

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 620 376**

51 Int. Cl.:

F01D 5/14

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.07.2009 PCT/DE2009/000998**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.01.2010 WO2010009707**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.07.2009 E 09775980 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2017 EP 2315917**

54 Título: **Álabe de una turbomáquina con generador de vórtices**

30 Prioridad:

19.07.2008 DE 102008033861

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

28.06.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**FIALA, ANDREAS y
GIER, JOCHEN**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 620 376 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

Álabe de una turbomáquina con generador de vórtices

La presente invención se refiere a una construcción de álabe con generador de vórtices o generador de remolinos en forma de una propiedad de superficie al menos parcial según el preámbulo de la reivindicación 1.

- 5 Construcciones de álabe de este tipo se encuentran, por ejemplo, en rotores o rejillas de álabes (álabes de rodete y/o directores) de turbinas de baja presión de un accionamiento de avión.

La influencia en un flujo, en particular en la capa límite próxima a la superficie, mediante generadores de remolinos (también denominados turbuladores) es una temática examinada en gran medida al menos en el plano de la investigación. Básicamente la capa límite se origina por el rozamiento superficial de las partículas que fluyen y forma el puente reotécnico entre el perfil y el flujo ideal, no menoscabado por el rozamiento superficial a una distancia de la pared de perfil recorrida. A este respecto, el espesor de la capa límite depende del número de Reynolds. Con longitud de trayecto creciente del flujo a lo largo del perfil de pared aumenta continuamente este espesor de la capa límite. Finalmente las partículas de flujo comienzan a perder el comportamiento de flujo laminar (capa límite laminar) y realizan movimientos transversales más o menos intensos (capa límite turbulenta). La transición de la capa límite laminar a la capa límite turbulenta (también denominada zona de cambio brusco) depende en este caso de una serie de magnitudes de influencia, entre otras la rugosidad superficial de la pared de perfil recorrida, gradientes de presión, alteraciones de velocidad y presión del flujo exterior, como también del número de Reynolds local.

En el caso de un desarrollo de la velocidad similar a lo largo del flujo exterior, una capa límite turbulenta genera más resistencia por fricción que una capa límite laminar, no obstante, por el contrario posee una menor tendencia al desprendimiento. La resistencia por fricción y la distribución de presión modificada debido al desprendimiento alrededor del perfil provocan la pérdida de perfil. Un desprendimiento semejante de la capa límite, en particular en un lado de aspiración del perfil superior aparece esencialmente luego cuando las partículas ya no se pueden decelerar más sobre las vías de flujo cerca de la pared de perfil en la capa límite debido a una energía de flujo demasiado pequeña. En consecuencia se desvían transversalmente y se forma entonces una así denominada burbuja de desprendimiento, según está representado esquemáticamente en la fig. 1. Con número de Reynolds decreciente, crece cada vez más el desprendimiento en su longitud hasta que llega a la región aguas abajo del canto posterior de perfil, de modo que ya no se puede conseguir el desvío requerido por el perfil. Ninguna partícula del flujo alcanza jamás de nuevo la superficie del perfil en el medio lateral aguas abajo del desprendimiento cerca de la pared de perfil – el flujo ya no puede seguir al perfil y se rompe, por así decirlo.

Para influir ahora de forma positiva en el comportamiento de ruptura del flujo a lo largo de un perfil y la pérdida de perfil, en tanto que se controla el tamaño de la burbuja de desprendimiento, en el estado de la técnica se persiguen distintos enfoques de solución para la disposición de turbuladores fijos, que tienen el objetivo de permitir que cambie la capa límite laminar en una capa límite turbulenta aguas arriba en el perfil. En la fig. 2 adjunta están representados dos ejemplos para turbuladores. Debido a ello existe la posibilidad de generar turbuladores mediante salientes de arista viva en el lado superior de perfil o mediante muescas de arista viva (salientes inversos) en la pared recorrida.

No obstante, en el caso de álabes directores y de rotor de una turbomáquina, en particular de una turbina de baja presión, han demostrado ser desventajosos en este sentido los turbuladores de arista viva configurados de esta manera, dado que solo con mayores altitudes de vuelo, por ejemplo la altitud de vuelo de crucero de un avión, con números de Reynolds de flujo allí pequeños y con solicitudes de álabes elevadas, disminuyen de manera ventajosa la burbuja de desprendimiento mediante formación de turbulencias a tiempo del flujo y de este modo mejoran la pérdida de perfil y el rendimiento, no obstante, cerca del suelo aumentan las pérdidas. Además, en el caso de turbuladores de arista viva es extraordinariamente crítica la fabricación, recubrimiento y vida útil. Por ello actualmente no se conoce una aplicación práctica de turbuladores en un mecanismo propulsor.

