



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

T3

96 Número de solicitud europea: **02251636 .3**

96 Fecha de presentación : **07.03.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1239116**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.09.2002**

54 Título: **Estructura disco-álabes unitaria ranurada.**

30 Prioridad: **07.03.2001 US 801119**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**18.08.2009**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**18.08.2009**

73 Titular/es: **GENERAL ELECTRIC COMPANY**  
**1 River Road**  
**Schenectady, New York 12345, US**

72 Inventor/es: **Crall, David William;**  
**Prentice, Ian Francis;**  
**Toye, Michael Dewayne;**  
**Kelley, John Robert y**  
**McNulty, Gregory Scott**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 324 858 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).

# ES 2 324 858 T3

## DESCRIPCIÓN

Estructura disco-álabes unitaria ranurada.

5 La presente invención se refiere en general a los motores de turbina de combustión interna, y, más concretamente a las estructuras disco-álabes unitarias existentes en su interior.

10 Un motor de turbina de combustión interna incluye varias etapas de discos-álabes dispuestos en el compresor y en la turbina de aquél, los cuales presurizan el aire existente en el compresor y expanden los gases de combustión calientes existentes en la turbina. Los álabes del compresor o los álabes de la turbina están típicamente montados sobre sus discos de soporte mediante unas ensambladuras a cola de milano, las cuales quedan radialmente retenidas en las correspondientes muescas de sección en cola de milano existentes en los rebordes de los discos.

15 Pueden obtenerse determinadas ventajas de realización, fabricación, y peso mediante la constitución de manera integral de los álabes y los discos en una estructura unitaria o de una sola pieza conocida como estructura disco-álabes unitaria, "blisk". En un procedimiento de fabricación, los álabes individuales y los elementos característicos individuales del disco de soporte son fabricados a partir de una pieza semielaborada corriente de metal. Se requiere un complejo maquinado en tres dimensiones para obtener con exactitud los pasos de flujo aerodinámicos requeridos entre los álabes.

20 Dado que las estructuras disco-álabes unitarias pueden resultar dañados en el curso normal de funcionamiento del motor de turbina de combustión interna antes de que se hayan cumplido sus periodos de vida útil, es deseable reparar las estructura disco-álabes unitaria. Sin embargo, dado que los álabes están conformados de manera integral con el disco, no son susceptibles de una desmontadura individual fácil al modo de los discos con álabes que incorporan ensambladuras a cola de milano.

25 De acuerdo con ello, ambas porciones de un álabe individual dañado pueden ser desmontadas mediante maquinado y sustituidas por una pieza de álabe correspondiente, o el entero álabe dañado puede ser desmontado y sustituida. En uno u otro caso, la estructura disco-álabes unitaria reparada debe mantener en la mayor medida posible su resistencia original para completar su periodo de vida útil original sin que se produzca la temprana extensión no deseable de aquella.

30 Otra forma de fabricación y reparación de la estructura disco-álabes unitaria emplea una soldadura por frotamiento traslacional para soldar de manera integral los álabes individuales a un disco. El disco típicamente es fabricado inicialmente con una fila de talones integrales que se extienden radialmente hacia fuera desde el reborde del disco. Cada talón tiene una superficie de soldadura lisa que se complementa con una correspondiente raíz del álabe lisa para permitir la soldadura por frotamiento entre ellos.

35 Cada álabe inicialmente incluye un collarín de fijación situado cerca de la raíz del álabe para que las fuerzas de compresión y traslación puedan ser aplicadas al álabe individual para desarrollar el frotamiento al nivel de la superficie de soldadura cuando se haga oscilar rápidamente el álabe durante el proceso de soldadura. El material del álabe y del pistón al nivel de la superficie de soldadura se funde localmente para constituir una unión de soldadura por frotamiento al nivel de aquella, después de lo cual las rebabas de soldadura resultantes y el collarín de fijación son retirados mediante maquinado convencional para obtener el contorno aerodinámico deseado del álabe y de las superficies del reborde.

40 Dado que las fuerzas de soldadura por frotamiento son considerables, los talones del reborde originales están aumentados de tamaño con un material suplementario para impedir la deformación plástica no deseable de los talones y del álabe durante la soldadura por frotamiento. El material suplementario puede entonces ser retirado mediante maquinado después del proceso de soldadura por frotamiento.

45 Sin embargo, en el caso de que se desee reparar la estructura disco-álabes unitaria y de que sea necesaria una completa retirada del álabe, el talón restante ya no incluye el material suplementario original. El talón más pequeño en la medida correspondiente queda por consiguiente sometido a una deformación no deseable durante el proceso de soldadura por frotamiento de un álabe de sustitución, lo que puede dañar la estructura disco-álabes unitaria y convertirlo en inutilizable para que pueda prestar servicio dentro del motor.

50 Otro problema de la soldadura por frotamiento de las estructuras discos-álabes unitarias es la exposición al entorno a lo largo de los bordes de la superficie de soldadura cuando se hace que el álabe oscile durante la soldadura. El talón de tamaño aumentado original y la raíz del álabe aumentada de tamaño en la medida correspondiente proporciona un área de superficie suplementaria para reducir la probabilidad de contaminación ambiental al nivel de la línea de soldadura resultante. El material suplementario retirado únicamente después de la soldadura por frotamiento típicamente se elimina con ella cualquier contaminación no deseable alrededor de la superficie de soldadura. Dado que los talones no tienen ya material suplementario para la operación de reparación, las superficies de soldadura quedan sometidas a la contaminación ambiental.

65 Estos problemas de la soldadura por frotamiento típica resultan exacerbados más aún por el contorno axial del reborde del disco que define la frontera de la trayectoria de flujo interior de los pasos de flujo entre los álabes adya-

## ES 2 324 858 T3

centes. En una típica configuración de etapas de entrada de un ventilador o de una estructuras disco-álabes unitaria de compresor, el reborde de la estructura disco-álabes unitaria aumenta de diámetro entre sus extremos delantero y trasero, y típicamente tiene un contorno arqueado entre ellos el cual puede tener una configuración genérica de S. De acuerdo con ello, la superficie de soldadura del talón típicamente sigue el perfil axial del reborde del disco para mantener la superficie de soldadura con el mayor tamaño posible.

Los álabes del compresor típicas tienen un grosor máximo en sus zonas de la cuerda media con unos bordes delantero y trasero adelgazados en la medida correspondiente, y típicamente disminuyen de grosor desde la raíz hasta la punta de aquéllos. El talón del reborde y la raíz del álabe por consiguiente tienen unas superficies de soldadura arqueadas de forma complementaria para potenciar al máximo el área superficial y reducir la distorsión durante el proceso de soldadura por frotamiento.

Dado que el plano de soldadura es arqueado, tanto el talón del reborde como la raíz del álabe requieren un maquinado preciso en tres dimensiones para crear una superficie de acoplamiento íntimo para obtener una soldadura por frotamiento completa. Y, la superficie de soldadura arqueada puede únicamente ser trasladada en la dirección axisimétrica circularmente alrededor del reborde del disco. Esta oscilación de frotamiento circular o lateral del álabe sobre su talón correspondiente resulta más difícil cuando se efectúa entre dos álabes adyacentes que han sido ya soldados a sus talones.

