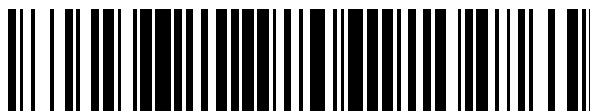


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 324 858**

51 Int. Cl.:

**F01D 5/34** (2006.01)

**B23K 20/12** (2006.01)

**F01D 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA  
TRAS OPOSICIÓN

T5

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.03.2002 E 02251636 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **04.12.2013 EP 1239116**

54 Título: **Rotor ranurado con álabes integrados**

30 Prioridad:

**07.03.2001 US 801119**

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

**30.01.2014**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)  
1 River Road  
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**CRALL, DAVID WILLIAM;  
PRENTICE, IAN FRANCIS;  
TOYE, MICHAEL DEWAYNE;  
KELLEY, JOHN ROBERT y  
MCNULTY, GREGORY SCOTT**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 324 858 T5**

## DESCRIPCIÓN

Rotor ranurado con álabes integrados

La presente invención se refiere, en general, a motores de turbina de gas, y, más concretamente a rotores ranurados con álabes integrados en los mismos.

- 5 Un motor de turbina de gas incluye varias etapas de rotores con álabes integrados en el compresor y en la turbina del mismo, los cuales presurizan el aire en el compresor y expanden los gases de combustión calientes en este último. Los álabes de compresor o los álabes de turbina están típicamente montados en sus discos de soporte mediante colas de milano que quedan radialmente retenidas en las correspondientes muescas de cola de milano en los rebordes de los discos.
- 10 Pueden obtenerse ventajas de rendimiento, fabricación, y peso formando de manera integral los álabes y los discos en una construcción unitaria o de una sola pieza conocida como rotor con álabes integrados ("*blisk*"). En un procedimiento de fabricación, los álabes individuales y los elementos individuales del disco de soporte se mecanizan a partir de una pieza corriente de metal. Se requiere un complejo mecanizado en tres dimensiones para obtener con precisión los pasos de flujo aerodinámicos requeridos entre los álabes.
- 15 Dado que los rotores con álabes integrados pueden resultar dañados en el curso normal de funcionamiento en un motor de turbina de gas antes de que se hayan cumplido su vida útil, es deseable reparar los rotores con álabes integrados. Sin embargo, dado que los álabes están conformados de manera integral con el disco, no son susceptibles de ser retirados fácilmente de manera individual de la manera de los rotores con álabes que tienen colas de milano.
- 20 En consecuencia, ambas porciones de un álabe individual dañado pueden ser retiradas mediante mecanizado y sustituidas por una pieza de álabe correspondiente, o el álabe dañado entero puede ser retirado y sustituido. En uno u otro caso, el rotor con álabes integrados reparado deben mantener en la mayor medida posible su resistencia original para completar su vida útil original sin que se produzca el fin anticipado y no deseable de la misma.
- 25 Otra forma de fabricación y reparación de rotores con álabes integrados utiliza soldadura por fricción de traslación para soldar de manera integral álabes individuales a un disco. Típicamente el disco se fabrica inicialmente con una fila de muñones monobloques que se extienden radialmente hacia fuera desde el reborde del disco. Cada muñón tiene una superficie de soldadura lisa que complementa una raíz del álabe lisa correspondiente para permitir la soldadura por fricción entre los mismos.
- 30 Cada álabe incluye inicialmente un collarín de fijación cerca de la raíz de álabe de manera que las fuerzas de compresión y traslación puedan ser aplicadas al álabe individual para desarrollar fricción en la superficie de soldadura cuando se hace oscilar rápidamente el álabe durante el proceso de soldadura. El material de álabe y de muñón en la superficie de soldadura se funde localmente para constituir una unión de soldadura por fricción en la misma, después de lo cual las rebabas de soldadura resultantes y el collarín de fijación se retiran mediante mecanizado convencional para conseguir el contorno aerodinámico deseado del álabe y de las superficies de reborde.
- 35 Dado que las fuerzas de soldadura por fricción son considerables, los muñones de reborde originales se proporcionan sobredimensionados con un exceso de material para impedir la deformación plástica no deseable de los muñones y del álabe durante la soldadura por fricción. El exceso de material puede entonces ser retirado mediante mecanizado después del proceso de soldadura por fricción.
- 40 Sin embargo, en el caso de que se desee reparar el rotor con álabes integrados y de que deba ser retirado el álabe completo, el muñón restante ya no incluye el exceso de material original. El muñón considerablemente más pequeño queda por consiguiente sometido a una deformación no deseable durante el proceso de soldadura por fricción de un álabe de sustitución, lo que puede dañar el rotor con álabes integrados y convertirlo en inutilizable para que pueda volver a prestar servicio en el motor.
- 45 Otro problema de la soldadura por fricción de los rotores con álabes integrados es la exposición al entorno a lo largo de los bordes de la superficie de soldadura a medida que el álabe oscila durante la soldadura. El muñón sobredimensionado original y la raíz de álabe correspondientemente sobredimensionada proporciona un área de superficie adicional para reducir la probabilidad de contaminación ambiental en la línea de soldadura resultante. El exceso de material retirado por mecanizado después de la soldadura por fricción elimina típicamente con la misma cualquier contaminación no deseable alrededor de la superficie de soldadura. Dado que los muñones ya no tienen exceso de material para la operación de reparación, las superficies de soldadura quedan sometidas a contaminación ambiental.
- 50 Estos problemas de soldadura por fricción típica se ven agravados, además, por el contorno axial del reborde de disco que define el límite de la trayectoria de flujo interior de los pasos de flujo entre los álabes adyacentes. En una configuración típica de etapas de entrada de un ventilador o rotor con álabes integrados de compresor, el reborde del rotor con álabes integrados aumenta de diámetro entre sus extremos delantero y trasero, y tiene típicamente un
- 55

contorno arqueado entre los mismos que puede tener una configuración genérica de S. En consecuencia, la superficie de soldadura de muñón sigue típicamente el perfil axial del reborde de disco para mantener la superficie de soldadura lo más grande posible.

5 Los álabes del compresor típicos tienen un grosor máximo en sus zonas de cuerda media con bordes delantero y trasero correspondientemente delgados, y reducen típicamente el grosor desde la raíz hasta la punta de los mismos. El muñón de reborde y la raíz de álabes por consiguiente tienen típicamente superficies de soldadura arqueadas de forma complementaria para maximizar el área de superficie y reducir la distorsión durante el proceso de soldadura por fricción.

10 Dado que el plano de soldadura es arqueado, tanto el muñón de reborde como la raíz de álabes requieren un mecanizado preciso tridimensional para crear una superficie de acoplamiento íntimo para conseguir una soldadura por fricción completa. Y, la superficie de soldadura arqueada puede únicamente trasladarse en la dirección axisimétrica de manera circunferencial alrededor del reborde de disco. Esta oscilación de fricción circunferencial o lateral del álabes sobre su muñón correspondiente resulta más difícil cuando se efectúa entre dos álabes adyacentes ya soldados a sus muñones.

15 Un proceso de soldadura por fricción de este tipo para un rotor con álabes integrados se indica en el documento EP 0 850 718 A1 que muestra el proceso llevado a cabo sobre una superficie de revolución axisimétrica convexa.

En consecuencia, es deseable proporcionar un rotor con álabes integrados que tenga una configuración mejorada del plano de soldadura para ofrecer ventajas tanto respecto de la fabricación original del mismo como durante su posterior reparación.

20 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un rotor con álabes integrados de acuerdo con la reivindicación adjunta 1. Una fila de álabes se extiende hacia fuera desde el reborde en una construcción unitaria. Los álabes están separados en el reborde de disco para definir canales interiores ranurados de trayectorias de flujo que se extienden axialmente entre los álabes para unir los correspondientes pasos de flujo entre sí.