Como un estado de la técnica relevante respecto a la presente invención se menciona en este sentido la patente europea EP 132 638 B1 de la inventora misma. Por esta patente se conoce una rejilla de álabes atravesada axialmente de una turbina, cuyos perfiles de álabe están configurados de modo que el flujo se acelera a lo largo de la mayor parte de la superficie de perfil en el lado de aspiración hasta un máximo de velocidad en la zona de la superficie estrecha del canal y aguas debajo de ello se desacelera hasta la arista trasera de perfil. Cada álabe está provisto de una arista perturbadora, que está dispuesta aguas abajo del máximo de velocidad en el lado de aspiración del álabe en la zona del flujo desacelerado y se extiende esencialmente sobre toda la altura de álabe (recorrido de la raíz de álabe hasta la punta del álabe).

Para reducir los efectos negativos mencionados al inicio de un turbulador de arista viva en el flujo principal (aumento de la pérdida por fricción), en particular con números de Reynolds elevados, la patente europea EP 132 638 B1 prevé entre otros que la arista perturbadora esté perfilada de tipo diente de sierra en un plano tangencial a la superficie de perfil. De este modo se debe conseguir una reducción de la altura de arista necesaria, a fin de reducir así las pérdidas por fricción en particular con números de Reynolds más elevados. Pese a estos efectos positivos queda sin resolver el problema de una fabricación difícil y menor vida útil.

Por la patente DE 681 479 C se conoce un álabe director para turbinas de vapor y de gas con arista de salida

afilada, cuya superficie poco antes del afilado de la arista de salida es más rugosa que la parte restante.

La patente US 3 578 264 A describe las características del preámbulo de la reivindicación 1 y en este caso para influir en una capa límite propone elementos de superficie cuyo dimensionado depende del espesor de la capa límite.

- 5 Por la patente GB 2 436 861 A se conoce un perfil de superficie portante con depresiones semiesféricas o en forma de gota.

En vista de este estado de la técnica, el objetivo de la presente invención es crear un álabe de una turbomáquina con un generador de remolinos genérico (turbulador), que se pueda fabricar de forma sencilla y alcance una vida útil más larga.

- 10 Este objetivo se resuelve mediante un álabe de una turbomáquina con un generador de remolinos ondulado (sin aristas), que se extiende a lo largo del álabe según la reivindicación 1. Otras configuraciones ventajosas de la invención son objeto de las reivindicaciones dependientes restantes.

- 15 La invención se compone por tanto de una construcción de álabe de una turbomáquina, preferentemente de una disposición de rejilla de álabes de una turbina de baja presión, en cuya superficie de perfil en el lado de aspiración está dispuesto aguas abajo del máximo de velocidad, eventualmente comenzando también en la zona del máximo de velocidad, un generador de remolinos preferentemente en forma de una propiedad de superficie geométrica parcial. El generador de remolinos se forma más preferentemente mediante ondas de superficie que realizan una oscilación, cuyos dorsos de onda discurren en forma de valles de onda y crestas de onda aproximadamente en la dirección de la altura del álabe.

- 20 Expresado más concretamente, para la obtención de la formación de turbulencia a tiempo del flujo (capa límite) se prescinde de piezas de montaje de arista viva y modificaciones en el lado de aspiración de álabe. En lugar de ello se disponen o configuran varias ondas sin arista en la superficie del lado de aspiración. De este modo se obtiene la ventaja de que se mejora la fabricabilidad, capacidad de revestimiento y vida útil del álabe respecto al estado de la técnica conocida. El efecto del generador de remolinos ondulado sobre el comportamiento de flujo en la zona cerca
25 de la superficie se puede comparar con los turbuladores de arista viva conocidos. No obstante, con números de Reynolds elevados, en particular cerca del suelo se puede observar una pérdida de rendimiento menor por la fricción. Además, se puede realizar una reducción acústica del ruido del mecanismo propulsor de 1-2 dB, es decir, una reducción de amplitud de presión del 10-20 %. Según la invención la cresta de onda y el valle de onda discurren en la dirección de la altura del álabe con un ángulo de 45° a 135° respecto a la proyección meridiana del flujo fuera
30 de las capas límite del perfil de álabe.