Un proceso de soldadura por frotamiento para una estructuras disco-álabes unitaria se indica en el documento EP 0 850 718 A1 que muestra el proceso llevado a cabo sobre una superficie de revolución axisimétrica convexa.

De acuerdo con ello, es deseable contar con una estructura disco-álabes unitaria que tenga una configuración mejorada del plano de soldadura para ofrecer ventajas tanto respecto de su fabricación original como durante su posterior reparación.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona una estructura disco-álabes unitaria de acuerdo con la reivindicación adjunta 1. Una fila de álabes se extiende hacia fuera desde el reborde en una estructura unitaria. Los álabes están separados dentro del reborde del disco para delimitar unos canales interiores ranurados de vías de flujo que se extienden axialmente entre los álabes para unir los correspondientes pasos de flujo entre ellos.

También se proporciona un procedimiento de fabricación de una estructura disco-álabes unitaria, de acuerdo con la reivindicación adjunta 7.

La invención, de acuerdo con formas de realización preferentes y ejemplares, junto con los objetivos y ventajas adicionales de la misma, se describen con mayor detenimiento en la descripción detallada subsecuente tomada en combinación con los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La Figura 1 es una vista isométrica de una porción de una estructura disco-álabes unitaria de un compresor de motor de turbina de combustión interna y de un procedimiento esquemático de fabricación de aquél.

La Figura 2 es una vista en sección radial de la estructura disco-álabes unitaria ilustrado en la Figura 1 y de una representación esquemática de la soldadura por frotamiento de traslación de aquél.

La Figura 3 es una vista en alzado de tamaño ampliado de una porción de la junta de soldadura entre el álabe y el disco ilustrada en la Figura 2 dentro del círculo en línea de puntos indicado con la referencia numeral 3.

La Figura 4 es una vista planiforme desde arriba de una porción de la estructura disco-álabes unitaria ilustrado en la Figura 2 que muestra tres álabes adyacentes que presentan unos canales ranurados interiores de vías de flujo que se extienden a lo ancho en círculo entre aquellos.

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

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

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 los álabes.

La Figura 8 es una vista isométrica, como la de la Figura 7, de la estructura disco-álabes unitaria que está siendo reparado de acuerdo con una forma de realización ejemplar.

En la Figura 1 se ilustra una porción de una estructura disco-álabes unitaria el cual es genéricamente axisimétrico alrededor de un eje geométrico de la línea central longitudinal o axial de aquél. La estructura disco-álabes unitaria está configurado para su uso en un motor de turbina de combustión interna, y se presenta en la forma de realización ejemplar de un compresor o de una estructura disco-álabes unitaria de ventilador para la presurización del aire durante su funcionamiento.

## ES 2 324 858 T3

La estructura disco-álabes unitaria incluye un disco anular 16 que incluye un reborde ensanchado 16a en sentido axial, un alma más estrecha 16b, y un cubo más ancho 16c formando una estructura unitaria.

5 Una fila de álabes 18 del rotor del compresor se extiende radialmente hacia fuera desde el reborde 16a formando una estructura unitaria o de una sola pieza con aquél para delimitar la estructura disco-álabes unitaria completo. Como se indicó anteriormente, los álabes son solidarios con el disco y no incluyen las ensambladuras a cola de milano típicas las cuales en otro caso permitirían su fácil retirada o inserción en forma de disco de álabes convencional.

10 Cada álabe puede tener cualquier configuración aerodinámica convencional para regularizar la presión del aire durante el funcionamiento y delimita con su vecino circular un correspondiente paso de flujo 20 a través del cual el aire es canalizado durante su funcionamiento. El reborde 16a del disco incluye un canal 22 de vía de flujo interior en medio de cada uno de los pares de álabes adyacentes el cual se extiende axialmente a lo largo de los álabes y entre los extremos delantero y trasero del reborde y dispuestos sobre los lados axialmente opuestos de aquéllos.

15 El canal interior 22 delimita la frontera radialmente interior del paso de flujo 20, y la frontera radialmente exterior del paso de flujo está típicamente delimitada por una envuelta o cubierta 24 de cualquier configuración convencional. De esta forma, cuando la estructura disco-álabes unitaria rota durante su funcionamiento por dentro de la cubierta fija 24 se definen unos correspondientes pasos de flujo 20 entre cada par de álabes a través de los cuales el aire es canalizado para ser presurizado o comprimido.

20 Cada álabe 18 incluye un lado de aspiración 26 genéricamente convexo y un lado circularmente opuesto de presión 28 genéricamente cóncavo que se extiende axialmente o linealmente 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 vías de flujo interiores están ranurados para conseguir sustanciales ventajas de fabricación, reparación y rendimiento aerodinámico.

30 Más concretamente, las estructuras discos-álabes unitarias tienen unas vías de flujo interiores axisimétricas las cuales constituyen unas superficies de revolución alrededor del eje geométrico axial de la línea central. Las superficies axisimétricas son convexas en la medida correspondiente hacia fuera y son fácilmente maquinadas durante el proceso de fabricación.

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

40 Cada uno de los canales ranurados 22 tiene un perfil o contorno genéricamente cóncavo que se extiende radialmente hacia dentro en dirección al eje geométrico 12 de la línea central, y varía en ese contorno axialmente a lo largo de los álabes fronterizos 18 entre los extremos delantero y trasero del reborde del disco. Mientras la vía de flujo interior axisimétrica típica de la estructura disco-álabes unitaria es genéricamente convexa, los canales ranurados son genéricamente cóncavos y opuestos a aquella.

45 Una ventaja particular de los canales ranurados 22 es la correspondiente mejora respecto de la elaboración o fabricación original de la estructura disco-álabes unitaria y su reparación. Más concretamente, el reborde 16a del disco ilustrado en las Figuras 1 y 2 incluye unos talones planos solidarios o unitarios 40 cada uno de los cuales presenta una superficie de soldadura plana o plano liso 42 el cual se acopla con la correspondiente raíz 34 del álabe, la cual es así mismo plana o lisa.

50 Los talones y las raíces son soldadas entre sí por fricción para constituir una junta unida por fusión o soldadura entre ellas para unir de manera integral todos los álabes al disco para formar su estructura unitaria o de una pieza. Los álabes soldados constituyen así parte integrante del disco y no son fácilmente desmontables del mismo sin una operación de maquinado o de corte.

55 Un rasgo característico concreto de esta estructura de la estructura disco-álabes unitaria es la disposición del plano de soldadura 42 dentro de las nervaduras 38, en lugar de su disposición radial hacia fuera respecto de aquél en secciones más delgadas del álabe o talón resultante. Como se indicó anteriormente, la soldadura por frotamiento de traslación requiere unas fuerzas de frotamiento considerables entre un álabe y el talón del reborde, si los talones son demasiados estrechos o delgados entonces puede producirse una deformación no deseable del álabe y del talón durante el proceso lo que puede afectar negativamente a la configuración final del álabe soldado. Unos talones débiles son propensos a distorsionarse, por lo que se desea unos talones fuertes.

60 Como se indicó así mismo con anterioridad, los talones y las raíces de los álabes pueden ser inicialmente fabricados con un pertinente aumento de tamaño para incrementar su resistencia para soportar el proceso de soldadura por frotamiento, pero no puede disponerse de dicho aumento de tamaño de los talones en una subsecuente reparación.