25 También se proporciona un procedimiento de fabricación de un rotor con álabes integrados, de acuerdo con la reivindicación adjunta 5.

La invención, de acuerdo con realizaciones preferidas y a modo de ejemplo, junto con objetos y ventajas adicionales de la misma, se describe más en particular en la siguiente descripción detallada tomada en combinación con los dibujos anexos, en los que:

30 La Figura 1 es una vista isométrica de una porción de un rotor con álabes integrados de compresor de motor de turbina de gas y de un procedimiento esquemático de fabricación del mismo.

La Figura 2 es una vista en sección radial del rotor con álabes integrados ilustrado en la Figura 1 y una representación esquemática de la soldadura por fricción de traslación del mismo.

35 La Figura 3 es una vista ampliada en alzado de una porción de la junta de soldadura entre el álabes y el disco ilustrado en la Figura 2 dentro del círculo en línea de puntos indicado con la referencia numérica 3.

La Figura 4 es una vista en planta superior de una porción del rotor con álabes integrados ilustrado en la Figura 2 que muestra tres álabes adyacentes que presentan canales ranurados interiores de trayectorias de flujo que se extienden a lo ancho en círculo entre los mismos.

40 La Figura 5 es una vista en sección radial de un canal de flujo ranurado a modo de ejemplo ilustrado en la Figura 4 y tomado a lo largo de la línea 5-5 cerca de los bordes delanteros de álabes.

La Figura 6 es una vista en sección radial del canal ranurado ilustrado en la Figura 4 y tomado a lo largo de la línea 6-6 en la zona de cuerda media de álabes.

La Figura 7 es una vista en sección radial del canal ranurado ilustrado en la Figura 4 y tomado a lo largo de la línea 7-7 cerca de los bordes traseros de álabes.

45 La Figura 8 es una vista isométrica, como la Figura 7, del rotor con álabes integrados que es reparado de acuerdo con una realización a modo de ejemplo.

50 En la Figura 1 se ilustra una porción de un rotor con álabes integrados 10 que es genéricamente axisimétrico alrededor de un eje de línea central longitudinal o axial del mismo. El rotor con álabes integrados está configurado para su uso en un motor de turbina de gas, y se presenta en forma a modo de ejemplo de un compresor o rotor con álabes integrados de ventilador para presurizar aire 14 durante su funcionamiento.

El rotor con álabes integrados incluye un disco anular 16 que incluye un reborde axialmente ancho 16a, un alma más estrecha 16b, y un cubo más ancho 16c formando una construcción unitaria.

55 Una fila de álabes 18 de rotor de compresor se extiende radialmente hacia fuera desde el reborde 16a en una construcción unitaria o de una sola pieza con el mismo para definir el rotor con álabes integrados completado. Como se indicó anteriormente, los álabes son solidarios al disco y no incluyen colas de milano típicas que en otro caso permitirían su fácil retirada o inserción en forma de disco de álabes convencional.

5 Cada álabe puede tener cualquier configuración aerodinámica convencional para presurizar el aire durante el funcionamiento y definir con su vecino circunferencial un paso de flujo 20 a través del cual el aire 14 es canalizado durante su funcionamiento. El reborde 16a de disco incluye un canal 22 de trayectoria de flujo interior entre cada uno de los pares de álabes adyacentes que se extiende axialmente a lo largo de los álabes y entre los extremos delantero y trasero del reborde dispuesto en lados axialmente opuestos de los mismos.

10 El canal interior 22 define el límite radialmente interior del paso de flujo 20, y el límite radialmente exterior del paso de flujo está típicamente definido por una carcasa o carenado 24 de cualquier configuración convencional. De esta forma, a medida que el rotor con álabes integrados gira durante su funcionamiento dentro del carenado fijo 24 se definen pasos de flujo 20 correspondientes entre cada par de álabes a través de los cuales el aire es canalizado para ser presurizado o comprimido.

15 Cada álabe 18 incluye un lado de aspiración 26 genéricamente convexo y un lado circunferencialmente opuesto de presión 28 genéricamente cóncavo que se extiende axialmente o en el sentido de la cuerda entre los bordes opuestos delantero y trasero 30, 32, y radialmente a lo largo del eje de la envergadura desde la raíz 34 hasta la punta 36. De acuerdo con la presente invención, los canales 22 de las trayectorias de flujo interiores están ranurados para proporcionar ventajas sustanciales de fabricación, reparación y rendimiento aerodinámico.

Más concretamente, los discos con álabes integrados tienen una trayectoria de flujo interior axisimétrica que son superficies de revolución alrededor del eje axial de línea central. Las superficies axisimétricas son correspondientemente convexas hacia fuera y se mecanizan fácilmente durante el proceso de fabricación.

20 Por el contrario, los canales ranurados 22 no son superficies de revolución respecto del eje 12 de línea central, y por tanto no son axisimétricos, sino que en su lugar, están arqueados en círculo entre álabes adyacentes y unen los álabes en los correspondientes filetes arqueados 38. Así mismo cada uno de los canales ranurados 22 es circunferencialmente asimétrico entre álabes adyacentes respecto de la dirección de flujo primaria axial del aire a lo largo de las ranuras y entre los extremos delantero y trasero del reborde de disco.

25 Cada uno de los canales ranurados 22 tiene un perfil o contorno genéricamente cóncavo que se extiende radialmente hacia dentro hacia el eje 12 de línea central, y varía en ese contorno axialmente a lo largo de los álabes limítrofes 18 entre los extremos delantero y trasero del reborde del disco. Mientras la trayectoria de flujo interior axisimétrica típica del rotor con álabes integrados es genéricamente convexa, los canales ranurados son genéricamente cóncavos y opuestos a la misma.

30 Una ventaja particular de los canales ranurados 22 es la correspondiente mejora respecto de la elaboración o fabricación original del rotor con álabes integrados y la reparación del mismo. Más concretamente, el reborde 16a de disco ilustrado en las Figuras 1 y 2 incluye muñones planos monobloques o unitarios 40, teniendo cada uno de los cuales una superficie de soldadura plana o un plano liso 42 que complementa la correspondiente raíz 34 de álabe, que es asimismo plana o lisa.

35 Los muñones y las raíces son soldados entre sí por fricción para constituir una junta unida por fusión o soldadura entre los mismos para unir de manera integral todos los álabes al disco para formar la construcción unitaria o de una pieza de los mismos. Los álabes soldados constituyen de este modo parte integrante del disco y no son fácilmente retirables del mismo sin una operación de mecanizado o corte.

40 Un rasgo característico concreto de esta construcción del rotor con álabes integrados es la disposición del plano de soldadura 42 en los filetes 38, en lugar de su disposición radialmente hacia fuera desde el mismo en secciones más delgadas del álabe o muñón resultante. Como se indicó anteriormente, la soldadura por fricción de traslación requiere unas fuerzas de fricción considerables entre un álabe y un muñón de reborde, y si los muñones son demasiados estrechos o delgados entonces puede producirse una deformación no deseable del álabe y del muñón durante el proceso que puede afectar negativamente a la configuración final del álabe soldado. Los muñones débiles son propensos a distorsionarse, siendo deseables muñones fuertes.

45 Como se indicó así mismo con anterioridad, los muñones y las raíces de álabes pueden inicialmente fabricarse apropiadamente sobredimensionados para incrementar la resistencia de los mismos para soportar el proceso de soldadura por fricción, pero tal sobredimensionamiento no está disponible en los muñones para una posterior reparación.