- Una ventaja esencial del turbulador según la invención es la fabricabilidad directa dentro del proceso de fabricación de un álabe de una turbomáquina. En el caso de álabes de turbina de gas fundido, esta propiedad / estructura de superficie se puede integrar directamente en el modelo de fundición sin gasto adicional perceptible. Pero también es posible una incorporación posterior de la estructura ondulada según la invención. Esto se refiere no solo a la nueva
35 fabricación, sino en el caso de mantenimiento. De este modo también es posible un reequipamiento. Para la incorporación posterior de la estructura ondulada se pueden obtener procedimientos de mecanizado de conformación, como también de arranque de viruta, por ejemplo, repujado, afilado y/o rectificado y/o fresado pero también remoción electroquímica.

- 40 Respecto al estado de la técnica, como por ejemplo, según la patente US 6,416,289 o la patente europea EP 1 081 332 A1, en las que se describe una tira con elevada rugosidad, la forma de onda lisa según la invención tiene varias ventajas.

- Dado que la tira de rugosidad según el estado de la técnica es una zona con rugosidad elevada irregular, que no se origina en el proceso de fabricación normal (por ejemplo en el caso de álabe de turbina de gas fundido), esta rugosidad se debe aplicar posteriormente. Por el contrario, los turbuladores lisos (bajo el término "liso" se debe
45 entender una calidad superficial que se corresponde con las zonas restantes del álabe de turbina) se incorporan directamente dentro del proceso de fabricación normal. No se requiere un aumento de rugosidad adicional respecto a las zonas de álabe restantes para los turbuladores de onda.

- La manera de funcionar de los turbuladores de onda según la invención también es distinta básicamente de la rugosidad elevada localmente. Cuando con rugosidad elevada sobresalen al menos las puntas de la capa próxima a
50 la pared del gradiente de tensión de cizallamiento constante, se generan perturbaciones en la zona de la tensión de cizallamiento máxima (remolino transversal y longitudinal) en la capa límite que conducen directamente a estructuras de flujo tridimensionales con transición precoz (es decir, más aguas arriba que sin rugosidad). Al contrario de ello los turbuladores de onda según la invención excitan inestabilidades del flujo de capa límite, que conducen a remolinos longitudinales de Görtler en la parte cóncava de la longitud de onda, sin que se mezclen con remolinos adicionales.
55 De este modo la influencia negativa de los turbuladores de onda con números de Reynolds mayores, tal y como aparecen p. ej. en mecanismos propulsores cerca del suelo, se vuelve menor que en el caso de turbuladores de remolinos del tipo constructivo convencional.

