

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 794 789**

51 Int. Cl.:

**F01D 1/06** (2006.01)

**F01D 3/00** (2006.01)

**F01D 5/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.03.2017 PCT/IB2017/051783**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.10.2017 WO17168334**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.03.2017 E 17722154 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2020 EP 3436666**

54 Título: **Turbomáquina radial con compensación de empuje axial**

30 Prioridad:

**30.03.2016 IT UA20162125**

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

**19.11.2020**

73 Titular/es:

**EXERGY S.P.A. (100.0%)  
Via Degli Agresti, 6  
40123 Bologna, IT**

72 Inventor/es:

**SPADACINI, CLAUDIO y  
RIZZI, DARIO**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 794 789 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Turbomáquina radial con compensación de empuje axial

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a una turbomáquina radial con compensación de empuje axial. La presente invención se refiere en particular a un sistema y a un método para equilibrar el empuje axial en turbomáquinas radiales.

10 La turbomáquina radial significa una turbomáquina en la que el flujo del fluido con el que intercambia energía se dirige en una dirección radial para al menos parte de la trayectoria completada en la propia turbomáquina. La parte radial de la trayectoria está delimitada por una pluralidad de anillos de rotor con palas montados en un disco del rotor y posiblemente también anillos de estator, a través de los que el fluido se mueve predominantemente a lo largo de una dirección radial en relación con un eje de giro de la turbomáquina.

15 Un "anillo con palas" comprende una pluralidad de palas dispuestas equidistantes con respecto a un eje central de la turbomáquina. Las palas se extienden con sus bordes de ataque y de salida paralelos o sustancialmente paralelos al eje central. El anillo con palas puede tener la función de un estator (se fija en relación con una carcasa de la turbomáquina y sus palas son palas del estator) o un rotor (es decir, gira y sus palas son palas de rotor y, por lo tanto, el eje central es el eje de giro).

20 La presente invención puede aplicarse tanto a turbomáquinas centrífugas radiales (de flujo de salida) como centrípetas (de entrada). La presente invención se puede aplicar tanto a las turbomáquinas de accionamiento (turbinas) como a las de operación (compresores). Preferentemente, aunque no exclusivamente, la presente invención se refiere a turbinas de expansión. Preferentemente, aunque no exclusivamente, la presente invención se aplica a turbomáquinas radiales con un solo disco o dos discos contra-giratorios. Preferentemente, aunque no exclusivamente, la presente invención se refiere a una turbina de expansión para la producción de energía eléctrica y/o mecánica. Preferentemente pero no exclusivamente, la presente invención se refiere a turbinas de expansión utilizadas en aparatos de producción de energía, preferentemente a través de un ciclo de vapor de Rankine o ciclo orgánico de Rankine (ORC).

**Antecedentes de la invención**

35 En las turbomáquinas radiales, en el disco del rotor, debido a la expansión/compresión del fluido de trabajo, se crea un gradiente de presión entre la entrada de la máquina y la salida de descarga. Por ejemplo, en las turbinas centrífugas radiales, las palas que forman la primera etapa son las más cercanas al eje de giro de la máquina y, por lo tanto, las que están expuestas a la presión más alta, mientras que las palas de la última etapa son las más lejanas, es decir, las expuestas a la presión más baja.

40 Asimismo, la presión del fluido de trabajo que actúa sobre una cara frontal del disco del rotor, la presión presente detrás del disco del rotor y la presión atmosférica que actúa externamente sobre el eje de giro integral con el disco del rotor generan una fuerza axial resultante. Esta fuerza axial resultante se descarga sobre los elementos rodantes (por ejemplo, rodamientos de bolas) que soportan el eje de giro y pueden comprometer el correcto funcionamiento del mismo (que no están destinados a soportar grandes empujes axiales).

En este campo, existen sistemas conocidos configurados para equilibrar al menos parcialmente el empuje axial generado por la presión del fluido de trabajo que actúa sobre la cara frontal del disco del rotor.

50 El documento público US 997.629 ilustra una turbina radial centrífuga provista de empaquetaduras de laberinto dispuestas en una cara del disco giratorio opuesto al que lleva las paletas del rotor. Las empaquetaduras de laberinto se colocan en un disco anular montado en el disco del rotor y en otro disco anular montado en la carcasa de la turbina. Las empaquetaduras son tales que, si los discos anulares se mueven cerca uno del otro, permiten el paso de vapor a alta presión, lo que hace que los dos discos anulares se separen nuevamente. Toda la empaquetadura de laberinto se divide en grupos, cada uno de los que actúa como un grupo de auto-equilibrio independiente de los demás.

60 El documento público IT1405508, a nombre del mismo Solicitante, ilustra una turbina de expansión y un método para compensar el empuje axial en dicha turbina de expansión. Para este fin, la turbina de expansión comprende un sensor que está operativamente activo en un cojinete de empuje para detectar directamente el empuje axial, una cámara de compensación delimitada entre el rotor y la carcasa de la turbina, un medio para introducir un fluido de compensación en la cámara de compensación, una unidad de control operativamente conectada al sensor y a los medios de introducción, para ajustar la introducción del fluido de compensación en la cámara de compensación de acuerdo con el empuje axial detectado. El documento WO2015/140707 desvela una turbomáquina radial provista de compensación a través de aberturas en los discos del rotor, para equilibrar el empuje axial en los discos.

**Sumario**

En este contexto, El solicitante ha percibido la necesidad de proponer un método y un sistema para compensar el empuje axial que sean más efectivos y eficaces que los conocidos.

5 De hecho, el inventor ha observado que las soluciones propuestas en la técnica anterior no son capaces de compensar correctamente el empuje, particularmente durante el encendido y/o apagado de los transitorios de la turbomáquina, y/o son tan complejos que apenas son confiables y generalmente muy costosos.

10 En particular, el solicitante ha señalado que la solución propuesta en el documento US 997.629 no permite controlar con precisión el equilibrio del empuje axial, porque la distribución radial de la presión en las empacaduras de laberinto posteriores, incluso si se divide en grupos, es desconocida y no puede correlacionarse con la presión que actúa en la cara frontal del disco, es decir, a través de las etapas.

15 El inventor también ha señalado que el sistema de control de retroalimentación activo propuesto en el documento IT1405508 es difícil de configurar y debe verificarse/calibrarse con cierta frecuencia para no arriesgarse a dañar los elementos rodantes. En consecuencia, dicho sistema de control activo, además de ser poco confiable, es también costoso.

20 El solicitante se ha fijado los siguientes objetivos:

- proponer un sistema y un método para equilibrar el empuje axial en turbomáquinas radiales que permita reducir al mínimo o incluso cancelar la fuerza axial que actúa sobre los elementos rodantes, para evitar estresarlos excesivamente y aumentar su vida útil;
- 25 ▪ proponer un sistema y un método para equilibrar el empuje axial en turbomáquinas radiales que sean precisos y confiables;
- proponer un sistema y un método para equilibrar el empuje axial en turbomáquinas radiales que hacen su trabajo de forma efectiva también durante transitorios bajo cargas parciales (por ejemplo, durante el encendido y/o apagado de la turbomáquina);
- 30 ▪ proponer una turbomáquina radial que incorpore este sistema y método de equilibrio y que también sea estructuralmente simple;
- proponer un sistema y método de equilibrio que sean intrínsecamente seguros.