50 En consecuencia, mediante la colocación inicial de los planos de soldadura 42 en los filetes de los muñones 40, la anchura adicional del muñón al nivel de los cordones incrementa de manera sustancial la resistencia de aquél y soporta mejor las elevadas fuerzas de la soldadura por fricción.

55 Sin embargo, la colocación de los planos de soldadura dentro de los filetes de los muñones no resulta fácil de llevar a cabo a la vista de la típica configuración en tres dimensiones del reborde 16a del disco. Si la superficie exterior del reborde fuera totalmente cilíndrica, entonces se podrían utilizar fácilmente muñones rectos con filetes uniformemente pequeños.

Sin embargo, el reborde 16a del disco ilustrado en las Figuras 1 y 2 es representativo de discos con álabes integrados de compresor típicos en los cuales el reborde aumenta de diámetro entre sus extremos delantero y trasero y no es simplemente cilíndrico. En consecuencia, los canales ranurados 22 divergen correspondientemente de manera radial hacia fuera entre los extremos delantero y trasero del reborde del disco y aumentan correspondientemente en cuanto a su radio desde el eje geométrico de la línea central del rotor con álabes integrados. No obstante el perfil axialmente variable del reborde del disco, los planos de soldadura 42 permanecen lisos o planos y están convenientemente inclinados para variar en cuanto a su distancia radial respecto tanto del eje geométrico de línea central del rotor con álabes integrados, como respecto de los correspondientes canales ranurados 22 que se extienden axialmente entre los extremos opuestos del reborde del disco.

Dado que el reborde del disco varía en diámetro y contorno entre sus extremos delantero y trasero, un muñón convencional también experimentaría una variación en contorno para mantener una junta de unión relativamente pequeña y constante a lo largo del reborde del disco para potenciar al máximo el rendimiento dinámico del paso de flujo manteniendo al tiempo el área de flujo deseada del mismo. Sin embargo, los muñones de contorno variable derivados de los mismos no resultan deseables por las diversas razones expuestas con anterioridad.

Tampoco resulta deseable la simple introducción de un muñón plano que se adapte en términos generales al contorno variable del reborde del disco lo que situaría de forma inherente el plano de soldadura en las porciones relativamente delgadas del álabe al nivel ya sea de sus bordes delantero o trasero o en el sentido de la cuerda entre los mismos en emplazamientos radialmente hacia fuera respecto de los filetes de los muñones. No resulta deseable simplemente sobredimensionar los filetes para obtener el plano de soldadura de diámetro variable porque esos filetes afectan directamente al rendimiento aerodinámico de los álabes que incluyen el área de flujo requerida de los pasos.

En consecuencia, mediante la introducción de los canales ranurados 22 en lugar de los típicos canales de flujo de superficie de revolución, el plano de soldadura 42 puede permanecer plano a lo largo de toda su extensión entre los bordes delantero y trasero del álabe mientras está situado dentro de los correspondientes filetes 38 para mantener la integridad estructural de los muñones y la resistencia a la soldadura por fricción sin comprometer el rendimiento aerodinámico. Como se muestra en las Figuras 1 y 2, los canales ranurados 22 varían en profundidad radial preferiblemente de manera no lineal entre los extremos delantero y trasero del reborde de disco, y el plano de soldadura 42 varía correspondientemente en posición radial dentro de los filetes 38 de manera axial entre los extremos opuestos del reborde.

Como se muestra inicialmente en la Figura 1, los canales ranurados 22 varían en cuanto a perfil o contorno circunferencial, y tienen una profundidad máxima en sección sesgada o desviada hacia los lados de aspiración 26 de álabe en dirección axial entre los extremos delantero y trasero del reborde 16a del disco. Este contorno general de los canales ranurados se deriva de la manera de fabricar originalmente el rotor con álabes integrados para adaptarlo a los objetivos contradictorios de la superficie de soldadura plana dentro de los filetes correspondientemente pequeños con un reborde del disco de diámetro variable y con un contorno axial entre sus extremos delantero y trasero.

Más concretamente, la Figura 1 ilustra así mismo de manera esquemática un procedimiento de fabricación del rotor con álabes integrados 10 de acuerdo con una realización preferida. El disco 16 sin los álabes se fabrica inicialmente de cualquier forma convencional como por ejemplo forjando y mecanizando para producir los muñones planos deseados 40 que se extienden en dirección radial hacia fuera desde el reborde de disco, preferiblemente sobredimensionado de manera conveniente.

Los álabes individuales 18 se fabrican de cualquier forma convencional, como por ejemplo forjando y mecanizando según se desea. De esta forma la fabricación individual de los álabes permite el control preciso de las distintas dimensiones de los mismos sin la obstrucción por parte de cualquier otro álabe o del disco que típicamente tiene lugar en el mecanizado del rotor con álabes integrados y de los álabes a partir de una pieza corriente.

Cada álabe 18 se fabrica preferiblemente con un collarín de fijación monobloque 44 dispuesto en íntima proximidad en dirección radial por encima de la raíz plana 34 del mismo. El equipo de soldadura 46 por fricción de traslación de cualquier configuración convencional se utiliza a continuación para soldar por fricción la raíz plana 34 con el correspondiente muñón plano 40 para cada uno de los álabes mediante la traslación y el desplazamiento en vaivén del collarín 44 en dirección axial o de la cuerda. Como se muestra en general en las Figuras 1 y 2, y con mayor detalle en la Figura 3, el equipo de soldadura produce una fuerza de compresión o recalado F dirigida en dirección radial hacia dentro a través del collarín 44 para crear fuerzas de fricción considerables a medida que el collarín 44 es oscilado bajo fuerza de traslación T en un desplazamiento rápido para fundir localmente la raíz de álabe con el muñón de reborde para constituir una junta de soldadura a lo largo del plano de soldadura.

Como se muestra en las Figuras 3 y 4 la traslación del álabe 18 durante el proceso de soldadura por fricción se produce preferiblemente en la dirección de la cuerda a lo largo de la extensión mayor del muñón 40 opuesta a su anchura circunferencial sustancialmente más estrecha. De esta manera, a medida que el álabe oscila durante la soldadura por fricción, tal y como se ilustra en la Figura 3, solo porciones pequeñas en los bordes opuestos delantero y trasero del álabe en las raíces 34 quedan expuestas al entorno para reducir de manera sustancial la

contaminación ambiental del plano de soldadura. Ambos lados de la raíz de álabe 34 permanecen directamente en contacto a lo largo de ambos lados del muñón 40 durante el proceso de soldadura con la posibilidad correspondientemente escasa de contaminación ambiental en el mismo.

5 A medida que continúa el proceso de soldadura por fricción, las superficies de metal de la raíz de álabe y del muñón se funden juntos en una soldadura fuerte a lo largo de toda la extensión plana de las superficies de soldadura dando como resultado rebabas de aplastamiento de soldadura 48 que se proyectan lateralmente hacia fuera alrededor de todo el perímetro de la junta de soldadura lo cual típicamente elimina cualquier contaminación ambiental introducida por el proceso de soldadura por fricción.

10 Como se ilustra en la Figura 1, una herramienta para fresar o rectificar 50 puede usarse a continuación para fresar el collarín 44 y las rebabas de soldadura 48 existentes en el plano de soldadura 42 para completar o mecanizar finalmente las raíces del álabe y de los filetes 38 situados en el mismo.

15 La Figura 5 ilustra con mayor detalle una sección a modo de ejemplo del contorno ranurado 22 cerca de los bordes delanteros de los álabes, y el proceso de fabricación preferente de los mismos. Asimismo se indica en la Figura 5 la adición local de exceso de material 52 en ambos lados de la raíz de álabe 34 y del muñón complementario 40 utilizado durante la fabricación original, si se desea, la cual es finalmente mecanizada después del proceso de soldadura para obtener las dimensiones finales deseadas del contorno ranurado 22 y de los filetes 38. El exceso de material 52 puede ser utilizado donde se desea en los muñones y en las raíces de álabe así como a lo largo de todo el reborde de disco o no según se desee.