- Además, se ha demostrado que en una forma de realización preferentemente de onda larga se obtiene una excitación dirigida de la inestabilidad de la capa límite. Para ello se ajusta la longitud de onda en una relación de $\lambda/s_{ges} = 0,05$ a $0,25$ respecto al lado de aspiración. La amplitud está ajustada para ello en una relación de $a/s_{ges} = 0,0002$ a $0,0040$ respecto a la longitud del lado de aspiración. El número de ondas sinusoidales se sitúa
- 5 preferentemente entre 1 y 4 y están en un rango de $\pm 0,25 s_{ges}$ en la posición del recorrido estrecho en el lado de aspiración del álabe. No obstante, en este caso los valores óptimos dentro del rango mencionado precedente dependen de las condiciones de flujo, como número de Reynolds, número de Mach, sollicitación, etc. La expresión " s_{ges} " significa aquí la longitud de arco en el lado de aspiración, medido del punto de arista frontal más delantero axialmente hasta el punto de arista trasera más posterior.
- 10 Más preferentemente es posible que en una forma de realización de onda corta se pueda obtener igualmente una excitación dirigida de inestabilidades mediante frecuencias con tasas de excitación moderadas. Para ello la longitud de onda se ajusta en una relación de $\lambda/s_{ges} = 0,005$ a $0,05$ respecto al lado de aspiración. El número de las ondas sinusoidales se sitúa entonces preferentemente entre 2 y 15. Los ajustes restantes conforme a la descripción anterior.
- 15 Además, es ventajoso prever en un álabe de turbina $Ma_{salida} = 0,65$ y $Re_{salida} = 200000$ con sollicitación escalonada probablemente elevada (desvío $> 100^\circ$) y sollicitación de álabe elevada (High lift. Número de duda $> 1,0$) 3 ondas sinusoidales de la longitud de onda $\lambda/s_{ges} = 0,08$ con amplitud constante $a/s_{ges} = 0,001$, cuya última longitud de onda termina en el punto del desprendimiento laminar. Las longitudes de onda se extienden a este respecto el 20 % - 80 % a lo largo de la extensión de envergadura.
- 20 Alternativamente a ello la longitud de onda conforme a la forma de realización de onda corta también es $\lambda/s_{ges} = 0,03$ con un álabe de turbina con $Re_{salida} = 400000$.
- Finalmente, en el caso de un álabe de compresor ($Ma_{entrada} = 0,5$ y $Re_{entrada} = 300000$) con burbuja de desprendimiento laminar / turbulenta en el lado de aspiración, este puede estar configurado con tres ondas sinusoidales de la longitud de onda $\lambda/x_{ges} = 0,05$ con la misma amplitud $a/x_{ges} = 0,0002$, en donde la última longitud de onda
- 25 de onda finaliza en el punto del desprendimiento laminar. La expresión " x_{ges} " significa aquí la anchura de rejilla axial en el corte central. Las longitudes de onda se extienden igualmente el 20 % - 80 % a lo largo de la extensión de envergadura.
- La invención se explica a continuación más en detalle mediante un ejemplo de realización preferido en referencia a los dibujos adjuntos.
- 30 La fig. 1 muestra un par de álabes adyacentes de una rejilla de álabes según el estado de la técnica sin generador de remolinos,
- la fig. 2 muestra dos ejemplos para un turbulador de arista viva según el estado de la técnica,
- la fig. 3 muestra dos álabes adyacentes de una rejilla de álabes según un ejemplo de realización preferido de la invención en corte transversal,
- 35 la fig. 4 muestra un álabe de la rejilla de álabes en la vista meridiana, y
- la fig. 5 muestra una onda de superficie corta y una larga.
- En la fig. 3 se muestran dos álabes 1, 2 adyacentes de una turbomáquina, en cuya superficie de perfil 3 en el lado de aspiración aguas abajo del máximo de velocidad está dispuesto un generador de remolinos 4. El generador de remolinos 4 se forma en el ejemplo de realización preferido por un número de ondas de superficie sin
- 40 aristas, cuyos dorsos de onda 5 en forma de valles de onda y cestas de onda discurren predominantemente en la dirección de la altura del álabe h, según está representado esto también en la fig. 4. Las ondas 4 están dispuestas además a lo largo del lado de aspiración del álabe 3, de modo que el flujo se eleva y reduce alternativamente a través de estas ondas 4, es decir, las ondas 4 discurren predominantemente en la dirección de flujo (véase la fig. 4) y se extienden en la dirección de la altura del álabe h al menos en la zona del flujo nuclear según la fig. 4 entre el
- 45 20 % y 80 % respecto a la altura del álabe.
- Según se puede reconocer además en la fig. 3, las ondas 4 tienen una forma sinusoidal, cuyas amplitudes máx. en la dirección de flujo son constantes. No obstante, las amplitudes máx. y posiblemente también las longitudes de onda máximas varían en la dirección de la altura y/o de la anchura del álabe, preferiblemente a lo largo del lado de aspiración con longitud de onda creciente y amplitud creciente. En lugar de una onda sinusoidal también puede estar
- 50 prevista una forma de onda asimétrica. A este respecto, las ondas 4 están dispuestas en una zona definida en el lado de aspiración 3. Esta zona se sitúa aproximadamente en un punto estrecho del canal 6 de dos álabes 1, 2 adyacentes, es decir, en aquella zona en la que el flujo se ha acelerado hasta un máximo de velocidad y luego se produce una deceleración. Los dorsos de onda 5 (crestas / valles) discurren en este caso en la dirección de la altura del álabe h de forma plana y se pueden extender sobre toda la altura del álabe h o también solo sobre una altura
- 55 parcial, en cuya zona faltan las estructuras de remolinos secundarias, según está dibujado en la fig. 4. A este respecto pueden presentar desarrollos curvados en la dirección de la altura del álabe h hacia las zonas secundarias.

5 A lo largo de la extensión axial del álabe (dirección de anchura del álabe), las ondas 4 recubren una zona parcial del lado de aspiración del álabe 3, típicamente una zona en la que la capa límite se puede desestabilizar hasta el punto de desprendimiento de la burbuja de desprendimiento mediante el turbulador en forma de la configuración de onda según la invención, a fin de provocar un cambio laminar-turbulento a tiempo. Esta zona se sitúa en función de la forma de perfil del álabe entre el 40 % y 90 % de la anchura de álabe axial.