35 El inventor ha descubierto que los objetivos especificados anteriormente y otros adicionales se pueden alcanzar a través de un sistema de equilibrio de empuje axial de tipo intrínseco capaz de equilibrar individualmente dicho empuje axial que actúa en cada etapa. En particular, los objetivos especificados y otros adicionales se logran sustancialmente mediante una turbomáquina radial provista de cámaras anulares delimitadas en una cara posterior de cada disco del rotor, cada uno conectado a una cámara anular respectiva ubicada en una cara frontal del disco del rotor respectivo, en la que la presión del fluido de trabajo que actúa en cada cámara posterior equilibra

40 sustancialmente el empuje axial generado por la presión del fluido de trabajo en la cámara frontal respectiva. Dicho de otro modo, el objetivo de la invención es crear cámaras de presión en la parte posterior del disco del rotor que sean iguales en número a las creadas en la superficie frontal del mismo disco del rotor y llevarlas a la misma presión.

45 La turbomáquina que adopta este sistema es una turbomáquina que está intrínsecamente equilibrada en una dirección axial y no requiere controles activos.

50 En la presente descripción y en las reivindicaciones adjuntas, el adjetivo "axial" pretende a definir una dirección dirigida paralela a un eje central del anillo de la pala o el eje de giro "X-X" de la turbomáquina. El adjetivo "radial" pretende definir una dirección dirigida como los radios que se extienden ortogonalmente desde el eje central del anillo de la pala o el eje de giro "X-X" de la turbomáquina. El adjetivo "circunferencial" significa direcciones tangentes a circunferencias coaxiales con el eje central del anillo de la pala o el eje de giro "X-X" de la turbomáquina.

55 En la presente descripción y en las reivindicaciones adjuntas, "equilibrio axial sustancial" significa que la fuerza axial resultante que actúa sobre el conjunto formado por el disco del rotor y el eje (y que se descarga sobre los elementos rodantes) es o bien cero o una cantidad similar (por ejemplo, menos de aproximadamente 10000 N para un rodamiento con un eje de 160 mm de diámetro y una velocidad de giro de 1500 RPM) para poder resistir sin problemas los elementos rodantes.

60 Más específicamente, de acuerdo con un aspecto independiente, la presente invención se refiere a una turbomáquina radial con compensación axial de empuje, que comprende:

- una carcasa fija;
- una pluralidad de anillos con palas concéntricos principales dispuestos en la carcasa fija alrededor de un eje central;
- 65 una pluralidad de anillos con palas concéntricos auxiliares dispuestos en la carcasa fija alrededor de dicho eje

central; en la que los anillos con palas concéntricos auxiliares se alternan radialmente con los anillos con palas concéntricos principales; en la que las palas de dichos anillos con palas principales y de dichos anillos con palas auxiliares delimitan una trayectoria radial para un fluido de trabajo;

5 al menos un rotor que comprende un disco del rotor y un eje de giro integral con el disco del rotor y que puede girar en la carcasa fija alrededor del eje central, en la que el disco del rotor lleva, en una cara frontal, los anillos con palas principales;

en la que dichos anillos con palas principales y auxiliares delimitan, con el disco del rotor, una pluralidad de cámaras frontales concéntricas a diferentes presiones;

10 en la que una pluralidad de cámaras principales anulares posteriores concéntricas, cada una en comunicación fluida con una cámara principal frontal respectiva y a la misma presión que dicha cámara principal frontal respectiva, se delimita entre una cara posterior del disco del rotor y la carcasa fija;

15 en la que un área anular posterior del disco del rotor que delimita cada una de las cámaras principales anulares posteriores es igual o sustancialmente igual a un área delantera respectiva de dicho disco del rotor que delimita una cámara principal frontal respectiva, de modo que la fuerza ejercida por la presión del fluido de trabajo en cada cámara principal anular posterior equilibra sustancialmente la fuerza ejercida por la presión del fluido de trabajo en la cámara principal frontal respectiva.

20 El solicitante ha verificado que de esta manera es posible equilibrar el disco del rotor equilibrando sustancialmente el empuje axial que actúa sobre la superficie frontal del disco y el empuje axial que actúa sobre la superficie posterior del mismo disco. Este equilibrio se realiza individualmente para cada área concéntrica con el eje central.

Otros aspectos de la invención se describen a continuación.

25 En un aspecto, las cámaras principales frontales comprenden una cámara frontal central sustancialmente cilíndrica que define un área circular frontal, y una pluralidad de cámaras anulares principales dispuestas alrededor de la cámara circular central, definiendo cada una un área anular frontal.

30 En un aspecto, juntas radiales se interponen entre un anillo con palas principal y un anillo con palas auxiliar radialmente más externo para evitar el flujo axial del fluido de trabajo.

En un aspecto, entre dicho anillo con palas principal y un anillo con palas auxiliar radialmente más interno, se delimita un paso axial respectivo para el fluido de trabajo.

35 En un aspecto, cada anillo con pala principal, junto con un anillo con palas auxiliar radialmente adyacente respectivo, define una etapa radial de la turbomáquina.

En un aspecto, juntas radiales se interponen entre etapas radialmente adyacentes y cada anillo con palas principal y auxiliar de una misma etapa delimita el paso axial respectivo para el fluido de trabajo.

40 En un aspecto, el paso axial respectivo para el fluido de trabajo está delimitado entre etapas radialmente adyacentes y las juntas radiales están interpuestas entre cada anillo con palas principal y auxiliar de una misma etapa.

En un aspecto, dicho paso axial para el fluido de trabajo intersecta la trayectoria radial y está en comunicación fluida con la trayectoria radial y con una cámara anular frontal principal respectiva.

45 Dicho de otro modo, las juntas radiales no se colocan entre todos los anillos con palas, sino cada dos anillos con palas. Cuando las juntas radiales no están presentes, el paso axial mencionado anteriormente, que es un volumen anular que se extiende axialmente paralelo al eje central, se define. El fluido que sale de las palas fluye, en parte, en el paso axial y llena la cámara principal frontal respectiva y la cámara principal anular posterior respectiva. Esto hace posible tener una junta entre dos anillos con palas principales sucesivos (para reducir las fugas) y tener siempre "presión" disponible para equilibrar las cámaras frontal y posterior.

50 En un aspecto, una pluralidad de anillos de sellado principales concéntricos se dispone en una cara posterior del disco del rotor, en el que dichos anillos de sellado, junto con la carcasa fija, delimitan las cámaras principales anulares posteriores.

55 En un aspecto, cada cámara principal anular posterior, está ubicada en la cámara principal frontal respectiva. En un aspecto, cada cámara principal anular posterior está en comunicación fluida con una cámara principal frontal respectiva a través de al menos un conducto formado en el disco del rotor. Preferentemente, dicho conducto se extiende sustancialmente paralelo al eje central.

60 En un aspecto, todas las áreas anulares posteriores son idénticas a las áreas frontales respectivas, excepto una, denominada área de compensación del eje; en la que dicha área de compensación del eje corresponde a una cámara de compensación anular posterior. Las áreas anulares posteriores que son idénticas a las áreas frontales respectivas están compensadas intrínsecamente. El área de compensación del eje sirve para compensar, total o parcialmente, como se detallará más adelante, el empuje de la presión externa que actúa sobre el eje.

En un aspecto, la cámara de compensación anular posterior es la que tiene una presión más cercana a la presión externa/atmosférica.

5 En un aspecto, la cámara de compensación anular posterior es la radialmente más externa.

En un aspecto diferente, la cámara de compensación anular posterior es la radialmente más interna.

10 En un aspecto, el anillo con palas principal radialmente más externo se encuentra cerca de un borde periférico del disco del rotor.