20 La Figura 5 ilustra asimismo, de manera esquemática, un procedimiento preferente para fabricar el disco para la obtención del emplazamiento del plano de soldadura 42 en los filetes 38 de los muñones, y el contorno ranurado resultante del canal interior 22 de la trayectoria de flujo entre los álabes y muñones adyacentes.

25 Como se indicó con anterioridad, los álabes 18 y sus canales interiores 22 de las trayectorias de flujo definen en su mayor parte los pasos de flujo 20 dispuestos entre ellos a través de los cuales se canaliza durante su funcionamiento. La configuración del paso de flujo está definida por los contornos de los álabes y por el canal interior 22, y se encuentran habitualmente disponibles distintos instrumentos analíticos para definir la configuración de la trayectoria de flujo para obtener un rendimiento aerodinámico óptimo en cada etapa del ventilador o compresor según proceda.

30 Los instrumentos analíticos convencionales incluyen códigos o software de cálculos aerodinámicos de dos dimensiones para definir la configuración de las trayectorias de flujo y de la forma de los álabes de acuerdo con las exigencias o rendimiento aerodinámicos específicos de la etapa.

35 Asimismo están disponibles de manera convencional códigos o software de cálculo aerodinámico de tres dimensiones para la determinación de la configuración de las trayectorias de flujo de acuerdo con las exigencias de rendimiento aerodinámico deseadas. Sin embargo, el cálculo en tres dimensiones es sustancialmente más complejo que el cálculo en dos dimensiones y, por consiguiente, requiere mayor esfuerzo y más tiempo de cálculo, con su coste correspondiente.

40 En consecuencia, con independencia del tipo de software de cálculo disponible, el disco 16 es, en un primer momento, evaluado definiendo analíticamente el contorno ranurado deseado de los canales interiores 22 de las trayectorias de flujo entre los muñones 40 del reborde de disco para conseguir el rendimiento aerodinámico óptimo requerido por el rotor con álabes integrados, incluyendo las áreas de flujo y cobertura o contornos de superficie de los pasos de flujo 20 correspondientes entre los álabes. Pueden utilizarse códigos de cálculo de tres dimensiones en un ordenador programable de manera digital para determinar de forma simultánea el contorno ranurado requerido del canal 22 en combinación con los filetes 38, con los planos de soldadura 42 dispuestos en su interior.

45 Mediante la predeterminación del contorno ranurado requerido, el disco 16 puede a continuación ser fabricado de cualquier forma convencional, con los muñones 40 y los canales 22 correspondiéndose con el contorno ranurado determinado de forma analítica del mismo, para situar los planos de soldadura 42 en los filetes 38. Como se ha ilustrado en las Figuras 2 y 4, los canales ranurados 22 se extienden en dirección axial entre los extremos delantero y trasero del reborde de disco, y, por consiguiente, la definición analítica del mismo debe incluir todas las secciones a lo largo de toda extensión axial de los álabes y los muñones, mientras que ambos mantienen la superficie de soldadura lisa o plana dentro de los correspondientes filetes sin comprometer el rendimiento aerodinámico.

50 Como se indicó con anterioridad, la predicción de forma iterativa del contorno requerido de los canales ranurados 22 requeriría normalmente un esfuerzo de cálculo considerable que utiliza un código de cálculo de tres dimensiones.

55 Un procedimiento simplificado puede ser utilizado para definir el contorno ranurado 22. Tal y como se ha ilustrado inicialmente en la Figura 5, puede llevarse a cabo, en primer término, un análisis aerodinámico para definir un contorno aerodinámico 54 para conseguir el rendimiento aerodinámico deseado u óptimo y los correspondientes contornos de superficie y las áreas de flujo de los pasos 20, con independencia del emplazamiento de los planos de soldadura 42.

- Como se indicó con anterioridad, pueden encontrarse disponibles habitualmente códigos informáticos de dos dimensiones para su uso en un ordenador programable de manera digital para representar en dos dimensiones el rendimiento aerodinámico del rotor con álabes integrados para definir el contorno aerodinámico de los pasos 54 de los pasos de flujo, incluyendo los canales de flujo interno limítrofes para el correspondiente rendimiento aerodinámico que incluye la distribución de presión estática deseada dentro de los pasos de flujo. Si se desea, pueden utilizarse códigos aerodinámicos en tres dimensiones para definir el contorno aerodinámico inicial 54.
- El contorno aerodinámico 54 está típicamente definido como una superficie de revolución destinada a la trayectoria de flujo interno de los pasos 20 y es axisimétrica alrededor del eje geométrico del eje centro del rotor con álabes integrados. Este contorno aerodinámico está así mismo definido por los correspondientes lados de presión y aspiración de los álabes adyacentes.
- Dado que el contorno aerodinámico 54 debe necesariamente seguir el incremento de diámetro del reborde de disco entre sus extremos delantero y trasero tal como se ilustra en la Figura 2, el perfil axial resultante del mismo tiene forma genérica de S lo cual se traduce de forma correspondiente en una distancia radial variable con respecto al plano de soldadura 42 liso o recto deseado.
- En consecuencia, la posición de plano de soldadura 42 puede ser elegida con cualquier ajuste óptimo apropiado basado en un razonamiento técnico o de ensayo y error fundamentado con respecto al contorno aerodinámico analíticamente producido 54 con la finalidad de situar el plano de soldadura relativamente próximo a la trayectoria de flujo interno en los filetes deseados en comunicación con el mismo.
- De esta manera, el plano de soldadura 42 queda situado en los filetes apropiados 38 de la configuración convencional con fines de fabricación, pero el contorno de referencia 56 no tiene ninguna utilidad aerodinámica excepto la que proporcionan los filetes. Los filetes se utilizan generalmente al nivel de las uniones de los elementos estructurales para reducir la concentración de esfuerzos en los mismos. Los filetes típicos pueden incorporar un único o múltiples radios en transición, o pueden ser infinitamente variables en cuanto al radio de acuerdo con lo deseado para una unión particular entre elementos estructurales.
- En una construcción típica de discos con álabes integrados, el reborde de rotor con álabes integrados es axisimétrico con una superficie de revolución de diámetro habitual entre los álabes que a continuación efectúa una transición de manera brusca en los álabes que se extienden en sentido radial hacia fuera. La brusquedad de la transición se suaviza mediante el empleo de filetes apropiados en los mismos para el rendimiento estructural y aerodinámico.
- El contorno de referencia 56 ilustrado en la Figura 5 es de nuevo axisimétrico o una superficie de revolución controlada en su mayor parte por el emplazamiento de los planos de soldadura 42 en los correspondientes filetes 48 en todas las secciones axiales del muñón entre los extremos delantero y trasero del reborde de disco tal como se representa mediante las secciones a modo de ejemplo ilustradas en las Figuras 5, 6 y 7. De esta manera, el plano de soldadura 42 queda acoplado de forma óptima de acuerdo con una fundamentación técnica o mediante ensayo y error en los filetes correspondientes 38 en cada sección de los muñones existentes entre los extremos de reborde.
- En cada emplazamiento axial de los muñones entre los extremos de disco, habrá probablemente una diferencia entre el área de paso, tal como se define mediante el contorno de referencia 56 y el área requerida para rendimiento aerodinámico definido por el contorno aerodinámico 54.
- El contorno ranurado 22 se define inicialmente entre los filetes 38 del contorno de referencia 56 para coincidir con el área de flujo del contorno aerodinámico 54. Como se muestra en la Figura 5, los filetes 38 del contorno de referencia reducen (-) el área de flujo local con respecto al contorno aerodinámico, y el contorno ranurado está configurado para tener ranuras o rebajos cóncavos que se extiendan en dirección radial hacia dentro para proporcionar localmente un área de flujo adicional (+) para compensar la pérdida de área de flujo debida a la forma deseada de los filetes.
- Como se ha indicado con anterioridad, el contorno aerodinámico 54 y el contorno de referencia 56 están determinados de manera convencional y son axisimétricos o son unas superficies de revolución entre los filetes, tal y como se representa por los correspondientes radios A, B incorporados al efecto. El radio efectivo A, B para cada sección axial del paso de flujo se determina para cada configuración concreta y puede ser en gran medida similar, siendo el uno o el otro mayor que el otro, y cambiando posiblemente de orientación entre los extremos delantero y trasero de los bordes del disco. Las Figuras 5 a 7 son representaciones muy exageradas de estos dos contornos 54, 56 únicamente con fines de ilustración.
- No obstante, los dos contornos 54, 56 son intrínsecamente axisimétricas por la práctica de diseño descrita con anterioridad mientras que el contorno ranurado 22 no es intrínsecamente una superficie de revolución ni axisimétrica a la manera de los dos contornos 54, 56, sino que, por el contrario, es típicamente asimétrica con respecto a los dos contornos axisimétricos, y a lo largo de la dirección de flujo axial del canal ranurado 22.
- Como se muestra en la Figura 5, los filetes 38 pueden definirse en combinación con el contorno de referencia 56 para la localización de los planos de soldadura 42 dentro de los filetes para potenciar al máximo la resistencia de los