10 Respecto al dimensionado de las ondas 4, es decir, su amplitud máx. y frecuencia se ha comprobado que la amplitud de onda no debe sobrepasar como máximo el 25 %, de manera ventajosa aprox. el 5 % de la longitud de onda, para evitar un desprendimiento local de la capa límite. Las amplitudes y longitudes de onda se pueden optimizar en este caso analíticamente a través de observaciones de inestabilidad de la capa límite. Los generadores de remolinos ondulados se pueden aplicar tanto para álabes de estator, como también para álabes de rotor, en particular de una turbina de baja presión.

La fig. 5 muestra para ello una – en relación a la amplitud a – onda más corta con una relación a/λ de aproximadamente el 8 % y una onda más larga con una relación a/λ de aproximadamente el 5 %.

15 De este modo se alcanza el turbulador según la invención, en tanto que la superficie de perfil misma se modifica a lo largo de su lado de aspiración de álabe 3 por secciones en una forma de onda, por ejemplo, mediante moldeado dirigido en la fabricación del álabe o mediante trabajo posterior de arranque de viruta después de la fundición del álabe (p. ej. ECM, PECM, rectificado, fresado, etc.) en donde la caracterización principal de la forma de onda forma las aristas vivas que faltan.

REIVINDICACIONES

1. Álabe de una turbomáquina con un perfil que desvía el flujo y que presenta un lado de presión y un lado de aspiración, en particular álabe de turbina de una turbina de gas, cuya superficie de perfil (3) en el lado de aspiración presenta al menos una propiedad de superficie geométrica (4) que comprende una parte de la superficie de perfil (3) y que está realizada en forma al menos de una onda de superficie, que está superpuesta localmente al perfil de manera que su cresta de onda forma una elevación en el perfil, su valle de onda forma una depresión en el perfil, en donde la onda de superficie se convierte en el perfil sin dobleces y sin escalones en su extremo aguas arriba y en su extremo aguas abajo y la cresta de onda y el valle de onda discurren en la dirección de la altura del álabe con un ángulo de 45° a 135° respecto a la proyección meridiana del flujo fuera de las capas límite del perfil de álabe, caracterizado por que la propiedad de superficie geométrica (4) comprende varias ondas de superficie cuyas amplitudes varían.
2. Álabe según la reivindicación 1, caracterizado por que, como se ve en la dirección de flujo, se suceden alternativamente valles de onda y crestas de onda o crestas de onda y valles de onda.
3. Álabe según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que las ondas tienen una forma sinusoidal o están configuradas de forma asimétrica.
4. Álabe según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que las ondas (4) se extienden al menos en la zona del flujo nuclear del álabe entre el 20-80 % de la altura de álabe (h), en donde las ondas siguen una línea recta y/o curvada con amplitud y/o longitud de onda constante y/o variable.
5. Álabe según la reivindicación 2, caracterizado por que las ondas (4) están dispuestas en la superficie del lado de aspiración (3) en un rango del 40-90 % de la anchura de álabe axial.
6. Álabe según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que las ondas (4) tienen una amplitud máxima que es del 5 % al 25 % de la longitud de onda.
7. Álabe según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que las amplitudes de las ondas de superficie (4) aumentan en la dirección de flujo.