En un aspecto, el área de compensación del eje es igual a la diferencia entre el área frontal respectiva y un área de sección transversal del eje de giro de acuerdo con la siguiente relación:

15 
$$\text{i) } A_{4p} = A_{4f} - A_a$$

De este modo, la fuerza axial resultante no está completamente equilibrada, pero, no obstante, se reduce y es una función de la diferencia entre la presión en la cámara de compensación y la presión externa/atmosférica. Dicha fuerza axial resultante también es una función del área de la sección transversal del eje de acuerdo con la siguiente relación:

20 
$$\text{ii) Resultante} = A_a * (P4 - P_{atm})$$

25 Esta resultante es fácilmente "soportable" por los rodamientos de bolas que se usan normalmente, particularmente en turbinas radiales para fluidos orgánicos (es decir, configuradas para trabajar con fluidos orgánicos, preferentemente a un alto peso molecular). Para valores de presión convencionales, la resultante es como máximo unos pocos miles de Newtons. Estas fuerzas resultantes pueden ser soportadas sin problemas por los rodamientos normales.

30 Asimismo, la fuerza resultante es casi independiente de los siguientes factores:

- presión de entrada;
- carga de la turbomáquina;
- tipo de fluido de trabajo y, por lo tanto, ciclo;
- 35 - número de etapas de la turbomáquina;
- grado de reacción de las etapas.

Se deduce que la presente invención hace posible:

- 40 - aumentar la vida útil de los rodamientos o, más en general, de los elementos rodantes;
- proporcionar una turbomáquina intrínsecamente segura (a prueba de fallos);
- proporcionar una solución flexible;
- proporcionar un equilibrio autoajustable para diferentes condiciones de diseño;
- 45 - proporcionar un equilibrio autoajustable para condiciones fuera de diseño.

En un aspecto, el área de compensación del eje es igual a la suma del área frontal respectiva y un factor que es función del área de la sección transversal del eje de giro y de la presión externa/atmosférica. De este modo, es posible cancelar por completo la fuerza axial resultante, al menos en las condiciones de diseño.

50 En un aspecto, para cancelar por completo la fuerza axial resultante, el área de compensación del eje es igual a:

$$\text{iii) } A'_{4p} = A_{4f} + A_a * (P_{salida} - P_{atm}) / (P4 - P_{salida})$$

Dicho de otro modo, en comparación con el caso en el que la fuerza axial resultante no está completamente equilibrada ( $A_{4p} = A_{4f} - A_a$ ), el área de compensación del eje se incrementa en un área adicional igual a:

$$\text{iv) } A5_f = A_a * (P4 - P_{atm}) / (P4 - P_{salida}) \text{ y}$$

$$\text{v) } A'_{4p} = A_{4p} + A5_f$$

60 para que se obtenga la relación iii)

En un aspecto, dicha área adicional se obtiene aumentando el diámetro de la junta radialmente más externa, es decir, el diámetro de la cámara de compensación anular posterior radialmente más externa. Esta área adicional en el diámetro exterior del disco del rotor requiere normalmente (dependiendo de las presiones en juego) un aumento de unos pocos milímetros con respecto al diámetro del último rotor y, por lo tanto, es fácil de lograr y no tiene

limitaciones sustanciales. En esta configuración, el borde periférico del disco del rotor se extiende radialmente más allá del anillo con palas principal radialmente más externo.

5 En un aspecto, cada anillo con palas principal y auxiliar comprende una pluralidad de palas dispuestas equidistantes de un eje central y unidas entre sí por dos anillos concéntricos (un anillo de raíz y un anillo circular) separados axialmente entre sí. Las palas se extienden entre dichos dos anillos con sus bordes de ataque y de salida paralelos o sustancialmente paralelos al eje central. El anillo con palas puede tener la función de un estator (se fija en relación con una carcasa de la turbomáquina y sus palas son palas del estator) o un rotor (es decir, gira y sus palas son palas de rotor y, por lo tanto, el eje central es el eje de giro).

10 En un aspecto, cada anillo con palas principal y auxiliar comprende un anillo de conexión directamente conectado al anillo de raíz y tiene un extremo unido al primer o segundo disco del rotor respectivo o a la carcasa fija.

15 En un aspecto, el anillo de conexión cede elásticamente, es decir, permite una deformación radial del mismo cuando se somete a las cargas de la turbomáquina en función de la temperatura (y, si gira, fuerza centrífuga también).

20 En un aspecto, las juntas radiales se disponen en una superficie radialmente interna o en una superficie radialmente externa del anillo de raíz y del anillo circular que pertenece a un anillo con palas. las juntas radiales se establecen en un solo diámetro.

En un aspecto, las juntas radiales comprenden elementos de sellado montados en una superficie radialmente interna o en una superficie radialmente externa del anillo de raíz y del anillo circular que coopera con una superficie radialmente externa o una superficie radialmente interna del anillo circular adyacente y el anillo de raíz.

25 En un aspecto, cada uno de los anillos de sellado principales comprende: un anillo de raíz conectado a la carcasa fija por medio de un anillo de conexión.

En un aspecto, el disco del rotor comprende una pluralidad de proyecciones anulares coaxiales con el eje central, cada una acoplado operativamente a un anillo de sellado principal respectivo.

30 En un aspecto, las juntas radiales se interponen entre el anillo de raíz de cada anillo de sellado principal y una proyección anular respectiva.

35 En un aspecto, solo hay un rotor y pares de anillos con palas radialmente adyacentes delimitan, con el disco del rotor, una cámara anular frontal principal y, con la carcasa fija, una cámara anular frontal auxiliar, en las que dichas cámaras anulares frontales principal y auxiliar están conectadas mutuamente por el respectivo paso axial.

40 En un aspecto, los anillos con palas concéntricos auxiliares se fijan a la carcasa fija. La turbomáquina es de tipo radial con un disco del rotor único y dicho disco del rotor está provisto de las cámaras principales anulares posteriores para equilibrar el empuje axial.

45 En un aspecto diferente, la turbomáquina comprende un primer rotor y un segundo rotor. El primer rotor comprende un primer disco del rotor y un primer eje de giro integral con el primer disco del rotor y que puede girar en la carcasa fija alrededor del eje central, en el que el primer disco del rotor lleva, en una cara frontal, los anillos anulares concéntricos principales. El segundo rotor comprende un segundo disco del rotor y un segundo eje de giro integral con el segundo disco del rotor y que puede girar en la carcasa alrededor del eje central, en el que el segundo disco del rotor lleva, en una cara frontal, los anillos con palas concéntricos auxiliares.

50 En un aspecto, el primer y el segundo rotores son contra-giratorios. La turbomáquina es de tipo radial contra-giratorio y ambos discos están provistos de las cámaras posteriores (principal y auxiliar) para equilibrar el empuje axial.

55 En un aspecto, pares de anillos con palas radialmente adyacentes delimitan, con el primer disco del rotor, una cámara anular frontal principal y, con el segundo disco del rotor, una cámara anular frontal auxiliar, en las que dichas cámaras anulares frontales principal y auxiliar están conectadas mutuamente por el respectivo paso axial.

60 En un aspecto, una pluralidad de anillos de sellado principales concéntricos se dispone en una cara posterior del primer disco del rotor, en el que dichos anillos de sellado principales, junto con la carcasa fija, delimitan una pluralidad de cámaras principales anulares posteriores; en el que cada cámara principal anular posterior está en comunicación fluida, a través de al menos un conducto formado en el primer disco del rotor, con una respectiva cámara principal frontal; en el que un área anular posterior del primer disco del rotor que delimita una de las cámaras principales anulares posteriores es sustancialmente igual a un área anular frontal de dicho primer disco del rotor que delimita una cámara principal frontal respectiva, de modo que la fuerza ejercida por la presión del fluido de trabajo en cada cámara principal anular posterior equilibra sustancialmente la fuerza ejercida por la presión del fluido de trabajo en la cámara principal frontal respectiva. En un aspecto de acuerdo con el aspecto anterior, una pluralidad de anillos de sellado auxiliares concéntricos se dispone en una cara posterior del segundo disco del rotor, en el que dichos anillos de sellado auxiliares, junto con la carcasa fija, delimitan una pluralidad de cámaras anulares posteriores

auxiliares; en el que cada cámara anular posterior auxiliar está en comunicación fluida, a través de al menos un conducto formado en el segundo disco del rotor, con una respectiva cámara anular frontal auxiliar; en el que un área anular posterior del segundo disco del rotor que delimita una de las cámaras anulares posteriores auxiliares es sustancialmente igual a un área anular frontal de dicho segundo disco del rotor que delimita una cámara anular frontal auxiliar respectiva, de modo que la fuerza ejercida por la presión del fluido de trabajo en cada cámara anular posterior auxiliar equilibra sustancialmente la fuerza ejercida por la presión del fluido de trabajo en la cámara anular frontal auxiliar respectiva.