muñones destinados a la soldadura por fricción. Como se indicó con anterioridad, no es deseable emplazar los planos de soldadura 42 en dirección radial hacia fuera respecto de los filetes en cualquier emplazamiento a lo largo de la extensión axial de los muñones individuales 40 a la vista del grosor correspondientemente menor del muñón que podría dar como resultado una deformación no deseable del mismo durante el proceso de soldadura por fricción.

Sin embargo, aunque el contorno de referencia 56 se corresponde con los filetes deseables 38, el resto del contorno de referencia existente entre los filetes opuestos en cada paso de flujo 20 no alcanza el rendimiento aerodinámico óptimo para el paso del flujo, e incluye típicamente un área de paso diferente de la del área de flujo de paso óptima.

En consecuencia, el contorno deseado del canal ranurado 22 puede ser obtenido mediante la alteración local de la trayectoria de flujo interior existente entre los filetes 38 desde el contorno de referencia 56 hasta el contorno ranurado no axisimétrico 22 para obtener inicialmente la misma área de flujo para el canal ranurado 22 que la determinada de forma analítica para el contorno aerodinámico 54.

Después de definir la configuración inicial del contorno ranurado 22, el análisis aerodinámico en tres dimensiones se lleva a cabo con referencia al paso de flujo entre álabes para determinar el rendimiento aerodinámico de los mismos. La configuración del contorno ranurado 22 entre los filetes 38 puede, a continuación, ser modificada de manera iterativa, junto con la de los álabes, para optimizar el rendimiento aerodinámico, con independencia del área de paso del flujo.

El análisis aerodinámico en tres dimensiones incluye los filetes deseados 38 para mantener los planos de soldadura 42 en su interior, y se utiliza para la determinación de los cambios requeridos en la trayectoria de flujo interior para conseguir el rendimiento aerodinámico óptimo, con una área de paso del flujo correspondiente. Los canales ranurados resultantes 22 varían típicamente en cuanto a su contorno circunferencial con respecto a los dos contornos 54, 56.

Como se ilustra en la Figura 5, los filetes 38 situados a la izquierda y a la derecha del canal central ranurado 22 están más altas en dirección radial que las porciones correspondientes del contorno aerodinámico 54 dando como resultado una pérdida local (-) del área de paso de flujo. En consecuencia, la porción central del canal ranurado 22 se extiende en dirección radial hacia dentro más que la porción correspondiente del contorno aerodinámico 54 para incrementar localmente (+) el área de flujo para compensar la pérdida del área de flujo bajo los filetes izquierdo y derecho. De esta manera, el área de paso de flujo puede mantenerse inicialmente ajustando el contorno de la trayectoria de flujo interior situado entre los contornos deseados de los dos filetes 38 para mantener el área total de paso de flujo prevista para el contorno aerodinámico 54. Y entonces, el contorno del canal ranurado 22 puede optimizarse, además, sin restringir el área de paso de flujo.

La Figura 5 ilustra el contorno del canal ranurado 22 cerca de los bordes delanteros de los álabes en el extremo delantero del reborde del disco, teniendo el canal 22 una profundidad máxima en términos generales en la mitad circunferencial existente entre los dos muñones adyacentes 40. Preferiblemente, el extremo delantero del reborde de disco es circunferencial, y el canal ranurado 22 comienza en el mismo y aumenta en profundidad en la dirección corriente abajo de acuerdo con lo requerido para optimizar el rendimiento aerodinámico del paso de flujo entre los álabes adyacentes.

La figura 6 ilustra un contorno diferente del canal ranurado 22 cerca de la cuerda media de los álabes entre los extremos delantero y trasero del reborde de disco, estando la profundidad máxima del canal ranurado inclinada más próxima del lado 26 de la aspiración de los álabes con respecto al lado de presión 28 del álabe adyacente.

Debe destacarse la mayor pérdida (-) del área de paso de flujo cerca de la junta de unión del lado de presión derecho, que cerca de la junta de unión del lado de la aspiración izquierdo. Debe destacarse asimismo el área de flujo localmente añadida existente cerca de la junta de unión del lado de aspiración que coopera con el lado de aspiración del álabe que presenta velocidades de flujo localmente elevadas para incrementar el rendimiento aerodinámico del mismo.

Y, la Figura 7 ilustra el contorno diferente adicional del canal ranurado 22 cerca de los bordes traseros del álabe en el extremo trasero del reborde de disco. La profundidad máxima del canal ranurado se reduce en cuanto a su magnitud para fundirse con el extremo trasero circular del reborde del disco, y está ahora inclinado más próximo a la junta de unión del lado de presión del álabe adyacente. Debe destacarse la pérdida (-) de área del flujo cerca de la junta de unión del lado de aspiración izquierdo, con un incremento (+) compensatorio en el área de flujo cerca de la junta de unión del lado de presión derecho.

Las Figuras 4 a 7 ilustran que el plano de soldadura 42 puede estar situado dentro de los filetes que lindan con cada muñón 40 a lo largo de toda extensión de los muñones individuales a pesar del diámetro variable del canal ranurado que típicamente se incrementa entre los extremos delantero y trasero del reborde de disco. El plano de soldadura 42 permanece liso y dentro de los filetes 38 a lo largo de toda la extensión axial de los muñones a pesar de las variaciones en cuanto al radio del canal ranurado, variando el contorno circunferencial del canal ranurado en caso necesario para obtener el rendimiento aerodinámico óptimo deseado en cada sección axial del reborde de disco

mientras se efectúa una fusión suave con los filetes correspondientes 38 que llevan a cabo la transición de los muñones a los correspondientes extremos de raíz de los álabes individuales.

5 En las diversas configuraciones del canal ranurado ilustrado en las Figuras 5 a 7, el perfil específico de los filetes 38 es al menos tan grande como el contorno de referencia 56 en las inmediaciones de los planos de soldadura 42, y a continuación varía suavemente en círculo para incrementar o reducir localmente el área de paso de flujo con respecto al contorno aerodinámico deseado de paso de flujo para conseguir un rendimiento aerodinámico óptimo.