## ES 2 324 858 T3

De acuerdo con ello, mediante la colocación inicial de los planos de soldadura 42 dentro de las nervaduras de los talones 40, la anchura adicional del talón al nivel de las nervaduras incrementa de manera sustancial la resistencia de aquél y soporta mejor las elevadas fuerzas de la soldadura por frotamiento.

5 Sin embargo, la colocación de los planos de soldadura dentro de las nervaduras de los talones 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 podrían fácilmente ser utilizados unos talones rectos con unas nervaduras uniformemente pequeñas.

10

Sin embargo, el reborde 16a del disco ilustrado en las Figuras 1 y 2 es representativo de unas estructuras disco-álabes unitarias del compresor en los cuales el reborde aumenta de diámetro entre sus extremos delantero y trasero y no es simplemente cilíndrico. De acuerdo con ello, los canales ranurados 22 divergen en la medida correspondiente en dirección radial hacia fuera entre los extremos delantero y trasero del reborde del disco y en la medida correspondiente aumentan en cuanto a su radio desde el eje geométrico de la línea central de la estructura disco-álabes unitaria. No obstante el perfil axialmente variable del reborde del disco, los planos de soldadura 42 permanecen lisos o planos y están convenientemente inclinados para modificarse en cuanto a su distancia radial respecto tanto del eje geométrico de la línea central de la estructura disco-álabes unitaria, como respecto de los correspondientes canales ranurados 22 que se extienden en dirección axial entre los extremos opuestos del reborde del disco.

15

Dado que el reborde del disco varía en cuanto a su diámetro y contorno entre sus extremos delantero y trasero, un talón convencional también experimentaría una variación en cuanto a su contorno para mantener una nervadura 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 de aquél. Sin embargo, los talones de contorno variable derivados de aquellos talones no resultan deseables por las diversas razones expuestas con anterioridad.

20

Tampoco resulta deseable la simple introducción de un talón 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 linealmente entre ellos en emplazamientos radialmente hacia fuera respecto de las nervaduras de los talones. No resulta deseable simplemente incrementar el tamaño de las nervaduras para obtener el plano de soldadura de diámetro variable porque esas nervaduras directamente afectan al rendimiento aerodinámico de los álabes incluyendo el área de flujo requerida de los pasos.

25

De acuerdo con ello, 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 su entera extensión entre los bordes delantero y trasero del álabe mientras que está situado dentro de las correspondientes nervaduras 38 para mantener la integridad estructural de los talones y la resistencia a la soldadura por frotamiento sin comprometer el rendimiento aerodinámico. Como se muestra en las Figuras 1 y 2, los canales ranurados 22 varían en profundidad radial de modo preferente en sentido no lineal entre los extremos delantero y trasero del reborde del disco, y el plano de soldadura 42 varía en la medida correspondiente en posición radial dentro de las nervaduras 38 en dirección axial entre los extremos opuestos del reborde.

30

Como se muestra inicialmente en la Figura 1, los canales ranurados 22 varían en cuanto a superficie o contorno circular, y tienen una profundidad máxima en sección sesgada o desviada hacia los lados de aspiración 26 de los álabes 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 la estructura disco-álabes unitaria para adaptarlo a los objetivos contradictorios de la superficie de soldadura plana dentro de las nervaduras correspondientemente pequeñas con un reborde del disco de diámetro variable y con un contorno axial entre sus extremos delantero y trasero.

35

Más concretamente, la Figura 1 ilustra así mismo de manera esquemática un procedimiento de fabricación de la estructura disco-álabes unitaria 10 de acuerdo con una forma de realización preferente. El disco 16 sin los álabes es inicialmente fabricado de cualquier forma convencional como por ejemplo mediante forjado y maquinado para producir los talones planos deseados 40 que se extienden en dirección radial hacia fuera desde el reborde del disco, de modo preferente con su tamaño convenientemente aumentado.

40

Los álabes individuales 18 son fabricados de cualquier forma convencional, como por ejemplo mediante forjado y maquinado de acuerdo con las necesidades específicas. De esta forma la fabricación individual de los álabes permite el control preciso de las distintas dimensiones de aquellos sin la obstrucción por parte de cualquier otro álabe o del disco lo cual típicamente tiene lugar en el maquinado de la estructura disco-álabes unitaria y de los álabes a partir de una pieza semielaborada corriente.

45

Cada álabe 18 está de modo preferente fabricado con un collarín de fijación solidario 44 dispuesto en íntima proximidad en dirección radial por encima de la raíz plana 34 de aquél. El equipamiento de soldadura 46 por frotamiento de traslación de cualquier configuración convencional se utiliza a continuación para la soldadura por frotamiento de la raíz plana 34 con el correspondiente talón plano 40 para cada uno de los álabes mediante la traslación y el desplazamiento en vaivén del collarín 44 en dirección axial o lineal. Como se muestra en general en las Figuras 1 y 2, y con mayor detalle en la Figura 3, el equipamiento de la soldadura produce una fuerza de compresión o recaladura F dirigida en dirección radial hacia dentro del collarín 44 para crear unas fuerzas de frotamiento considerables cuando

50

5 Cada álabe 18 está de modo preferente fabricado con un collarín de fijación solidario 44 dispuesto en íntima proximidad en dirección radial por encima de la raíz plana 34 de aquél. El equipamiento de soldadura 46 por frotamiento de traslación de cualquier configuración convencional se utiliza a continuación para la soldadura por frotamiento de la raíz plana 34 con el correspondiente talón plano 40 para cada uno de los álabes mediante la traslación y el desplazamiento en vaivén del collarín 44 en dirección axial o lineal. Como se muestra en general en las Figuras 1 y 2, y con mayor detalle en la Figura 3, el equipamiento de la soldadura produce una fuerza de compresión o recaladura F dirigida en dirección radial hacia dentro del collarín 44 para crear unas fuerzas de frotamiento considerables cuando

55

## ES 2 324 858 T3

el collarín 44 es oscilado sometido a la fuerza de traslación T en un desplazamiento rápido para fundir localmente la raíz del álabe con el talón del reborde para constituir una junta de soldadura a lo largo del plano de la soldadura.

5 Como se muestra en las Figuras 3 y 4 la traslación del álabe 18 durante el proceso de soldadura por frotamiento se produce de modo preferente en la dirección lineal a lo largo de la extensión mayor del talón 40 en cuanto opuesta a su anchura circular sustancialmente más estrecha. De esta manera, cuando se hace oscilar el álabe durante la soldadura por frotamiento, tal y como se ilustra en la Figura 3, solo porciones pequeñas de los bordes opuestos delantero y trasero del álabe al nivel de las raíces 34 quedan expuestas al entorno para reducir de manera sustancial la contaminación medioambiental del plano de la soldadura. Ambos lados de la raíz 34 del álabe permanecen directamente en contacto a lo largo de ambos lados del talón 40 durante el proceso de soldadura con la correspondiente escasa posibilidad de contaminación ambiental en el plano de la soldadura.