En un aspecto, la turbomáquina radial es centrífuga. En un aspecto diferente, la turbomáquina radial es centrípeta.

En un aspecto, la turbomáquina radial es una turbina. En un aspecto diferente, la turbomáquina radial es un compresor.

En un aspecto, la turbomáquina radial está configurada para trabajar con un fluido orgánico, preferentemente con un alto peso molecular. Normalmente, en las turbinas utilizadas para la expansión de fluidos orgánicos en los ciclos/sistemas de ORC (Ciclo Orgánico de Rankine), la presión del fluido de trabajo en la salida y en la última etapa (generalmente comprendida entre aproximadamente 0,5 y 1,5 bar) es la más cercana a la presión atmosférica. Por lo tanto, es aconsejable elegir, como área de compensación del eje, el área de la cámara anular posterior más externa (ubicada, precisamente, en la última etapa). Esta elección hace posible reducir la fuerza axial resultante a un mínimo si el primer anillo con palas radialmente más externo se encuentra cerca del borde periférico del disco del rotor o cancelar dicha fuerza axial resultante aumentando ligeramente el diámetro del disco del rotor, como se explicará en la siguiente descripción detallada.

En un aspecto diferente, la turbomáquina radial está configurada para trabajar con vapor. Las características y ventajas adicionales se harán más evidentes a partir de la descripción detallada de las realizaciones preferidas, pero no exclusivas, de una turbomáquina radial con compensación de empuje axial, de acuerdo con la presente invención.

### Descripción de los dibujos

Esta descripción se proporcionará a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, proporcionados únicamente con fines ilustrativos y, por lo tanto, no limitativos, en los que:

- la Figura 1 ilustra una sección meridiana de una turbomáquina radial con compensación de empuje axial de acuerdo con la presente invención;
- la Figura 2 ilustra una variante de la turbomáquina de la Figura 1;
- la Figura 3 ilustra una realización diferente de la turbomáquina de la Figura 1;
- la Figura 4 es una vista en perspectiva de una porción de un anillo con palas de las turbomáquinas de acuerdo con las Figuras anteriores;
- la Figura 5 es un gráfico que ilustra la fuerza axial resultante en la turbomáquina de la Figura 1; y
- la Figura 6 es un gráfico que ilustra la fuerza axial resultante en la turbomáquina de la Figura 2.

### Descripción detallada

Con referencia a las Figuras antes mencionadas, el número de referencia 1 denota en su totalidad una turbomáquina radial con compensación axial de empuje.

La turbomáquina radial 1 ilustrada en la Figura 1 es una turbina de expansión de tipo radial centrífugo con un solo rotor 2. Por ejemplo, la turbina 1 puede emplearse en el campo de plantas generadoras de electricidad de tipo Ciclo Orgánico de Rankine (ORC) que, por ejemplo, aprovechan los recursos geotérmicos como fuentes.

La turbina 1 comprende una carcasa fija 3 en la que se aloja el rotor 2 de tal manera que pueda girar. Para este fin, el rotor 2 está conectado rígidamente a un eje 4 que se extiende a lo largo de un eje central "X-X" (que coincide con un eje de giro del eje 4 y el rotor 2) y está soportado en la carcasa fija 3 por cojinetes apropiados 5. El rotor 2 comprende un disco 6 del rotor conectado directamente al eje 4 mencionado y provisto de una cara frontal 7 y una cara posterior opuesta 8. La cara frontal 7 soporta una pluralidad de anillos con palas principales 9 (tipo rotor), que son concéntricos y coaxiales con el eje central "X-X" y giran por tanto con el disco 6 del rotor.

La carcasa fija 3 comprende una pared frontal 10, situada frente a la cara frontal 7 del disco 6 del rotor, y una pared posterior 11, situada frente a la cara posterior 8 del disco 6 del rotor. La pared frontal 10 tiene una abertura que define una entrada axial 12 para un fluido de trabajo. La entrada axial 12 está situada en el eje central "X-X" y es circular y concéntrica con el mismo eje "X-X". La carcasa fija 3 tiene además una trayectoria en espiral 13 para el fluido de trabajo ubicado en una posición periférica, radialmente externa en relación con el rotor 2 y en comunicación fluida con una salida, no ilustrada, de la carcasa fija 3. La trayectoria en espiral 13 está delimitada por una porción periférica 14 de la carcasa fija 3.

La pared frontal 10 soporta una pluralidad de anillos con palas auxiliares proyectantes (tipo estator) 15 que son concéntricos y coaxiales con el eje central "X-X". Los anillos con palas auxiliares 15 se extienden desde una cara interna de la pared frontal 10 hacia el interior de la carcasa 3 y hacia el disco 6 del rotor y se alternan radialmente con los anillos con palas principales 9 para definir una trayectoria de expansión radial 16 para el fluido de trabajo que entra a través de la entrada axial 12 y se expande a medida que se aleja radialmente hacia la periferia del disco del rotor 2 hasta entrar en la trayectoria en espiral 13 y salir después de la carcasa fija 3 a través de la salida mencionada anteriormente, no mostrada.

Los anillos principales y auxiliares 9, 15 tienen una estructura similar, aparte de sus dimensiones y algunas proporciones dimensionales. La estructura de un anillo con palas principal 9 se describirá a continuación con referencia a la Figura 4.

El anillo con palas principal 9 de la Figura 4 comprende un anillo de raíz 17 y un anillo circular 18 coaxial con el eje central "X-X", de dimensiones similares y axialmente separados entre sí. Las palas 19 se disponen equidistantes del eje central "X-X" y están unidas entre sí por el anillo de raíz 17 y el anillo circular 18. Las palas 19 se extienden entre dichos dos anillos 17, 18 con sus bordes de ataque 20 y los bordes de salida 21 paralelos o sustancialmente paralelos al eje central "X-X". Puesto que la turbomáquina 1 ilustrada es una turbina radial centrífuga, en la que el fluido de trabajo se mueve radialmente hacia el exterior, el borde de ataque 20 de cada pala 19 se gira radialmente hacia el interior, es decir, hacia dicho eje central "X-X", y el borde de salida 21 se gira radialmente hacia el exterior.

El anillo con palas principal 9 comprende un anillo de conexión 22 que se extiende axialmente desde el anillo de raíz 17 y es igualmente coaxial con el eje central "X-X". Tal y como se puede ver en la Figura 4, el anillo de conexión 22 tiene un espesor radial mucho más pequeño que el anillo de raíz 17, por ejemplo, igual a aproximadamente 1/10 del espesor del anillo de raíz 17. Un extremo anular 23 del anillo de conexión 22 está provisto de una especie de pata para su conexión con la cara frontal del disco 6 del rotor. El espesor reducido (en comparación con el anillo de raíz 17) del anillo de conexión 22 hace que produzca elasticidad, es decir, permite una deformación radial del mismo cuando se somete a las cargas de la turbina 1 (en función de la temperatura y la fuerza centrífuga).