10 Como se ha indicado con anterioridad, una razón fundamental para la reconfiguración del canal interior 22 de la trayectoria de flujo es permitir la posterior reparación del rotor con álabes integrados mediante la sustitución de los álabes individuales mediante el empleo del proceso de soldadura por fricción de traslación. Tal y como se ilustra de forma esquemática en la Figura 8, el rotor con álabes integrados puede ser reparado mediante la retirada de uno o más de los álabes dañados 18d del reborde de disco al nivel de o cerca del plano de soldadura original 42. El álabe dañado puede pertinentemente ser seccionado del reborde, siendo el plano de soldadura 42 fresado con precisión mediante la utilización de la herramienta de fresado convencional 50, por ejemplo, para dejar el muñón plano 40 en una configuración muy parecida a la del muñón original, excepto por el hecho de que no queda sobredimensionado lateralmente.

15 Un álabe de repuesto 18r, sustancialmente idéntico al álabe original, incluye el collarín de fijación 44 cerca del extremo de raíz del mismo que es montado de manera conveniente en la máquina de soldadura por fricción de traslación 46, que es a continuación utilizada para la soldadura por fricción del álabe de repuesto sobre el muñón para de nuevo trasladar en dirección de la cuerda el collarín de la misma manera a la anteriormente descrita con referencia a la Figura 1. Dado que el plano de soldadura 42 está situado dentro de los filetes opuestos 38 situadas a ambos lados del mismo, el muñón 40 es relativamente rígido y permite una soldadura por fricción sin una distorsión no deseable del mismo bajo las considerables cargas de recalado aplicadas.

20 La reparación del álabe individual se completa entonces mediante el fresado del collarín de fijación 44 del álabe de repuesto, y el fresado de las rebabas de soldadura 48 del plano de soldadura para conseguir que la raíz del álabe tenga un contorno sustancialmente igual al de los filetes originales 38 o ligeramente inferior de acuerdo con lo que exija la reparación.

25 Mediante la simple introducción del canal ranurado 22 que define el límite interior de la trayectoria de flujo entre los álabes adyacentes del rotor con álabes integrados, la superficie de soldadura 42 puede ser lisa o plana a lo largo de toda su extensión axial y permanecer dentro de los filetes de refuerzo estructural 38 sobre los lados opuestos de las mismas. La soldadura por fricción de traslación de los álabes individuales a los muñones correspondientes se lleva cabo con facilidad con las ventajas descritas con anterioridad, mientras que el rotor con álabes integrados resultante mantiene un óptimo rendimiento aerodinámico.

30 Una ventaja adicional de la utilización de los canales ranurados 22 es que sus tres contornos en tres dimensiones pueden ser utilizados ventajosamente para el incremento del rendimiento aerodinámico del rotor con álabes integrados más allá del rendimiento posible respecto de las trayectoria de flujo interiores axisimétricas convencionales de los discos con álabes integrados típicos.

35 El grado adicional de libertad permitido por la trayectoria de flujo no axisimétrica puede ser utilizado para mejorar el rendimiento aerodinámico mediante un mejor control de flujo cerca del cubo mediante distribuciones optimizadas de curvatura de superficie y l área de paso. Este rendimiento mejorado puede ser obtenido con la importante limitación adicional del mantenimiento del emplazamiento de los filetes con respecto a la soldadura. Y, mediante el control cuidadoso del emplazamiento de soldadura con respecto al esfuerzo circunferencial constante máximo en el reborde de disco, la forma de trayectoria de flujo a lo largo de una sección normal a la dirección de flujo primaria puede resultar eficaz para reducir el esfuerzo circunferencial máximo dentro de la junta de unión.

45

**REIVINDICACIONES**

1. Un rotor con álabes integrados (10), que comprende:
- 5 un disco (16) que incluye un reborde (16a);  
una fila de álabes (18) que se extiende en dirección radial hacia fuera desde dicho reborde en una construcción unitaria con el mismo, para definir entre los mismos pasos de flujo (20) correspondientes; incluyendo el reborde (16a) de disco muñones monobloques (40) que presentan una superficie de soldadura plana (42) que se complementa con una raíz (34) de álabe correspondiente  
10 y  
dicho reborde de disco incluye canales ranurados interiores (22) de trayectoria de flujo que se extienden axialmente entre dichos álabes para delimitar dichos pasos (20), en el que cada uno de dichos canales ranurados se extiende en círculo entre álabes adyacentes y presentan entre los mismos un contorno circunferencialmente cóncavo;  
15 en el que  
cada uno de dichos canales ranurados (22) se une con dichos álabes en unos filetes arqueados (38) correspondientes;  
**caracterizado porque:**  
cada uno de dichos canales ranurados (22) es asimétrico circunferencialmente entre dichos álabes (18).
- 20 2. Un rotor con álabes integrados de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho contorno cóncavo varía axialmente a lo largo de dichos álabes (18).
3. Un rotor con álabes integrados de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho muñones (40) tienen cada uno un plano de soldadura (42) soldado a una raíz plana (34) de un álabe (18) correspondiente, y dicho plano de soldadura está dispuesto en dichos filetes (38).
- 25 4. Un rotor con álabes integrados de acuerdo con la reivindicación 3, en el que dicho reborde (16a) de disco incluye extremos delantero y trasero axialmente opuestos; dichos canales ranurados (22) divergen radialmente hacia fuera entre los mismos, y dichos planos de soldadura (42) varían en distancia radial desde dichos canales ranurados axialmente entre dichos extremos delantero y trasero del reborde.
- 30 5. Un procedimiento de fabricación de un rotor con álabes integrados (10) de acuerdo con la reivindicación 3, que comprende:
- 35 fabricar dicho disco (16) con muñones planos (40) que se extienden hacia fuera desde dicho reborde (16a);  
proporcionar cada uno de dichos canales ranurados (22) que se extienden en círculo y de forma asimétrica entre álabes adyacentes con un contorno circunferencialmente cóncavo entre los mismos, fabricar cada uno de dichos álabes (18) con un collarín de fijación monobloque (44) dispuesto por encima de dicha raíz plana (34) de los mismos;  
40 soldar por fricción dicha raíz plana (34) a dicho muñón plano (40) para cada uno de dichos álabes mediante la traslación de dicho collarín (44) en el sentido de la cuerda; y  
mecanizar dicho collarín y rebabas de soldadura (48) en dicho plano de soldadura (42) para completar dichos filetes (38) en este lugar.
6. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que dicho disco (16) es fabricado mediante:
- 45 definición de forma analítica del contorno de dicho canal ranurado (22) entre dichos muñones (40) para conseguir el rendimiento aerodinámico requerido por dicho rotor con álabes integrados, incluyendo áreas de flujo y contorno de superficie correspondientes de dichos pasos de flujo entre dichos álabes; y
- 50 fabricación de dicho disco (16) con dichos muñones (40) y canales (22) correspondiente a dicho contorno ranurado de los mismos para situar dichos planos de soldadura en dichos filetes (38).