15 A medida que continúa el proceso de soldadura por frotamiento, las superficies de metal de la raíz y del talón del álabe se funden entre sí constituyendo una soldadura fuerte a lo largo de la entera extensión planar de las superficies de la soldadura dando como resultado unas rebabas de aplastamiento 48 de la soldadura las cuales 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 frotamiento.

20 Como se ilustra en la Figura 1, una fresa o una herramienta para rectificar 50 puede a continuación ser utilizada para desprender el collarín 44 y las rebabas 48 de la soldadura existentes en el plano 42 de la soldadura para completar o maquinarse finalmente las raíces del álabe y de las nervaduras 38 situadas en aquél punto.

25 La Figura 5 ilustra con mayor detalle una sección ejemplar del contorno ranurado 22 cerca de los bordes delanteros de los álabes, y el proceso de fabricación preferente de aquellos. Así mismo se indica en la Figura 5 la adición local de un material suplementario 52 en ambos lados de la raíz del álabe 34 y del talón complementario 40 utilizado durante la fabricación original, si se desea, la cual es finalmente maquinada después del proceso de soldadura para obtener las dimensiones finales deseadas del contorno ranurado 22 y de las nervaduras 38. El material suplementario 52 puede ser utilizado en el punto concreto que se desee en los talones o en las raíces de los álabes así como a lo largo del entero reborde del disco o no utilizarse si no se desea.

30 La Figura 5 ilustra así mismo, de manera esquemática, un procedimiento preferente de fabricar el disco para la obtención del emplazamiento del plano de soldadura 42 dentro de las nervaduras 38 de los talones, y el contorno ranurado resultante del canal interior 22 de la vía de flujo entre los álabes y talones adyacentes.

35 Como se indicó con anterioridad, los álabes 18 y sus canales interiores 22 de las vías de flujo delimitan en su mayor parte los pasos de flujo 20 dispuestos entre ellos a través de los cuales es canalizado durante su funcionamiento. La configuración del paso de flujo está delimitada por los contornos de los álabes y por el canal interior 22, y se encuentran habitualmente disponibles distintos instrumentos analíticos para delimitar la configuración de la vía de flujo para obtener un rendimiento aerodinámico óptimo en cada etapa del ventilador o compresor de acuerdo con lo proceda.

40 Los instrumentos analíticos convencionales incluyen unos códigos o un software computacional aerodinámico de dos dimensiones para definir la configuración de las vías de flujo y de la forma de los álabes de acuerdo con las exigencias o rendimiento aerodinámico específico de la etapa.

45 Así mismo puede disponerse habitualmente de unos códigos o de un software computacional aerodinámico de tres dimensiones para la determinación de la configuración de las vías de flujo de acuerdo con las exigencias del rendimiento aerodinámico deseadas. Sin embargo, la computación en tres dimensiones es sustancialmente más compleja que la computación en dos dimensiones y, por consiguiente, requiere un esfuerzo y un periodo de tiempo computacional mayor, con su coste correspondiente. De acuerdo con ello, con independencia del tipo de software computacional disponible, el disco 16 es en un primer momento evaluado mediante la delimitación de manera analítica del contorno ranurado deseado de los canales interiores 22 de las vías de flujo entre los talones 40 del reborde del disco para conseguir el rendimiento aerodinámico óptimo requerido por la estructura disco-álabes unitaria, incluyendo las correspondientes áreas de flujo y la cobertura o contornos de la superficie de los pasos de flujo 20 entre los álabes. Pueden utilizarse unos códigos computacionales de tres dimensiones en una computadora programable de manera digital para determinar de forma simultánea el contorno ranurado requerido del canal 22 en combinación con las nervaduras 38, con los planos de soldadura 42 dispuestos en su interior.

50 Mediante la predeterminación del contorno ranurado requerido, el disco 16 puede a continuación ser fabricado de cualquier forma convencional, con los talones 40 y los canales 22 correspondiéndose con el contorno ranurado determinado de forma analítica de aquél, para situar los planos de soldadura 42 dentro de las nervaduras 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 del disco, y, por consiguiente, la delimitación analítica de éste debe incluir todas las secciones a lo largo de la completa extensión axial de los álabes y los talones, mientras que ambos mantienen la superficie de soldadura lisa o plana dentro de las correspondientes nervaduras sin comprometer el rendimiento aerodinámico.

## ES 2 324 858 T3

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

5 Un procedimiento simplificado puede ser utilizado para delimitar 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 delimitar un contorno aerodinámico 54 para conseguir el rendimiento aerodinámico deseado u óptimo y los correspondientes contornos de superficie y de las áreas de flujo de los pasos 20, con independencia del emplazamiento de los planos de soldadura 42.

10 Como se indicó con anterioridad, pueden encontrarse disponibles habitualmente códigos informáticos de dos dimensiones para su uso en una computadora programable digital para representar en dos dimensiones el rendimiento aerodinámico de la estructura disco-álabes unitaria para delimitar el contorno aerodinámico de los pasos 54 de los pasos de flujo, incluyendo los canales de flujo fronterizos interno para el correspondiente rendimiento aerodinámico que incluya la distribución de la presión estática deseada dentro de los pasos de flujo. Si se desea, pueden ser utilizados unos códigos aerodinámicos en tres dimensiones para delimitar el contorno aerodinámico inicial 54.

15 El contorno aerodinámico 54 está típicamente delimitado como una superficie de revolución destinada a la vía de flujo interior de los pasos 20 y es axisimétrica alrededor del eje geométrico del eje centro de la estructura disco-álabes unitaria. Este contorno aerodinámico está así mismo delimitado por los correspondientes lados de la presión y de la aspiración de los álabes adyacentes.

20 Dado que el contorno aerodinámico 54 debe de forma necesaria ir al unísono con el incremento del diámetro del reborde del disco desde sus extremos delantero y trasero tal como se ilustra en la Figura 2, el perfil axial resultante de aquél, tiene forma genérica de S lo cual se traduce en la medida correspondiente en una distancia radial variable con respecto al plano de soldadura 42 liso o recto deseado.

25 De acuerdo con ello, la posición de plano de soldadura 42 puede ser elegida con cualquier ajuste óptimo apropiado o en base a un razonamiento técnico fundamentado con respecto al contorno aerodinámico analíticamente producido 54 con la finalidad de situar el plano de soldadura relativamente próximo a la vía de flujo interior dentro de las nervaduras deseadas en comunicación con aquella.

30 De esta manera, el plano de soldadura 42 queda situado dentro de las nervaduras apropiadas 38 de la configuración convencional con fines de fabricación, pero el contorno de referencia 56 no tiene ninguna utilidad aerodinámica excepto la que proporcionan las nervaduras. Las nervaduras se utilizan generalmente al nivel de las uniones de los elementos estructurales con el fin de reducir la concentración de esfuerzos en esos puntos. Las nervaduras típicas pueden incorporar un único o múltiples radios en transición, o pueden disponerse en incontables variables en cuanto al radio de acuerdo con lo deseado para una concreta unión entre los elementos estructurales.

35 En una estructura de estructura disco-álabes unitaria típica, el reborde de la estructura disco-álabes unitaria es axisimétrico con una superficie de revolución de diámetro habitual entre los álabes la cual a continuación efectúa una transición de manera brusca en los álabes que se extienden en sentido radial hacia fuera. La brusquedad de la transición resulta suavizada mediante el empleo de las nervaduras apropiadas en los puntos de transición con objeto de mejorar el rendimiento estructural y aerodinámico.