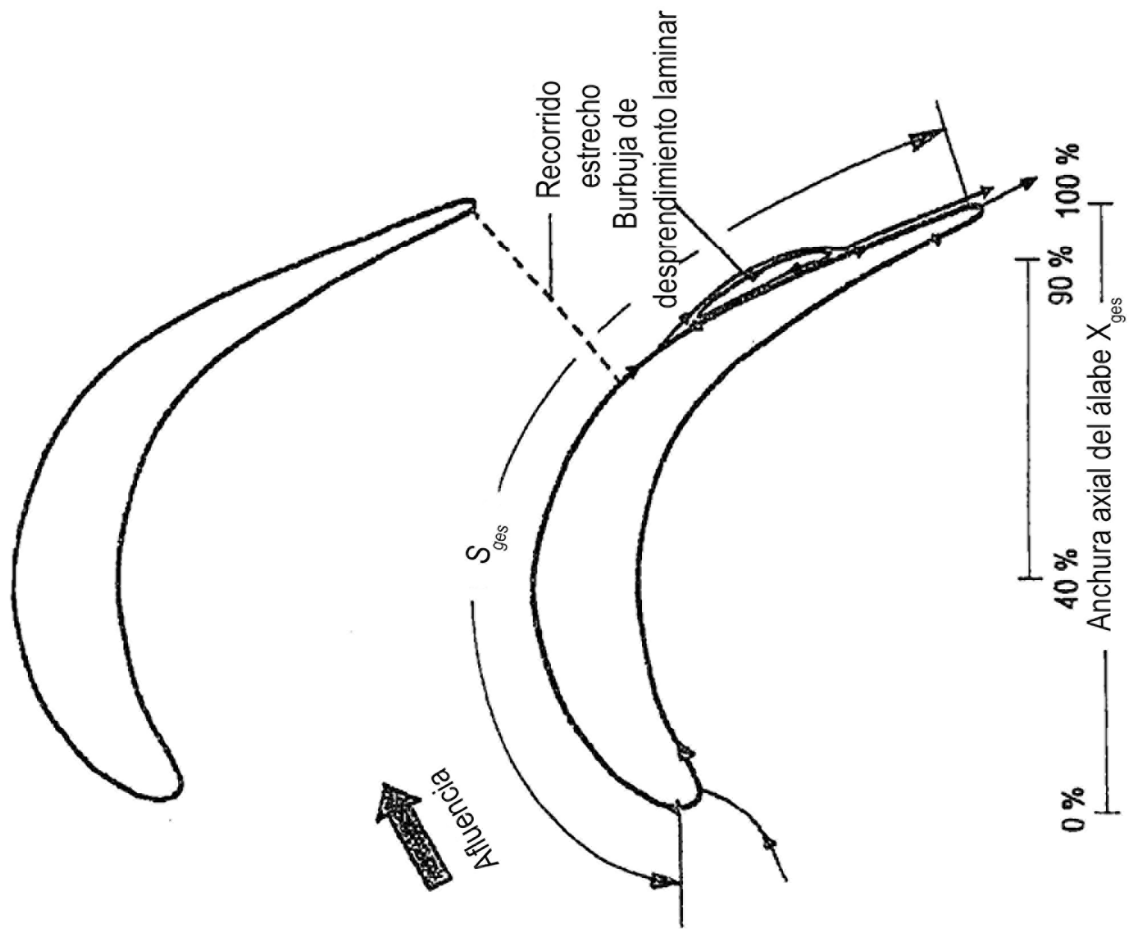


Fig. 1

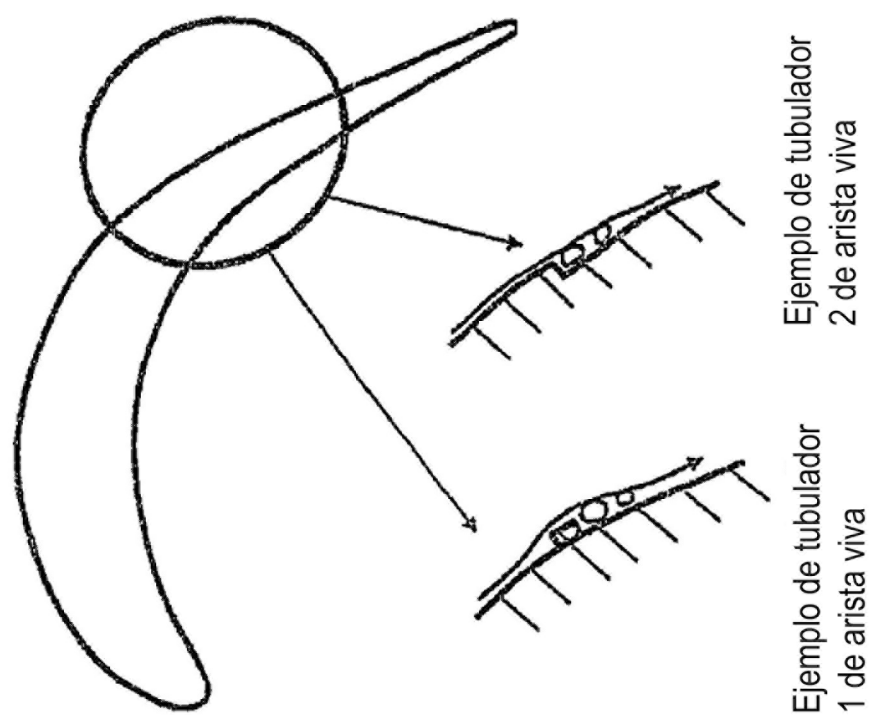