La turbina 1 ilustrada en la Figura 1 comprende un deflector 24, o tabique, ubicado en la carcasa fija a lo largo del eje central "X-X" y orientado hacia la entrada axial 12. El deflector 24 delimita, con una pared interna de la carcasa fija 3 situada cerca de la entrada axial 12, un conducto de conexión 25 que conecta la entrada axial 12 con la trayectoria de expansión radial 16. El deflector 24 tiene el perfil de un disco abultado con una cara convexa girada hacia la entrada axial 12.

Una porción radialmente periférica del deflector 24 lleva una serie de palas 26 del estator dispuestas alrededor del eje central "X-X" y equidistantes del eje central "X-X". Dichas palas 26 del estator se extienden entre una porción tubular de la carcasa fija 3 y la porción radialmente periférica del deflector 24 con sus bordes de ataque y de salida paralelos o sustancialmente paralelos al eje central "X-X". Dichas palas 26 del estator están ubicadas en el conducto de conexión 25 y son las primeras palas fijas de la trayectoria de expansión radial 16 con las que se encuentra el fluido que entra en la turbina 1.

Ubicado en una posición radialmente externa con respecto a las palas 26 del estator mencionadas anteriormente, hay un primer anillo con palas principal 9 del rotor, el radialmente más interno, limitado al disco 6 del rotor. Las palas 19 del rotor del primer anillo con palas principal 9 del rotor se colocan en una posición correspondiente a la de las palas 26 del estator fijadas al deflector 24 y juntas forman una primera etapa de la turbina 1.

Como se puede ver en las Figuras 1 y 2, entre una superficie radialmente interna del anillo de raíz 17 del primer anillo con palas principal 9 del rotor y una superficie radialmente externa 27 de la porción radialmente periférica del deflector 24 y entre una superficie radialmente interna del anillo circular 18 del primer anillo con palas principal 9 del rotor y una superficie radialmente externa 28 de la porción tubular de la carcasa fija 3 se delimita un primer paso axial 29', es decir, un volumen anular que se extiende axialmente paralelo al eje central "X-X". No se colocan juntas en el primer paso axial 29' y se intersecta la trayectoria de expansión radial 16. Por lo tanto, el fluido que sale de las palas 26 del estator es libre de llenar el primer paso axial 29'. El primer paso axial 29' está a la presión de salida de las palas 26 del estator.

Una cara del deflector 24, opuesta a la convexa, se gira hacia el disco 6 del rotor y delimita, con una porción radialmente interna de la cara frontal 7 del disco 6 del rotor y el primer anillo con palas principal 9' del rotor, una cámara frontal central sustancialmente cilíndrica 30 en comunicación fluida con el primer paso axial 29' mencionado anteriormente. Dicha cámara frontal central sustancialmente cilíndrica 30 está, por tanto, igualmente a la presión de salida de las palas 26 del estator.

Un primer anillo con palas auxiliar 15' del estator está ubicado en una posición radialmente externa con respecto al primer anillo con palas principal 9' del rotor. Las palas 19 del estator del primer anillo con palas auxiliar 15' del estator se colocan en una posición correspondiente a la de las palas 19 del rotor del primer anillo con palas principal 9' del rotor radialmente más interno.

Como se puede ver en las Figuras 1 y 2, entre una superficie radialmente externa del anillo de raíz 17 del primer anillo con palas principal 9' del rotor y una superficie radialmente interna del anillo circular 18 del primer anillo con palas auxiliar 15' del estator y entre una superficie radialmente externa del anillo circular 18 del primer anillo con palas principal 9' del rotor y una superficie radialmente externa del anillo de raíz 17 del primer anillo con palas auxiliar 15' del estator hay juntas radiales 31 que evitan el paso del fluido de trabajo que sale de las aspas 19 de la primera etapa.

las juntas radiales 31 comprenden elementos de sellado montados en la superficie radialmente interna del anillo de raíz 17 y del anillo circular 18 que cooperan con la superficie radialmente externa del anillo circular adyacente 18 y del anillo de raíz 17. Los elementos de sellado son, por ejemplo, paredes anulares que se proyectan radialmente desde la superficie que las sostiene y pastan o tocan la superficie opuesta. las juntas radiales 31 que acabamos de describir se establecen en un solo diámetro.

Un extremo axial terminal del primer anillo con palas principal 9' del rotor, o, de forma más precisa, una superficie de cabeza del anillo circular 18 de dicho primer anillo con palas principal 9' del rotor está separada de la cara interna de la pared frontal 10 de la carcasa fija 3. Dicha superficie de cabeza, junto con una porción de la pared frontal 10 y junto con el primer anillo con palas auxiliar 15' del estator, delimita una primera cámara anular frontal auxiliar 32.

Un extremo axial terminal del primer anillo con palas auxiliar 15' del estator, o, de forma más precisa, una superficie de la cabeza del anillo circular 18 de dicho primer anillo con palas auxiliar 15' del estator, está separado de la cara frontal 7 del disco 6 del rotor. Dicha superficie de cabeza, junto con una porción de la cara frontal 7 del disco 6 del rotor, el primer anillo con palas principal 9' del rotor y un segundo anillo con palas principal 9' del rotor, delimita una primera cámara anular frontal principal 33. La parte mencionada anteriormente de la cara frontal 7 del disco 6 del rotor define un área anular frontal del disco 6 del rotor.

El segundo anillo con palas principal 9 del rotor" está ubicado en una posición radialmente externa con respecto al primer anillo con palas auxiliar 15' del estator y las palas 19 del rotor del segundo anillo con palas principal 9 del rotor" están colocadas en una posición correspondiente a la de las palas 19 del primer anillo con palas auxiliar 15' del estator y juntos forman una segunda etapa de la turbina 1.

Como se puede ver en las Figuras 1 y 2, entre una superficie radialmente interna del anillo de raíz 17 del segundo anillo con palas principal 9" del rotor y una superficie radialmente externa del anillo circular 18 del primer anillo con palas auxiliar 15' del estator y entre una superficie radialmente interna del anillo circular 18 del primer anillo con palas principal 9' del rotor y una superficie radialmente externa del anillo de raíz 17 del primer anillo con palas auxiliar 15' del estator se delimita un segundo paso axial 29", es decir, un volumen anular que se extiende axialmente paralelo al eje central "X-X". No se colocan juntas en el segundo paso axial 29" e intersecta la trayectoria de expansión radial 16. Por lo tanto, el fluido que sale de las palas 19 del primer anillo con palas auxiliar 15' del estator es libre de cargar el segundo paso axial 29". El segundo paso axial 29" está a la presión de salida de las palas 19 del primer anillo con palas auxiliar 15' del estator y está en comunicación fluida con la primera cámara principal frontal 33, que está por tanto a la misma presión.

Un extremo axial terminal del segundo anillo con palas principal 9" del rotor, o, de forma más precisa, una superficie de cabeza del anillo circular 18 de dicho segundo anillo con palas principal 9" del rotor, está separado de la cara interna de la pared frontal 10 de la carcasa fija 3. Dicha superficie de cabeza, junto con una porción de la pared frontal 10 y junto con el primer anillo con palas auxiliar 15' del estator, delimita una segunda cámara anular frontal auxiliar 34. El segundo paso axial 29" está también en comunicación fluida con la segunda cámara anular frontal auxiliar 34.

La turbina 1 comprende un segundo anillo con palas auxiliar 15" del estator, un tercer anillo con palas principal 9"" del rotor, un tercer anillo con palas auxiliar 15"" del estator y un cuarto anillo con palas principal 9"" del rotor. Su estructura es sustancialmente idéntica a la estructura detallada anteriormente.