40 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 dentro de las correspondientes nervaduras 48 en todas las secciones axiales del talón entre los extremos delantero y trasero del reborde del disco tal como se representa mediante las secciones ejemplares 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 probaturas dentro de las nervaduras correspondientes 38 en cada sección de los talones existentes entre los extremos del reborde.

45 En cada emplazamiento axial de los talones entre los extremos del disco, habrá probablemente una diferencia entre el área del paso, tal como se delimita mediante el contorno de referencia 56 y el área requerida para obtener el rendimiento aerodinámico de acuerdo con lo delimitado por el contorno aerodinámico 54.

50 El contorno ranurado 22 se delimita inicialmente entre las nervaduras 38 del contorno de referencia 56 para que se corresponda con el área de flujo del contorno aerodinámico 54. Como se muestra en la Figura 5, las nervaduras 38 del contorno de referencia reducen (-) el área de flujo local con respecto al contorno aerodinámico, y el contorno ranurado está configurado para que incorpore unas ranuras o rebajos cóncavos que se extiendan en dirección radial hacia dentro para proporcionar localmente un área de flujo adicional (+) para compensar la pérdida del área de flujo debida a la forma deseada de las nervaduras.

55 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 las nervaduras, 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

## ES 2 324 858 T3

trasero de los bordes del disco. Las Figuras 5 a 7 son representaciones exageradas de forma considerable de estos dos contornos 54, 56 únicamente con fines de ilustración.

5 No obstante, los dos contornos 54, 56 son intrínsecamente axisimétricas por la práctica de diseño descrito con anterioridad mientras que el contorno ranurado 22 no es intrínsecamente una superficie de revolución no 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.

10 Como se muestra en la Figura 5, las nervaduras 38 pueden resultar delimitadas en combinación con el contorno de referencia 56 para la localización de los planos de soldadura 42 dentro de las nervaduras para potenciar al máximo la resistencia de los talones destinados a la soldadura por frotamiento. Como se indicó con anterioridad, no es deseable emplazar los planos de soldadura 42 en dirección radial hacia fuera respecto de las nervaduras en cualquier emplazamiento a lo largo de la extensión axial de los talones individuales 40 a la vista del grosor más pequeño en la medida correspondiente del talón lo que daría como resultado una deformación no deseable de aquél durante el proceso de soldadura por frotamiento.

15 Sin embargo, aunque el contorno de referencia 56 se corresponde con las nervaduras deseables 38, el resto del contorno de referencia existente entre las nervaduras opuestas dentro de cada paso de flujo 20 no alcanza el rendimiento aerodinámico óptimo para el paso del flujo, y típicamente incluye un área de paso diferente a la del área de flujo de paso óptima.

20 De acuerdo con ello, el contorno deseado del canal ranurado 22 puede ser obtenido mediante la alteración local de la vía de flujo interior existente entre las nervaduras 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 como el determinado de forma analítica para el contorno aerodinámico 54.

25 Después de la delimitación de 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 aquéllos. La configuración del contorno ranurado 22 entre las nervaduras 38 puede a continuación ser modificada de manera iterativa, junto con la de los álabes, para potenciar al máximo el rendimiento aerodinámico, con independencia del paso del flujo.

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

35 Tal y como se ilustra en la Figura 5, las nervaduras 38 situadas 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 del flujo. De acuerdo con ello, 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 las nervaduras izquierda y derecha. De esta manera, el área de paso del flujo puede inicialmente ser mantenida mediante el ajuste del contorno de la vía de flujo interior situado entre los contornos deseados de las dos nervaduras 38 para mantener el área total de paso del flujo prevista para el contorno aerodinámico 54. Y entonces, el contorno del canal ranurado 22 puede potenciarse al máximo en mayor medida sin restringir el área de paso del flujo.

40 La Figura 5 ilustra el contorno del canal ranurado 22 cerca de los bordes delanteros de los álabes situados en el extremo delantero del reborde del disco, teniendo el canal 22 una profundidad máxima situada en términos generales en la mitad circular existente entre los dos talones adyacentes 40. De modo preferente, el extremo delantero del reborde del disco es circular, y el canal ranurado 22 comienza en ese punto y aumenta de profundidad en la dirección corriente abajo de acuerdo con lo requerido para potenciar al máximo el rendimiento aerodinámico del paso del flujo entre los álabes adyacentes.

45 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 del disco, estando la profundidad máxima del canal ranurado inclinada más próxima hacia el lado 26 de la aspiración de los álabes con respecto al lado 28 de la presión del álabe adyacente.

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

55 Y, la Figura 7 ilustra otro contorno diferente del canal ranurado 22 cerca de los bordes traseros del álabe situados en el extremo trasero del reborde del 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 nervadura del lado de la presión del álabe adyacente. Debe destacarse la pérdida (-) de área del flujo cerca de la

## ES 2 324 858 T3

nervadura del lado de la aspiración, el izquierdo, con un incremento (+) compensatorio en el área del flujo existente cerca de la nervadura del lado de la presión, el derecho.

5 Las Figuras 4 a 7 ilustran que el plano de soldadura 42 puede estar situado dentro de las nervaduras que lindan con cada talón 40 a lo largo de la entera extensión de los talones individuales no obstante el diámetro variable del canal ranurado el cual típicamente se incrementa entre los extremos delantero y trasero del reborde del disco. El plano de soldadura 42 permanece liso y dentro de las nervaduras 38 a lo largo de la extensión axial total de los talones no obstante las variaciones en cuanto al radio del canal ranurado, variando el contorno circular del canal ranurado cuando se requiera para obtener el rendimiento aerodinámico óptimo deseado en cada sección axial del reborde del disco  
10 mientras se efectúa una fusión suave con las nervaduras correspondientes 38 las cuales llevan a cabo la transición de los talones con los correspondientes extremos de las raíces de los álabes individuales.

En las diversas configuraciones del canal ranurado ilustrado en las Figuras 5 a 7, el perfil específico de las nervaduras 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 del flujo con respecto al contorno aerodinámico deseado de paso del flujo para conseguir un rendimiento aerodinámico óptimo.  
15

Como se ha indicado con anterioridad, una razón fundamental para la reconfiguración del canal interior 22 de la vía de flujo es permitir la posterior reparación de la estructura disco-álabes unitaria mediante la sustitución de los álabes individuales mediante el empleo de proceso de soldadura por frotamiento de traslación. Tal y como se ilustra de forma esquemática en la Figura 8, la estructura disco-álabes unitaria puede ser reparado mediante la retirada de uno o más de los álabes dañados 18d extrayéndolos del reborde del 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 fresa convencional 50, por ejemplo, para dejar el talón plano 40 en una configuración  
20 muy parecida a la del talón original, excepto por el hecho de que no queda lateralmente aumentado de tamaño.