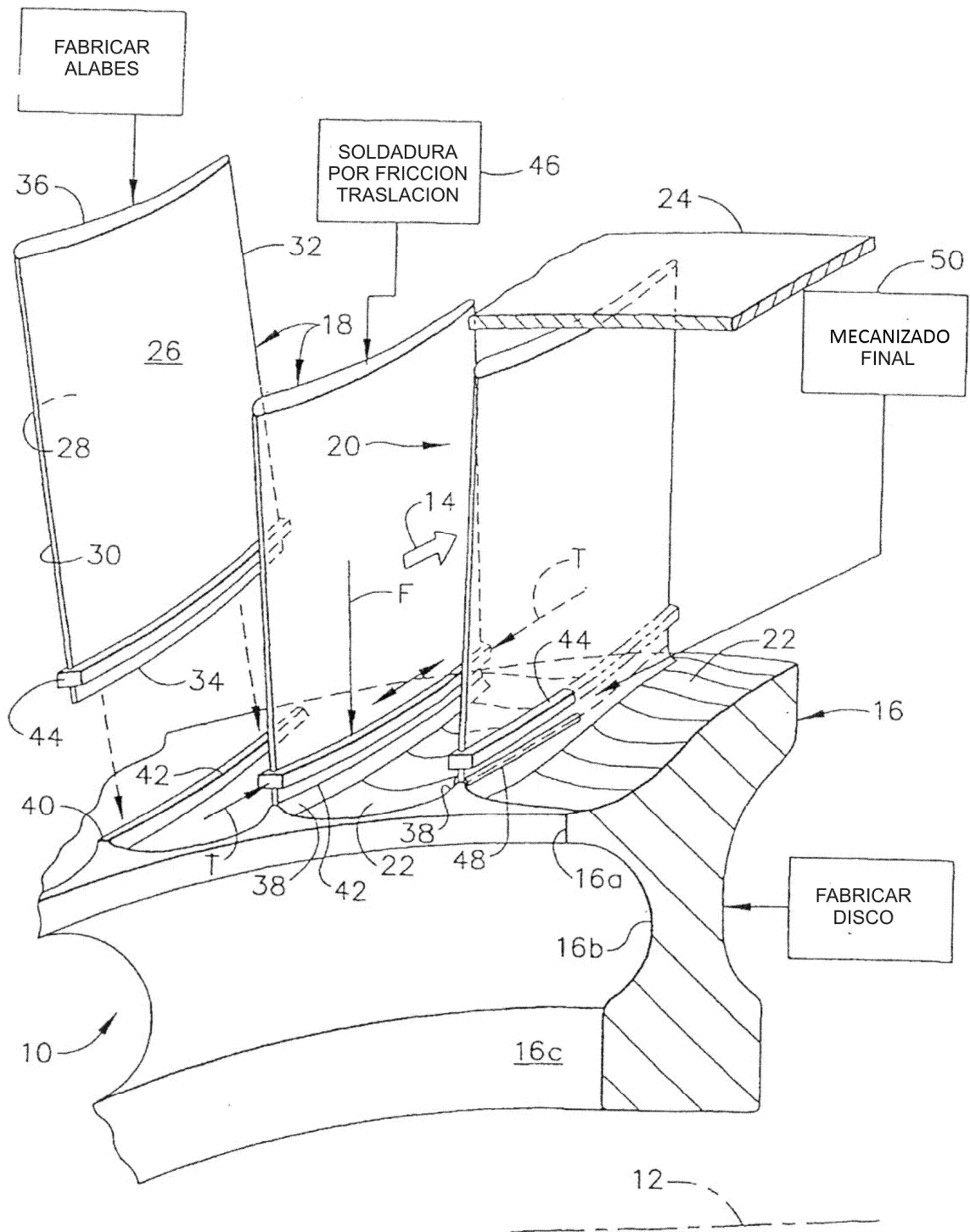


FIG. 1

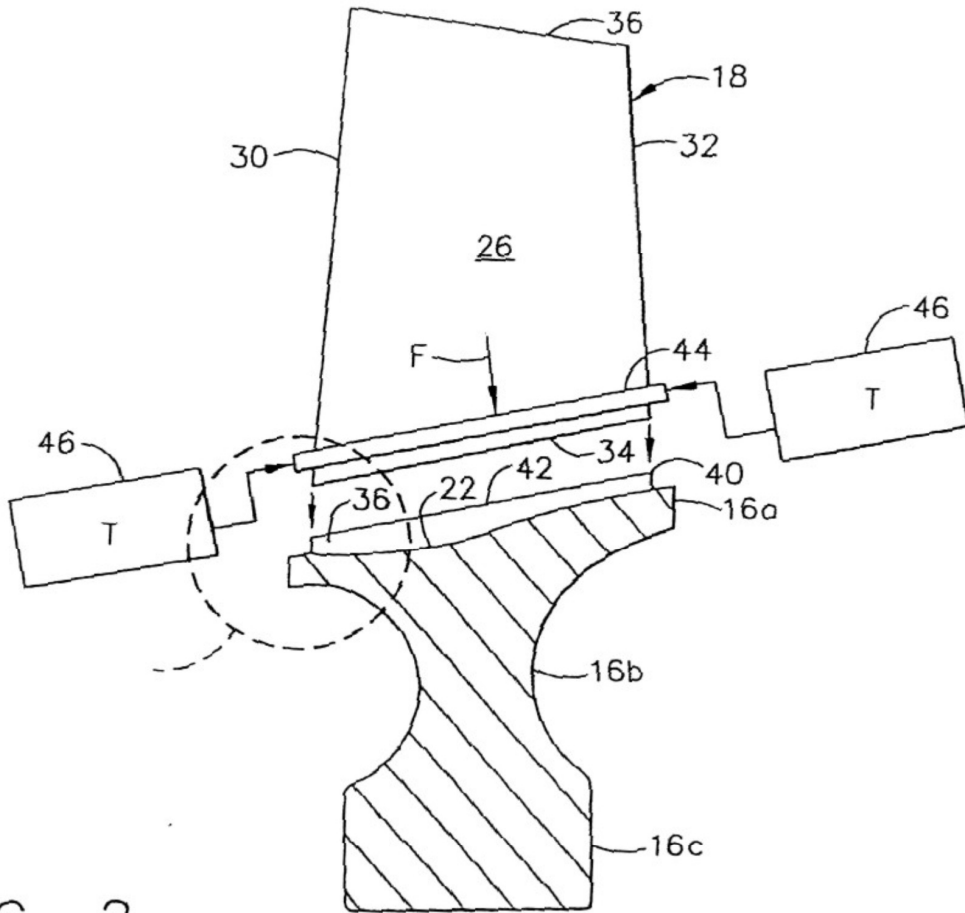


FIG. 2

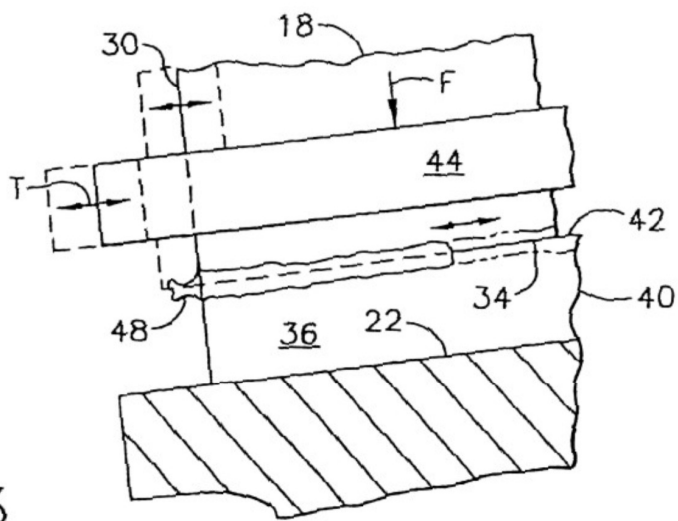


FIG. 3

