe Junta de solape a haces, zona escalonada Rendija radial Primer lado periférico Segundo lado periférico
10	6 7 8 9	Saliente Rebajo Abertura Pala de álabe
15	10 11 12 13 14	Fragmento de la zona entre dos elementos de álabe en el canto de afluencia Primer canto axial, canto de afluencia Segundo canto axial, canto de efluencia Elemento de banda de cubierta Canto delantero de álabe
20	15 17 18 19	Canto trasero de álabe Chapa de junta Estrechamiento Ensanchamiento
25	20 21 22 23	Fragmento de detalle a lo largo de la sección C-C Superficie de borde de 3 Zona de 3 con alta velocidad de flujo en la zona de 2 Superficie de 13
00	24 25 26 27	Depresión Zona triangular redondeada Estrechamiento cónico Ensanchamiento cónico
30	28 α Α Β	Zona de 3 con velocidad de flujo pequeña en la zona de 2 Ángulo de la variación de dirección Dirección de afluencia (dirección de flujo del medio de trabajo) Anchura de 6
35	C-C D E K	Línea de sección Anchura de rendija, sección transversal de flujo Plano radial Zona de aire refrigerante
40	L M p1 p2 R S	Eje longitudinal de 9 Secuencia de montaje o dirección de montaje Presión de entrada de la corriente de aire refrigerante Presión de salida de la corriente de aire refrigerante Zona de medio de trabajo Dirección de la corriente de la rendija
45	T U	Profundidad de montaje Dirección periférica

## **REIVINDICACIONES**

1. Disposición entre elementos de álabe (1) en una serie de álabes de una turbina de gas,

5

10

45

en la que cada elemento de álabe (1) presenta al menos un elemento de banda de cubierta (13) y una pala de álabe (9) que limita con este elemento de banda de cubierta (13) y que está unido con éste y discurre sustancialmente en dirección radial con respecto a un eje principal de la fila de álabes,

en la que, estando montada la fila de álabes, el elemento de banda de cubierta (13) limita mediante los dos lados (4, 5) orientadas en dirección periférica (U) con el respectivo elemento de banda de cubierta contiguo (13) del respectivo elemento de álabe contiguo, formando al propio tiempo una respectiva rendija sustancialmente radial (3),

y en la que al menos un elemento de álabe (1) presenta en un primer lado (4) orientado en la dirección periférica (U) un saliente (6) que discurre en la dirección periférica (U) y penetra en el elemento de banda de cubierta (13) del elemento de álabe adyacente (1), y al menos un elemento de álabe (1) presenta en un segundo lado (5) orientado en la dirección periférica (U) un rebajo (7) de alojamiento de dicho saliente (6),

en la que en la zona del saliente (6) o del rebajo (7) está presente un segmento escalonado (2) de la rendija radial,

en la que el trazado de la rendija radial (3) está configurado en el segmento escalonado (2) como una junta laberíntica,

caracterizada por que la rendija radial (3) presenta en la zona escalonada (2) al menos un segmento en el que la dirección (S) de la corriente de la rendija discurre en sentido contrario a la dirección de afluencia (A).

- 2. Disposición según la reivindicación 1, **caracterizada** por que la rendija radial (3) presenta en la zona escalonada (2) más de dos variaciones de dirección.
- 20 3. Disposición según la reivindicación 1 o 2, **caracterizada** por que la rendija radial (3) presenta en la zona escalonada (2) cuatro, seis u ocho variaciones de dirección.
  - 4. Disposición según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada** por que la rendija radial (3) presenta en la zona escalonada (2) unas variaciones de dirección según un ángulo (α) en el intervalo de 40 a 130 grados, especialmente en el intervalo de 60 a 110 grados y sustancialmente en el intervalo de 80-100 grados.
- 5. Disposición según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada** por que la rendija radial (3) presenta superficies de borde angulosas y/o redondeadas (21).
  - 6. Disposición según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada** por que la rendija radial (3) presenta superficies de borde (21) cóncavas y/o convexas y/o rectas.
- 7. Disposición según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada** por que la rendija radial (3) experimenta sucesivamente durante su recorrido en la zona escalonada (2) dos respectivas variaciones de dirección en el mismo sentido.
  - 8. Disposición según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que la rendija radial (3) presenta en la zona escalonada (2) al menos un estrechamiento (18) y/o al menos un ensanchamiento (19).
- 9. Disposición según la reivindicación 8, **caracterizada** por que la anchura o la sección transversal de flujo de la rendija radial (3) en el segmento de un ensanchamiento (19) asciende a al menos un 30% más y preferiblemente al menos un 50% más que la anchura (D) o la sección transversal de flujo de la rendija radial (3) a la entrada en la zona escalonada (2), o incluso es el doble de grande, y por que en el segmento de un estrechamiento (18) la anchura o la sección transversal de flujo de la rendija radial (3) asciende a un 75%-50% y preferiblemente un 50%-25% de la anchura de rendija (D) o de la sección transversal media a la entrada en la zona escalonada (2).
- 40 10. Disposición según la reivindicación 8 ó 9, **caracterizada** por que en la zona escalonada (2) de la rendija radial (3), en la dirección del primer canto axial (11) al segundo canto axial (12), están dispuestos un ensanchamiento (19) y/o un estrechamiento (18) antes y/o después de una variación de dirección.
  - 11. Disposición según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, **caracterizada** por que en la zona escalonada (2) de la rendija radial (3), en la dirección del primer canto axial (11) al segundo canto axial (12), está dispuesto un ensanchamiento (19) después de un estrechamiento (18).
    - 12. Disposición según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que en la zona escalonada (2) de la rendija radial (3) la zona de la variación de dirección está configurada como un ensanchamiento (19) o un estrechamiento (18).

## ES 2 548 441 T3

- 13. Disposición según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que en la zona escalonada (2) de la rendija radial (3) la zona de la variación de dirección presenta zonas triangulares redondeadas (25).
- 14. Fila de álabes de una turbina de gas con una disposición según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 15. Fila de álabes según la reivindicación 14, **caracterizada** por que la rendija radial (3) entre dos elementos de banda de cubierta contiguos (13) está cubierta en el lado inferior de la banda de cubierta por una chapa de junta (17).

Fig. 1