Un álabe de repuesto 18r, sustancialmente idéntico al álabe original, incluye el collarín de fijación 44 cerca del extremo de su raíz, el cual es montado de la manera conveniente dentro de la máquina de soldadura por frotamiento de traslación 46, la cual es a continuación utilizada para la soldadura por frotamiento del álabe de repuesto sobre el talón para de nuevo trasladar de forma lineal el collarín de la misma manera a la anteriormente descrita con referencia a la Figura 1.  
25

Dado que el plano de soldadura 42 está situado dentro de las nervaduras opuestas 38 situadas a ambos lados de aquél, el talón 40 es relativamente rígido y permite una soldadura por frotamiento sin una distorsión no deseable de aquél bajo las considerables cargas de recalcadura aplicadas.  
30

La reparación del álabe individual se completa entonces mediante la separación mecánica del collarín de fijación 44 respecto del álabe de repuesto, y la separación mecánica de las rebabas de soldadura 48 retirándolas del plano de soldadura para conseguir que la raíz del álabe tenga un contorno sustancialmente igual al de las nervaduras originales 38 o ligeramente inferior de acuerdo con lo que exija la reparación.  
35

Mediante la simple introducción del canal ranurado 22 que delimita la frontera interior de la vía de flujo entre los álabes adyacentes de la estructura disco-álabes unitaria, la superficie de soldadura 42 puede ser lisa o plana a lo largo de su entera extensión axial y permanecer dentro de las nervaduras de refuerzo estructural 38 sobre los lados opuestos de aquéllas. La soldadura por frotamiento de traslación de los álabes individuales con los talones correspondientes se lleva cabo con facilidad con las ventajas descritas con anterioridad, mientras que la estructura disco-álabes unitaria resultante mantiene un óptimo rendimiento aerodinámico.  
40

Una ventaja adicional de la utilización de los canales ranurados 22 es que sus tres contornos en tres dimensiones pueden ser utilizados con ventaja para el incremento del rendimiento aerodinámico de las estructuras disco-álabes unitaria más allá del rendimiento posible respecto de las vías de flujo interiores axisimétricas convencionales de los estructuras discos-álabes unitarias típicos.  
45

El grado adicional de libertad que posibilita la vía de flujo no axisimétrica puede ser utilizado para mejorar el rendimiento aerodinámico mediante un mejor control del flujo cerca del cubo mediante unas distribuciones potenciadas al máximo del área de paso y de la curvatura de las superficies. Este rendimiento mejorado puede ser obtenido con la importante constricción adicional del mantenimiento del desplazamiento de las nervaduras con respecto a la soldadura. Y, mediante el control cuidadoso del emplazamiento de la soldadura con respecto al esfuerzo tangencial constante máximo en el reborde del disco, la forma de la vía de flujo a lo largo de una sección normal con respecto a la dirección del flujo primaria puede resultar eficaz para reducir el esfuerzo tangencial máximo dentro de la nervadura.  
50

## REIVINDICACIONES

1. Una estructura disco-álabes unitaria (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 estructura unitaria con éste para delimitar entre ellos unos correspondientes pasos de flujo (20); incluyendo el reborde (16a) del disco unos talones solidarios (40) que presentan una superficie de soldadura plana (42) que se complementa con una correspondiente raíz (34) del álabe

10 y

15 dicho reborde del disco incluye unos canales interiores (22) de vía de flujo ranurados que se extienden axialmente entre dichos álabes para deslindar dichos pasos (20) y **Caracterizado** por extenderse cada uno de dichos canales ranurados en círculo entre los álabes adyacentes y presentar entre ellos un contorno circularmente cóncavo.

20 2. Una estructura disco-álabes unitaria de acuerdo con la reivindicación 1 en el que cada uno de dichos canales ranurados (22) se une con dichos álabes al nivel de unas correspondientes nervaduras arqueadas (38).

3. Una estructura disco-álabes unitaria de acuerdo con la reivindicación 2 en el que cada uno de dichos canales ranurados (22) es asimétrico circularmente entre dichos álabes (18).

25 4. Una estructura disco-álabes unitaria de acuerdo con la reivindicación 2 en el que dicho contorno cóncavo varía axialmente a lo largo de dichos álabes (18).

30 5. Una estructura disco-álabes unitaria de acuerdo con la reivindicación 2 en el que dicho reborde (16a) del disco incluye unos talones solidarios (40) cada uno de los cuales tiene un plano de soldadura (42) soldado con una raíz plana (34) de un correspondiente álabe (18), y dicho plano de soldadura está dispuesto dentro de dichas nervaduras (38).

35 6. Una estructura disco-álabes unitaria de acuerdo con la reivindicación 5 en el que dicho reborde (16a) del disco incluye unos extremos delantero y trasero axialmente opuestos; dichos canales ranurados (22) divergen radialmente hacia fuera entre ellos, y dichos planos de soldadura (42) varían en distancia radial respecto de dichos extremos delantero y trasero del reborde.

7. Un procedimiento de fabricación de una estructura disco-álabes unitaria (10) de acuerdo con la reivindicación 5 que comprende:

40 la fabricación de dicho disco (16) con unos talones planos (40) que se extienden hacia fuera desde dicho reborde (16a);

45 la provisión para cada uno de dichos canales ranurados (22) que se extienden en círculo entre álabes adyacentes de un contorno circular entre ellos, la fabricación de cada uno de dichos álabes (18) con un collarín de fijación solidario (44) dispuesto por encima de dicha raíz plana (34) de aquellos;

la soldadura por frotamiento de dicha raíz plana (34) con dicho talón plano (40) para cada uno de dichos álabes mediante la traslación de dicho collarín (44) linealmente; y

50 el maquinado de dicho collarín y de las rebabas de soldadura (48) en dicho plano de soldadura (42) para completar dichas nervaduras (38) al nivel de aquél plano.

8. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7 en el que dicho disco (16) es fabricado mediante:

55 la delimitación de forma analítica del contorno de dicho canal ranurado (22) entre dichos talones (40) para conseguir el rendimiento aerodinámico requerido mediante dicha estructura disco-álabes unitaria, incluyendo las correspondientes áreas de flujo y el contorno de superficie de dichos pasos de flujo entre dichos álabes;

60 y

la fabricación de dicho disco (16) con dichos talones (40) y canales (22) correspondiente con dicho contorno ranurado de aquellos para situar dichos planos de soldadura dentro de dichas nervaduras (38).