Fig. 2

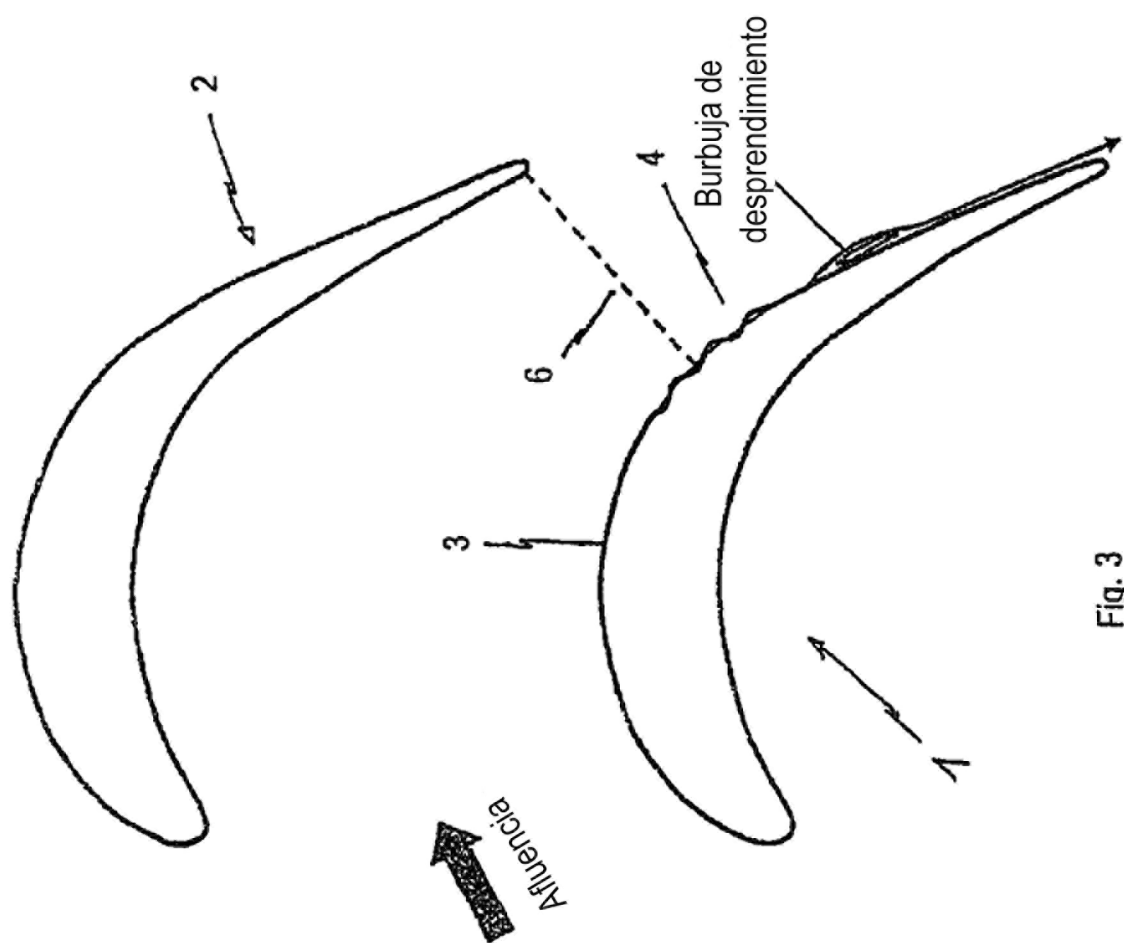


Fig. 3