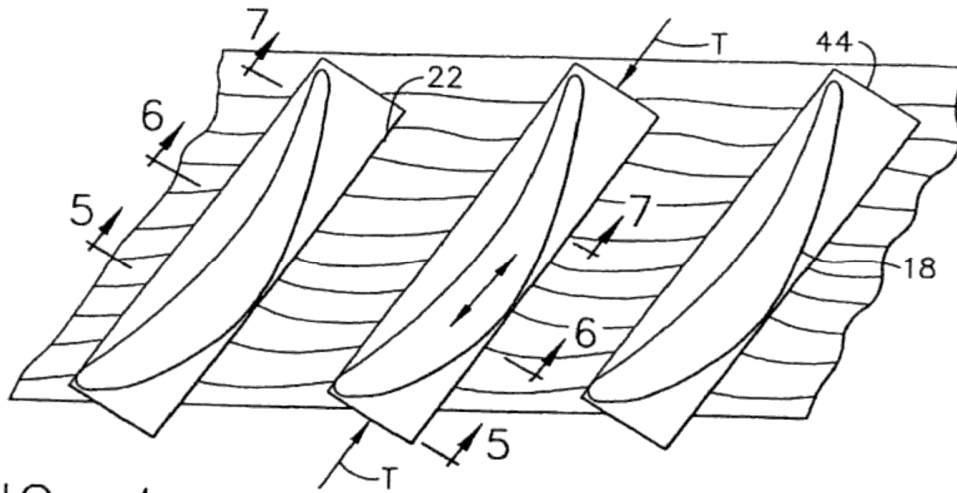


FIG. 4

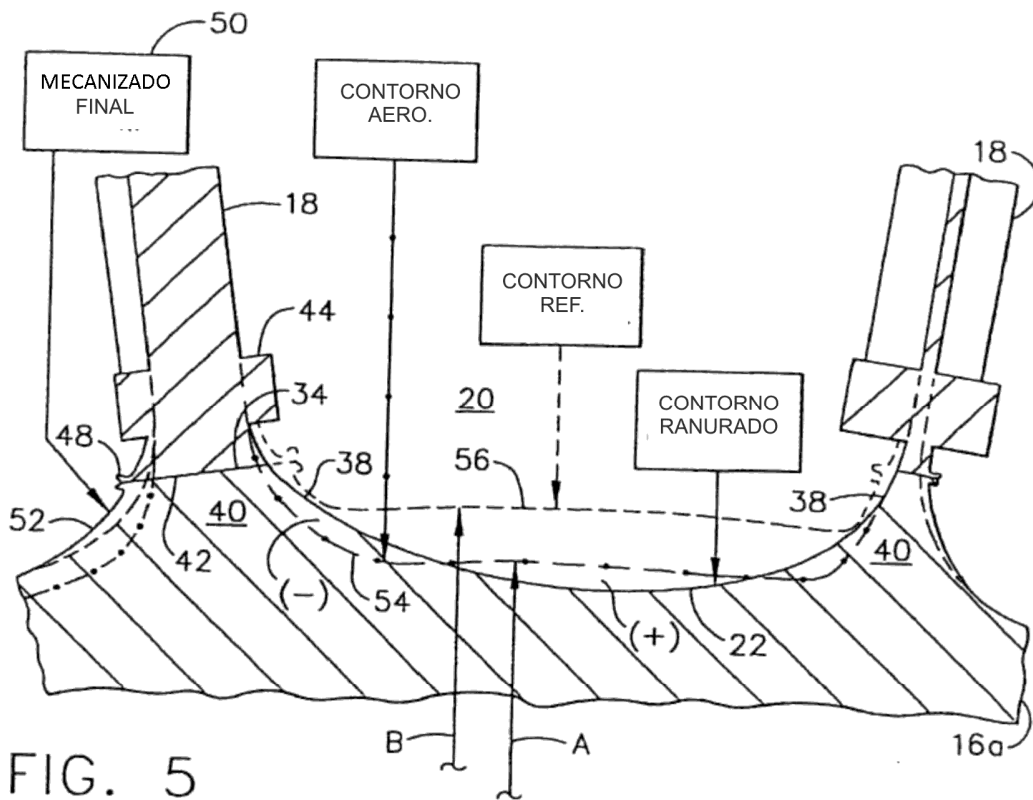


FIG. 5



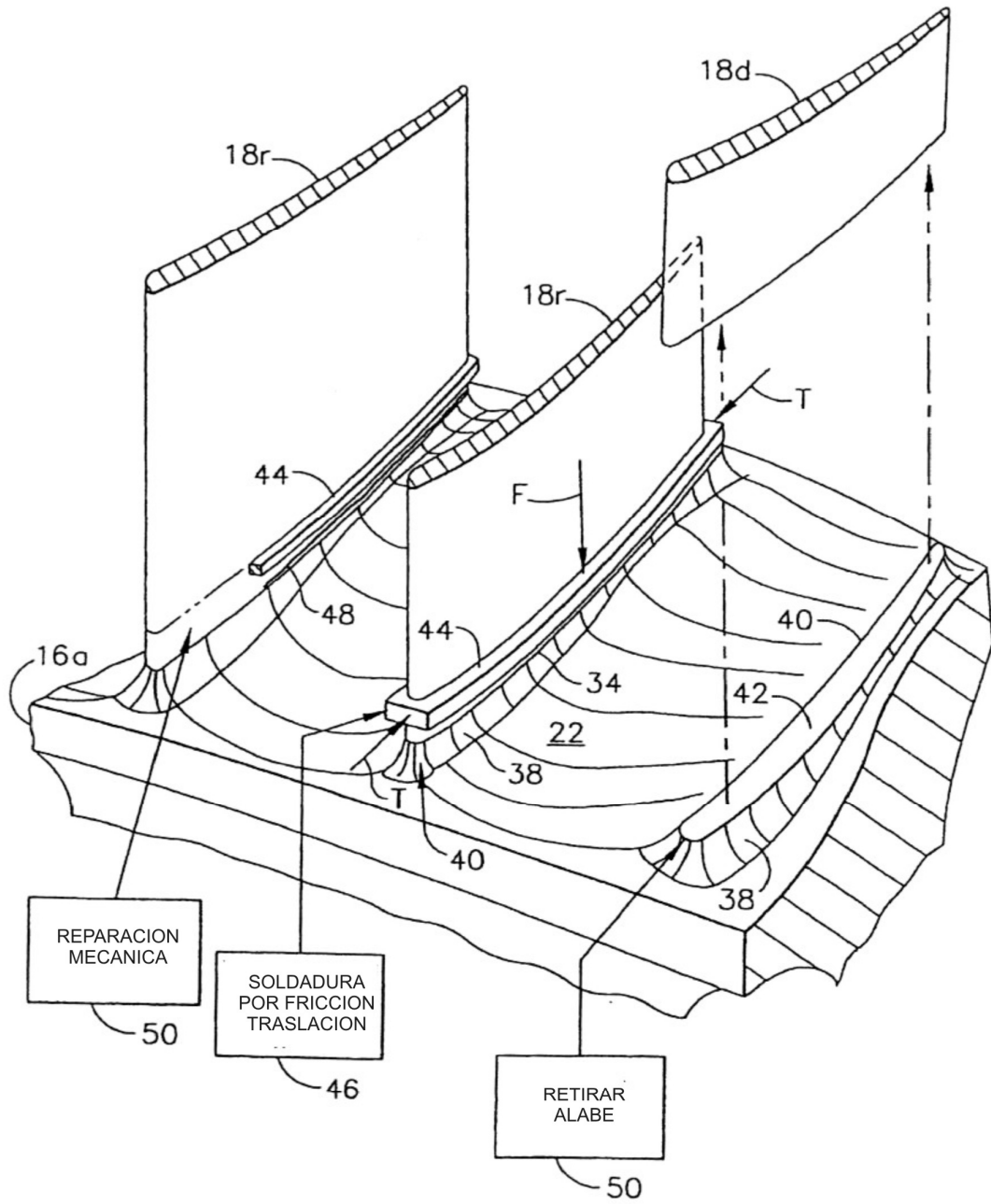


FIG. 8