65

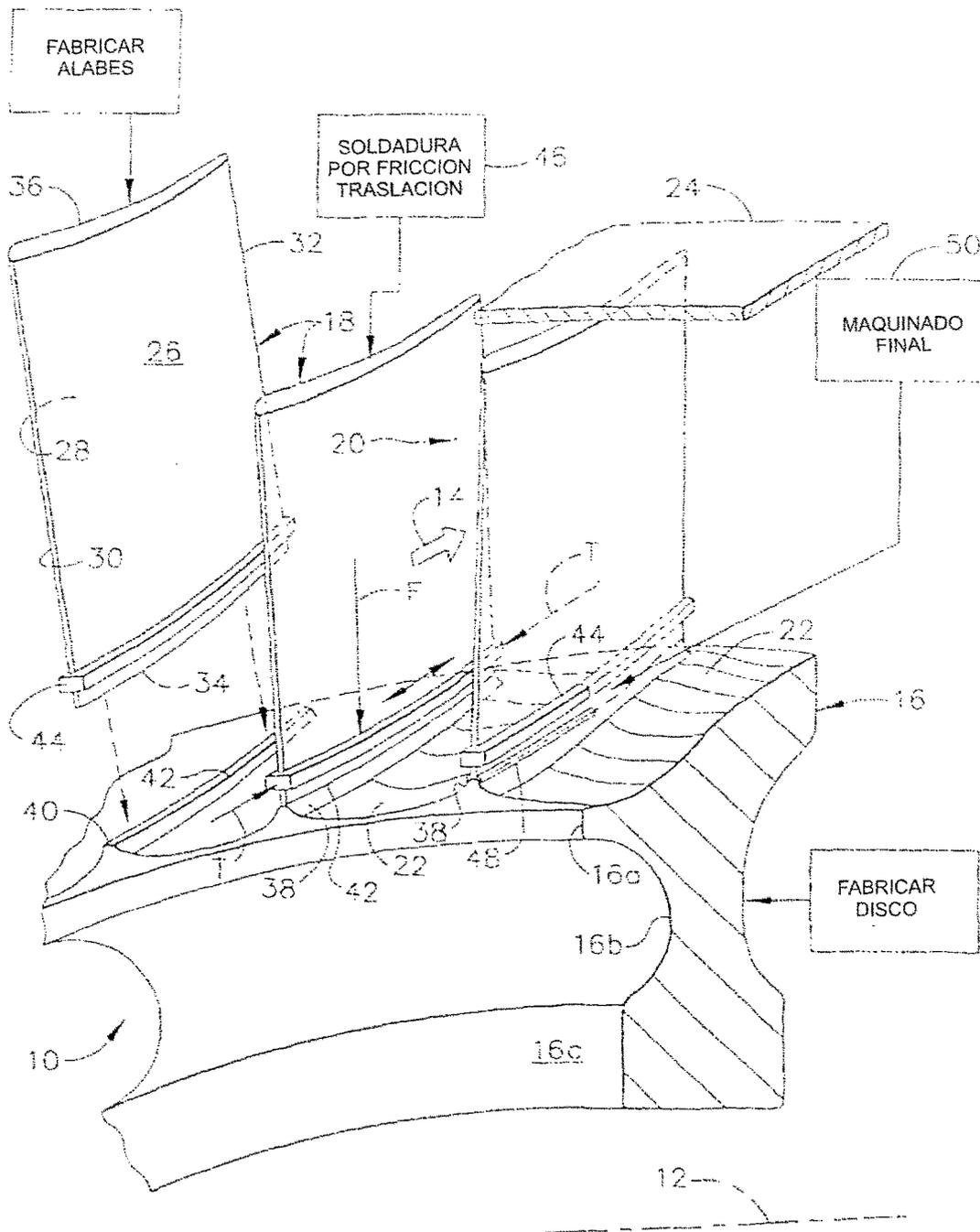


FIG. 1

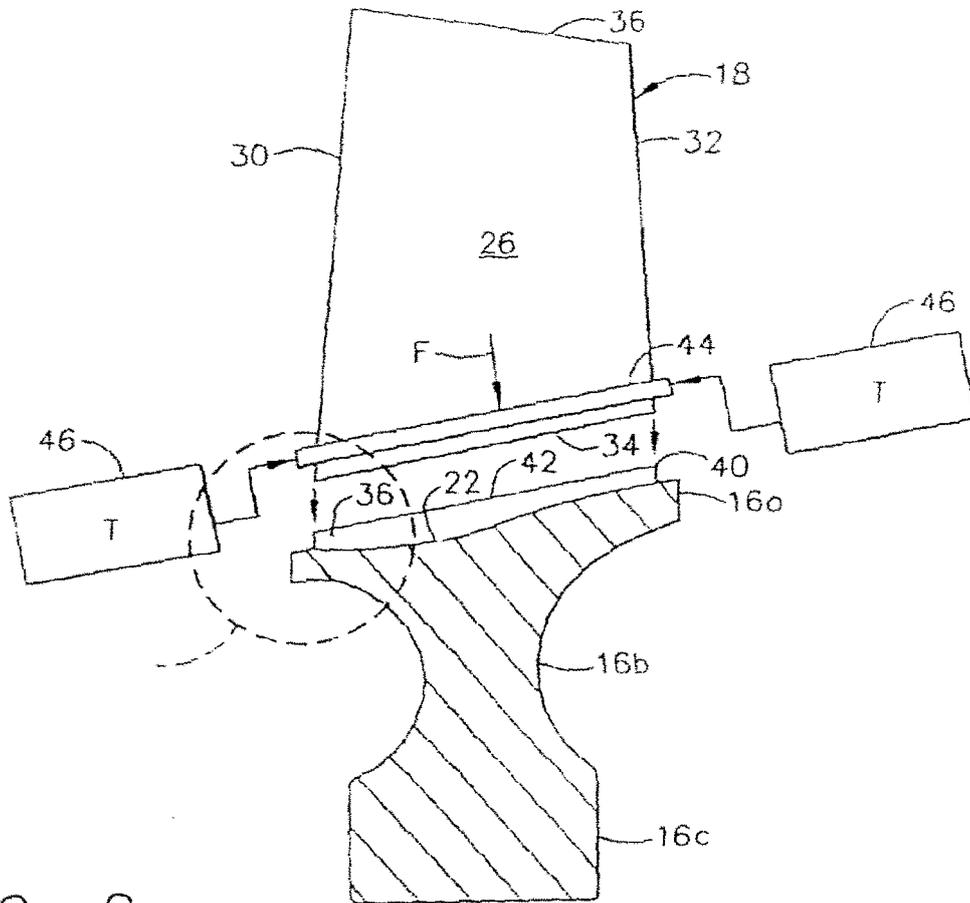


FIG. 2

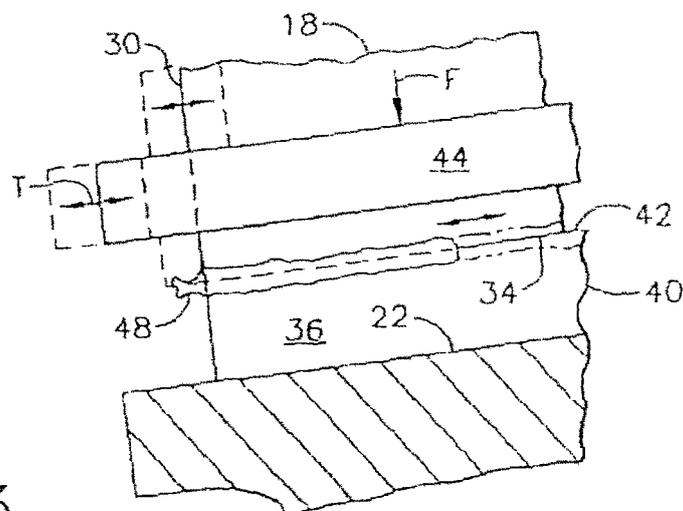


FIG. 3