Las juntas radiales 31 se colocan entre el tercer anillo con palas principal 9"" del rotor y el tercer anillo con palas auxiliar 15"" del estator y entre el segundo anillo con palas principal 9" del rotor y el segundo anillo con palas auxiliar 15" del estator. Delimitados de este modo están: una segunda cámara anular frontal principal 35 y una tercera cámara anular frontal principal 36, una tercera cámara anular frontal auxiliar 37 y una cuarta cámara anular frontal auxiliar 38. Un tercer paso axial 29"" pone la segunda cámara anular frontal principal 35 en comunicación con la tercera cámara anular frontal auxiliar 37, para que ambas estén a la misma presión. Un cuarto paso axial 29"" pone la tercera cámara anular frontal principal 36 en comunicación con la cuarta cámara anular frontal auxiliar 38, para que ambas estén a la misma presión.

Cada cámara anular frontal principal 33, 35, 36 corresponde a un área anular frontal, respectiva del disco 6 del rotor. La cámara frontal central sustancialmente cilíndrica 30 corresponde a un área circular frontal del disco 6 del rotor.

La turbina 1 comprende además un anillo de sellado radialmente externa 39 que se extiende desde la cara interna de la pared frontal 10 hacia el interior de la carcasa 3 y rodea el anillo circular 18 del cuarto anillo con palas principal

9<sup>o</sup> del rotor. El anillo de sellado radialmente externo 39 no tiene palas, pero tiene la estructura de un anillo de raíz 17 conectado a la carcasa fija 3 por medio de un anillo de conexión 22. las juntas radiales 31 se interponen entre el anillo de sellado radialmente externo 39 y el anillo circular 18 del cuarto anillo con palas principal 9<sup>o</sup> del rotor para evitar el paso directo de fluido desde la cuarta cámara anular frontal auxiliar 38 a la trayectoria en espiral 13, es decir, para evitar que el fluido pase por las palas 19 del cuarto anillo con palas principal 9<sup>o</sup> del rotor.

La turbina 1 comprende además tres anillos de sellado principales concéntricos 40', 40", 40"', 40<sup>o</sup>, que están dispuestos en la cara posterior 8 del disco 6 del rotor. Los anillos de sellado principales 40', 40", 40"', 40<sup>o</sup>, junto con la carcasa fija 3, delimitan cuatro cámaras principales anulares posteriores 41', 41", 41"', 41<sup>o</sup>.

Con más detalle, cada anillo de sellado principal 40', 40", 40"', 40<sup>o</sup> es estructuralmente similar al anillo de sellado radialmente externo 39 y, por lo tanto, comprende un anillo de raíz 17 conectado a la carcasa fija 3 por medio de un anillo de conexión 22. las juntas radiales 31 se interponen entre el anillo de raíz 17 de cada anillo principal de sellado 40', 40", 40"', 40<sup>o</sup> y una proyección anular respectiva 42', 42", 42"', 42<sup>o</sup> integral con el rotor disco 6 y coaxial con el eje central "X-X".

Una primera cámara principal anular posterior 41' está delimitada por una primera área anular de la cara posterior 8 del disco 6 del rotor, una primera porción anular de la pared posterior 11 de la carcasa fija 3, un primer anillo de sellado posterior radialmente más interno 40' y el eje 4. Una pluralidad de primeros conductos 43 (solo uno de los que es visible en la Figura 1) que pasa a través del disco 6 del rotor pone la primera cámara principal anular posterior 41' en comunicación fluida con la cámara frontal sustancialmente cilíndrica 30. Por lo tanto, la primera cámara anular frontal auxiliar 32, el primer paso axial 29', la cámara frontal sustancialmente cilíndrica 30 y la primera cámara anular posterior 41' están todas a la misma primera presión "P1".

Una segunda cámara principal anular posterior 41" está delimitada por una segunda área anular posterior del disco 6 del rotor, el primer anillo de sellado posterior 40', un segundo anillo de sellado posterior 40" y una segunda porción anular de la pared posterior 11 de la carcasa fija 3. Una pluralidad de segundos conductos 44 (solo uno de los que es visible en la Figura 1) que pasa a través del disco 6 del rotor paralelo al eje central "X-X" pone la segunda cámara principal anular posterior 41" en comunicación fluida con la primera cámara anular frontal principal 33. Por lo tanto, la segunda cámara anular frontal auxiliar 34, el segundo paso axial 29", la segunda cámara principal anular posterior 41" y la primera cámara anular frontal principal 33 están todas a la misma segunda presión "P2".

Una tercera cámara principal anular posterior 41"' está delimitada por una tercera área anular posterior del disco 6 del rotor, el segundo anillo de sellado posterior 40", un tercer anillo de sellado posterior de 40"' y una tercera porción anular de la pared posterior 11 de la carcasa fija 3. Una pluralidad de terceros conductos 45 (solo uno de los que es visible en la Figura 1) que pasa a través del disco 6 del rotor paralelo al eje central "X-X" pone la tercera cámara principal anular posterior 41"' en comunicación fluida con la segunda cámara anular frontal principal 35. Por lo tanto, la tercera cámara anular frontal auxiliar 37, el tercer paso axial 29"', la tercera cámara principal anular posterior 41"' y la segunda cámara anular frontal principal 35 están todas a la misma tercera presión "P3".

Una cuarta cámara principal anular posterior 41<sup>o</sup> está delimitada por una cuarta área anular posterior del disco 6 del rotor, el tercer anillo de sellado posterior 40"', un cuarto anillo de sellado posterior de 40<sup>o</sup> y una cuarta porción anular de la pared posterior 11 de la carcasa fija 3. Una pluralidad de cuartos conductos 46 (solo uno de los que es visible en la Figura 1) que pasa a través del disco 6 del rotor paralelo al eje central "X-X" pone la cuarta cámara principal anular posterior 41<sup>o</sup> en comunicación fluida con la tercera cámara anular frontal principal 36. Por lo tanto, la cuarta cámara anular frontal auxiliar 38, el cuarto paso axial 29<sup>o</sup>, la cuarta cámara principal anular posterior 41<sup>o</sup> y la tercera cámara anular frontal principal 36 están todas a la misma cuarta presión "P4".

El fluido de trabajo que ingresa a través de la entrada axial 12 con una presión de entrada "Pentrada", después de pasar por las palas 26 del estator, tiene la primera presión "P1". Dicha primera presión "P1" actúa sobre una primera área frontal "A\_1f" (generando un empuje  $F_{1f} = P1 * A_{1f}$ ) del disco 6 del rotor igual a la suma del área circular frontal del disco 6 del rotor y el área de la cabeza superficie del anillo circular 18 del primer anillo con palas principal 9' del rotor.

La misma primera presión "P1" actúa sobre una primera área anular posterior "A\_1p" de dicho disco 6 del rotor, generando un empuje opuesto  $F_{1p} = P1 * A_{1p}$ . Dicha primera área anular posterior "A\_1p" es igual al área de la cara posterior 8 del disco 6 del rotor que pertenece a la primera cámara principal anular posterior 41' y rodea el eje 4. La primera área frontal "A\_1f" es igual a la primera área anular posterior "A\_1p", para que el empuje resultante sea cero ( $F_{1f} = F_{1p}$ ).

Continuando a lo largo de la trayectoria de expansión radial 16, el fluido de trabajo pasa a través de las palas 19 del primer anillo con palas principal 9' y del primer anillo con palas auxiliar 15'. Justo después del primer anillo con palas auxiliar 15', El fluido de trabajo tiene la segunda presión "P2". Dicha segunda presión "P2" genera un empuje  $F_{2f} = P2 * A_{2f}$ . La segunda área anular frontal "A\_2f" es igual a la suma del área de la superficie de la cabeza del anillo circular 18 del segundo anillo con palas principal 9" del rotor y la diferencia entre el área anular de la cara frontal 7 del disco 6 del rotor contenido en la primera cámara principal frontal 33 y el área de la superficie de la cabeza del

anillo de raíz 17 del primer anillo del rotor principal 9' girado hacia dicho disco 6 del rotor.