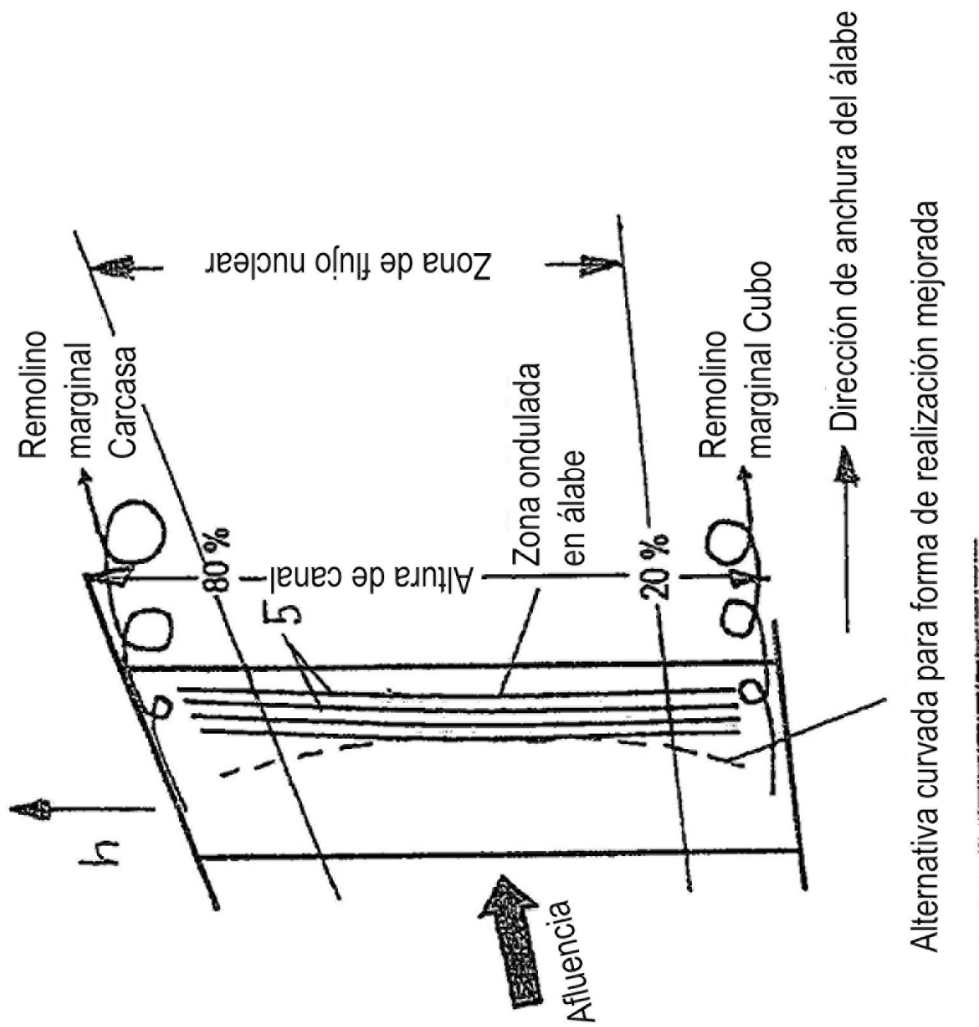


Fig. 4

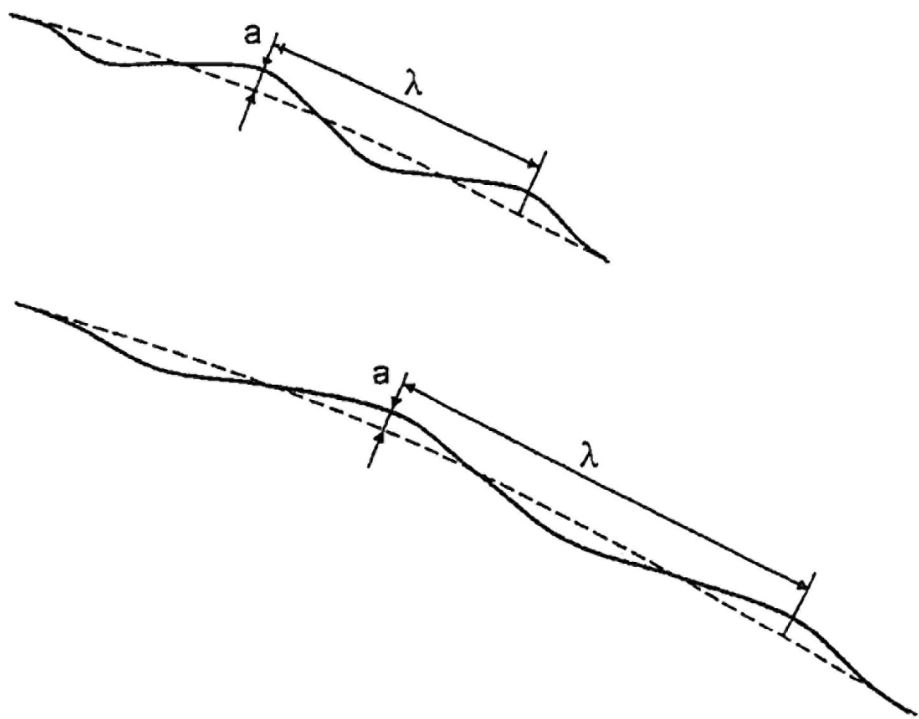


Fig. 5