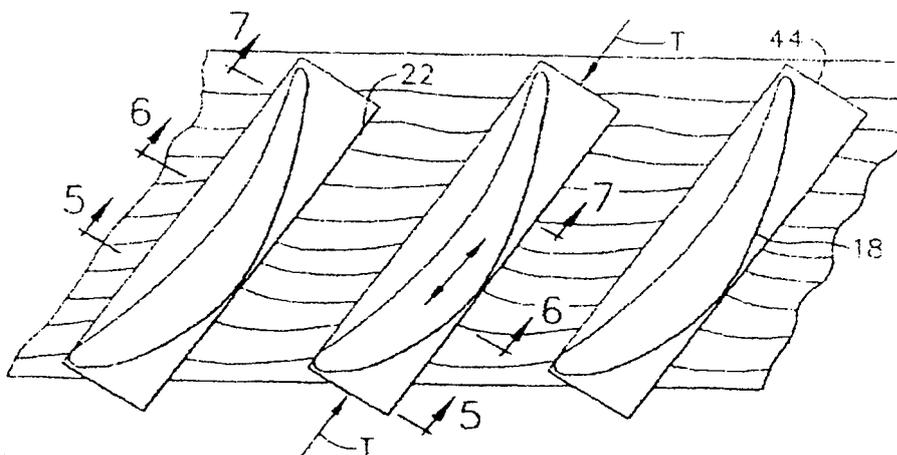


FIG. 4

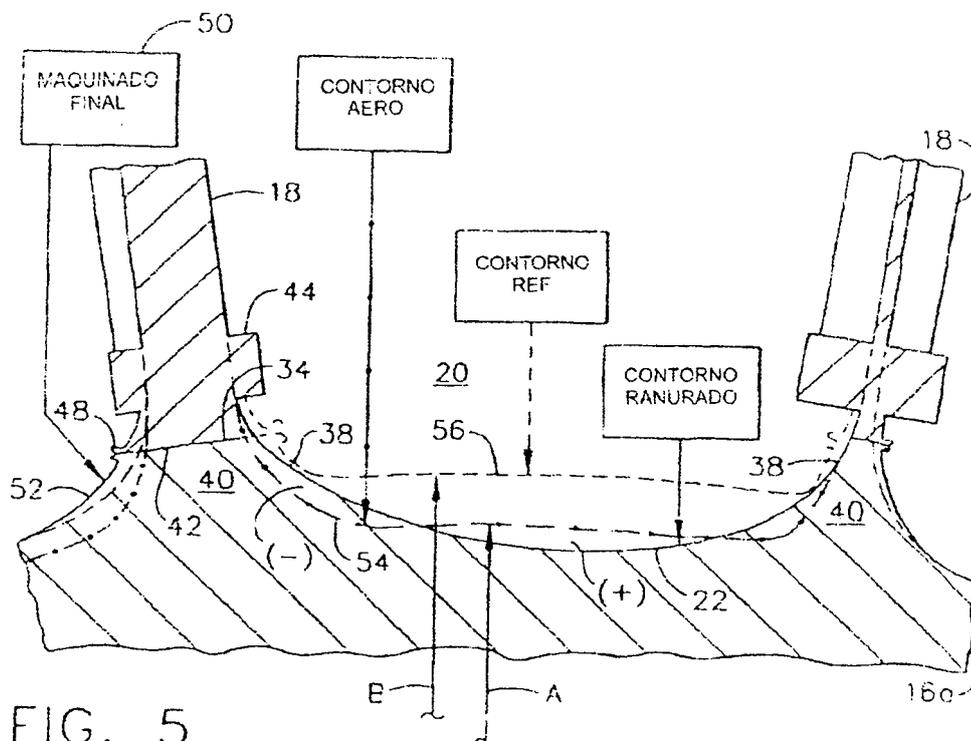


FIG. 5



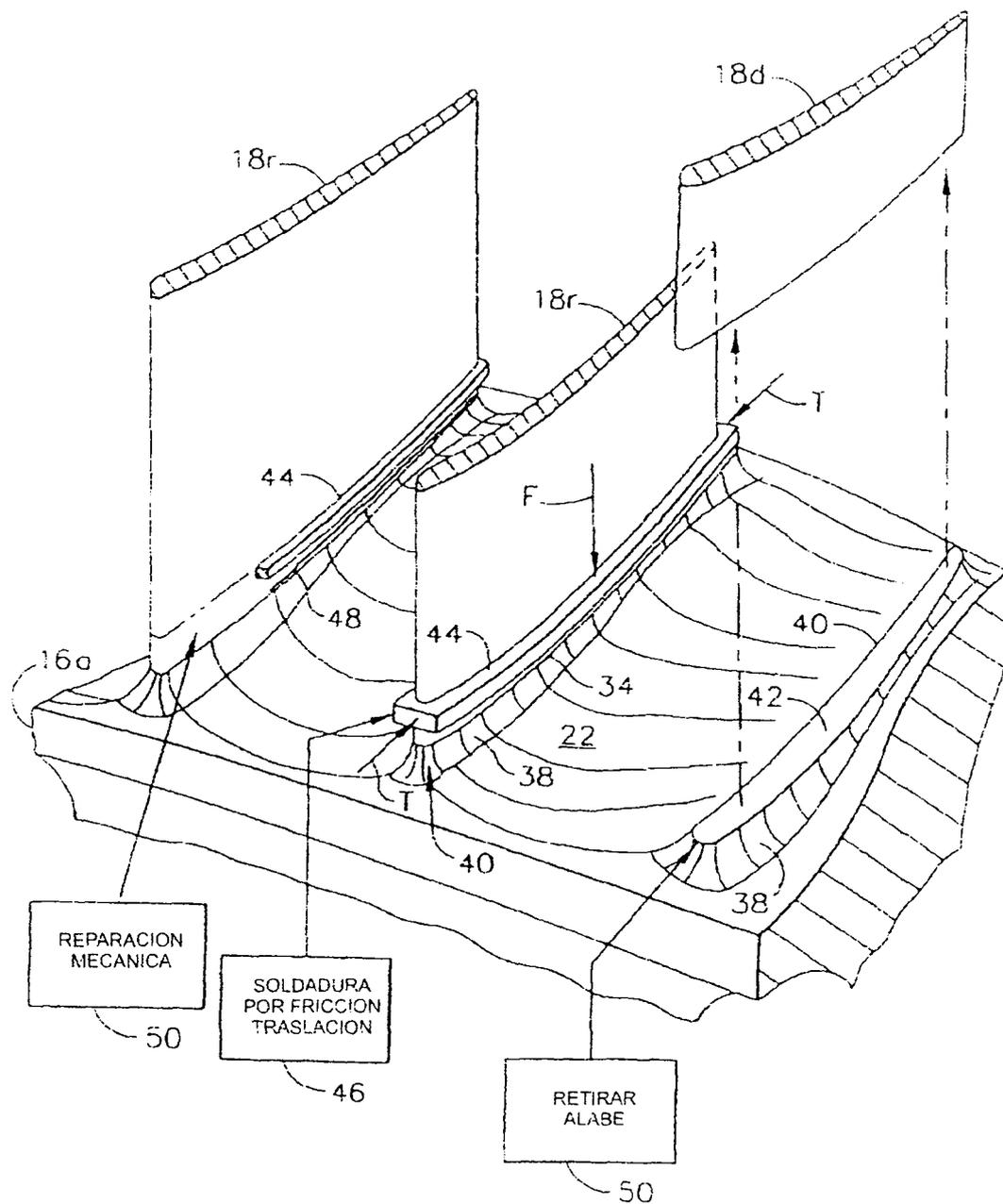


FIG. 8