5 La misma segunda presión "P2" actúa sobre una segunda área anular posterior "A\_2p" de dicho disco 6 del rotor, generando un empuje opuesto  $F_{2p} = P2 * A_{2p}$ . Dicha segunda área anular posterior "A\_2p" es igual al área de la cara posterior 8 del disco 6 del rotor que pertenece a la segunda cámara principal anular posterior 41". La segunda área frontal "A\_2f" es igual a la segunda área anular posterior "A\_2p", para que el empuje resultante sea cero ( $F_{2f} = F_{2p}$ ).

10 El fluido de trabajo pasa a través de las palas 19 del segundo anillo con palas principal 9" y del segundo anillo con palas auxiliar 15". Justo abajo del segundo anillo con palas auxiliar de 15", el fluido de trabajo tiene la tercera presión "P3". Dicha tercera presión "P3" genera un empuje  $F_{3f} = P3 * A_{3f}$ . La tercera área anular frontal "A\_3f" es igual a la suma del área de la superficie de la cabeza del anillo circular 18 del tercer anillo de aspa del rotor principal 9" y la diferencia entre el área anular de la cara frontal 7 del rotor el disco 6 contenido en la segunda cámara principal frontal 35 y el área de la superficie de la cabeza del anillo de raíz 17 del segundo anillo del rotor principal 9" girado hacia dicho disco 6 del rotor.

15 La misma tercera presión "P3" actúa sobre una tercera área anular posterior "A\_3p" de dicho disco 6 del rotor, generando un empuje opuesto  $F_{3p} = P3 * A_{3p}$ . Dicha tercera área anular posterior "A\_3p" es igual al área de la cara posterior 8 del disco 6 del rotor que pertenece a la tercera cámara principal anular posterior 41". La tercera área frontal "A\_3f" es igual a la tercera área anular posterior "A\_3p", para que el empuje resultante sea cero ( $F_{3f} = F_{3p}$ ).

20 El fluido de trabajo pasa a través de las palas 19 del tercer anillo con palas principal 9" y del tercer anillo con palas auxiliar 15". Justo después del tercer anillo con palas auxiliar de 15", el fluido de trabajo tiene la cuarta presión "P4". Dicha cuarta presión "P4" genera un empuje  $F_{4f} = P4 * A_{4f}$ . La cuarta área anular frontal "A\_4f" es igual a la suma del área de la superficie de la cabeza del anillo circular 18 del cuarto anillo con palas principal 9" del rotor y la diferencia entre el área anular de la cara frontal 7 del rotor el disco 6 contenido en la tercera cámara principal frontal 36 y el área de la superficie de la cabeza del anillo de raíz 17 del tercer anillo principal del rotor 9" girado hacia dicho disco 6 del rotor.

25 La misma cuarta presión "P4" actúa sobre una cuarta área anular posterior "A\_4p" de dicho disco 6 del rotor, generando un empuje opuesto  $F_{4p} = P4 * A_{4p}$ .

30 Dicha cuarta área anular posterior "A\_4p" está diseñada para equilibrar, total o parcialmente, El empuje de la presión externa / atmosférica  $P_{atm}$  que actúa desde el exterior sobre el eje 4. La cuarta cámara principal anular posterior 41" es una cámara para la compensación del empuje axial de la presión externa/atmosférica  $P_{atm}$  que actúa sobre el eje 4 y la cuarta área anular posterior "A\_4p" es un área de compensación del eje 4.

35 En la realización de la Figura 1, la cuarta cámara anular principal 41" y la cuarta área anular posterior "A\_4p" están limitadas por el diámetro máximo del disco 6 del rotor. Como se puede observar, de hecho, el borde periférico del disco 6 del rotor termina en el cuarto anillo con palas principal 9". La cuarta área anular posterior "A\_4p" es igual a la diferencia entre el área anular frontal respectiva "A\_4f" y un área de sección transversal "A\_a" del eje de giro 4 de acuerdo con la siguiente relación:  $A_{4p} = A_{4f} - A_a$ .

40 Puesto que la fuerza que actúa sobre la primera, segunda y tercera áreas frontales ya están perfectamente equilibradas por la fuerza que actúa sobre la primera, segunda y tercera áreas posteriores ( $F_{1f} = F_{1p}$ ;  $F_{2f} = F_{2p}$ ;  $F_{3f} > F_{3p}$ ), la fuerza axial resultante que actúa sobre el rotor 2 formada por el disco 6 del rotor y el eje 4 es igual a:

45

$$\begin{aligned} \text{Resultante} &= F_{4f} - F_{4p} - F_{eje} = \\ &= (P4 * A_{4f}) - (P4 * A_{4p}) - Patm * A_a = \\ &= P4 * A_{4f} - P4 * A_{4f} + P4 * A_a - Patm * A_a = \\ &= A_a * (P4 - P_{atm}) \end{aligned}$$

50 Por lo tanto, la fuerza axial resultante es una función del área del eje y la diferencia entre la presión de salida "P4" del último estator y la presión atmosférica  $P_{atm}$ . Si se supone un eje con un diámetro de 120 mm y una presión atmosférica igual a 101.000 Pa, el empuje será mínimo cuando  $P4 = 0$  bar absoluto (bajo vacío) e igual a -1.142 N, y será máximo para considerar la presión máxima, que en un ciclo ORC generalmente nunca excede los 6 bares absolutos (normalmente entre 0,5 y 1,5 bares absolutos), y es igual a 5.640 N (Figura 5).

55 En la variante de realización de la Figura 2, la cuarta área anular posterior "A\_4p" se extiende radialmente más allá del cuarto anillo con palas principal 9" y es tal que cancela totalmente la fuerza axial resultante para una condición de diseño dada (punto de diseño). El área de compensación "A\_4p" del eje 4 es igual a la suma del área anular frontal respectiva y un factor que es función del área de la sección transversal del eje 4 y la presión externa/atmosférica "P\_atm". Dicho de otro modo, el área de compensación del eje se incrementa en un área adicional. Dicha área adicional se obtiene aumentando el diámetro del cuarto anillo de sellado posterior radialmente

más externo 40''', es decir, el diámetro de la cuarta cámara principal anular posterior radialmente más externa 41''''.

Llamada P\_salida la presión de salida del cuarto anillo principal de 9''', es decir, en la trayectoria en espiral 13, que actúa sobre una quinta área adicional anular frontal "A\_5f", la resultante es cero si:

$$5 \quad \text{Resultante} = F_{4f} + F_{5f} - F_{4p} - F_{eje} = (P4 * A_{4f}) + (P_{salida} * A_{5f}) - (P4 * A'_{4p}) - Patm * A_a = 0$$

con  $A'_{4p} = A_{4p} + A_{5f}$   
y  $A_{4p} = A_{4f} - A_a$

$$10 \quad P4 * A_{4f} + P_{salida} * A'_{4p} - P_{salida} * A_{4p} - P4 * A'_{4p} - Patm * A_a = 0$$

$$P4 * A'_{4p} - P_{salida} * A'_{4p} = P4 * A_{4f} - P_{salida} * A_{4p} - Patm * A_a$$

$$15 \quad A'_{4p} * (P4 - P_{salida}) = P4 * A_{4f} - P_{salida} * (A_{4f} - A_a) - Patm * A_a$$

$$A'_{4p} * (P4 - P_{salida}) = A_{4f} * (P4 - P_{salida}) + A_a * (P_{salida} - P_{atm})$$

20 La cuarta área anular posterior "A'\_{4p}", tal como cancelar totalmente la fuerza axial resultante para una condición de diseño dada, es por lo tanto igual a:

$$A'_{4p} = A_{4f} + A_a * (P_{salida} - P_{atm}) / (P4 - P_{salida})$$

o, dicho de otro modo:

$$25 \quad A_{5f} = A_a * (P4 - P_{atm}) / (P4 - P_{salida})$$

30 Si el diseño proporciona una alta presión de descarga "P\_salida" de la máquina, por ejemplo, 15 bar, y si se supone una relación de expansión de 1,2 en el último rotor ( $P4 = 1.2 * P_{salida}$ ), El área "A\_{5f}" necesaria para eliminar el empuje viene dada por:

$$A_{5f} = A_a * (18-1) / (18-15) = 5.66 * A_a$$

35 La Figura 6 ilustra que, con tal área, a una presión de 15 bar, la fuerza axial resultante es cero. Tales valores de empuje son incluso más bajos y son "soportables" por los rodamientos que normalmente se usan en expansores orgánicos. De hecho, si se supone un eje con un diámetro de 120 mm, una presión atmosférica igual a 101.000 Pa, una presión de salida de diseño "P4" del último estator igual a 15 bar y una beta de expansión del último rotor igual a 1,2, el empuje será mínimo cuando "P4" = 0 bar absoluto (bajo vacío) e igual a -1.142 N, y será máximo para considerar la presión máxima, que en un ciclo ORC generalmente nunca excede los 30 bares absolutos, y es igual a +1.142 N.

Comparando las dos soluciones, la segunda solución tiene una clara ventaja cuando la presión de descarga "P\_salida" de la máquina es alta (> 5 bar absolutos).

45 En realizaciones variantes no ilustradas, la cámara de compensación anular posterior está ubicada en una posición radial diferente, por ejemplo, el radialmente más interno. Preferentemente, la cámara de compensación anular posterior es la que tiene la presión más cercana a la presión externa / atmosférica.

50 En realizaciones variantes no ilustradas, el paso axial respectivo para el fluido de trabajo está delimitado entre etapas radialmente adyacentes y las juntas radiales están interpuestas entre cada anillo con palas principal y auxiliar de una misma etapa.

55 La Figura 3 ilustra una realización adicional. La realización de la Figura 3 difiere de las de las Figuras 1 y 2 ya que la turbina 1 es de tipo contra-giratorio. La turbina 1 comprende un primer rotor 2' y un segundo rotor 2''. El primer rotor 2' comprende un primer disco 6' del rotor y un primer eje de giro 4' integral con el primer disco 6' del rotor y que puede girar en la carcasa fija 3 alrededor del eje central "X-X". El primer disco 6' del rotor lleva, en una cara frontal 7', los anillos con palas concéntricos principales 9', 9'', 9''', 9''''.

60 El segundo rotor 2'' comprende un segundo disco 6'' del rotor y un segundo eje de giro 4'' integral con el segundo disco 6'' del rotor y que puede girar en la carcasa alrededor del eje central "X-X" en una dirección opuesta con respecto al primer disco 6' del rotor.

65 El segundo disco 6'' del rotor lleva, en una cara frontal 7'', los anillos con palas auxiliares concéntricos 15', 15'', 15''', que también son anillos del rotor con palas. En particular, un primer anillo con palas principal 9' se coloca en una posición radialmente más interna y, alejándose radialmente del eje central, Le sigue: un primer anillo con palas auxiliar 15', un segundo anillo con pala principal 9'', un segundo anillo auxiliar 15'', un tercer anillo con pala principal

9", un tercer anillo con pala auxiliar 15" y un cuarto anillo con pala principal 9"". Un anillo de sellado radialmente externo 39 se extiende desde la cara frontal 7" del segundo disco 6" del rotor y rodea el anillo circular 18 del cuarto anillo con palas principal 9"".

- 5 La estructura de la cámara frontal sustancialmente cilíndrica 30, las cámaras principales frontales anulares 33, 35, 36, las cámaras principales anulares posteriores 41', 41", 41"', 41''', el segundo, tercer y cuarto pasos axiales 29", 29"', 29''' y la segunda, tercera y cuarta cámaras anulares frontales auxiliares 34, 37, 38 son sustancialmente iguales a los descritos para las turbinas de las Figuras 1 y 2.
- 10 A diferencia de esas turbinas, la turbina de la Figura 3 no tiene el primer paso axial 29' y no tiene la primera cámara anular frontal auxiliar 32 (sino solo las otras tres 34, 37, 38).

- Asimismo, el segundo disco 6" del rotor está también axialmente equilibrado de acuerdo con el mismo principio que en el primer disco 6' del rotor. La turbina 1 de la Figura 3 tiene de hecho cámaras posteriores auxiliares 47', 47", 47"', 47''' para equilibrar el empuje axial. Los anillos de sellado auxiliares concéntricos 48', 48", 48"', 48''' integrales con la carcasa fija 3 y las proyecciones anulares auxiliares 49', 49", 49"', 49''' integrales con el segundo disco 6" del rotor delimitan dichas cámaras posteriores auxiliares 47', 47", 47"', 47''', que están en comunicación con las respectivas cámaras anulares frontales auxiliares 34, 37, 38 a través de los respectivos conductos 50, 51, 52, 53 formados en el segundo disco 6" del rotor.
- 15
- 20

En otras realizaciones variantes no ilustradas, la turbomáquina radial puede ser centrípeta y/o puede ser un compresor y/o estar diseñada para trabajar con vapor.

## REIVINDICACIONES

1. Turbomáquina radial con compensación de empuje axial, que comprende:

5 una carcasa fija (3);  
 una pluralidad de anillos concéntricos principales (9', 9", 9"', 9''''), dispuestos en la carcasa fija (3) alrededor de un eje central (X-X);  
 una pluralidad de anillos con palas concéntricos auxiliares (15', 15", 15"', 15''''), dispuestos en la carcasa fija (3) alrededor de dicho eje central (X-X); en donde los anillos con palas auxiliares (15', 15", 15"', 15''') se alternan radialmente con los anillos con palas principales (9', 9", 9"', 9'''');  
 10 en donde las palas (19) de dichos anillos con palas principales (9', 9", 9"', 9''') y de dichos anillos con palas auxiliares (15', 15", 15"', 15''') delimitan una trayectoria radial (16) para un fluido de trabajo;  
 al menos un rotor (2, 2'), que comprende un disco del rotor (6, 6') y un eje de giro (4, 4', 4'') integral con el disco del rotor (6, 6'), y que puede girar en la carcasa fija (3) alrededor del eje central (X-X), en donde el disco del rotor (6, 6') lleva, en una cara frontal (7, 7'), los anillos con palas principales (9', 9", 9"', 9'''');  
 15 en donde dichos anillos con palas principales (9', 9", 9"', 9''') y auxiliares (15', 15", 15"', 15''') delimitan, con el disco del rotor (6, 6'), una pluralidad de cámaras principales frontales concéntricas (30, 33, 35, 36) a diferentes presiones;  
**caracterizada por que:**

20 una pluralidad de cámaras principales anulares concéntricas posteriores (41', 41", 41"', 41''''), cada una en comunicación fluida con una cámara principal frontal respectiva (30, 33, 35, 36) y a la misma presión que dicha cámara principal frontal respectiva (30, 33, 35, 36), se delimita entre una cara posterior (8, 8') del disco del rotor (6, 6') y la carcasa fija (3);  
 en donde un área anular posterior (A\_1p, A\_2p, A\_3p, A\_4p, A'\_4p) del disco del rotor (6, 6') que delimita cada una de las cámaras principales anulares posteriores (41', 41", 41"', 41''') es igual o sustancialmente igual a un área frontal (A\_1f, A\_2f, A\_3f, A\_4f) respectiva de dicho disco del rotor (6, 6') que delimita una cámara principal frontal (30, 33, 35, 36) respectiva, de modo que la fuerza ejercida por la presión del fluido de trabajo en cada cámara principal anular posterior (41', 41", 41"', 41''') equilibra sustancialmente la fuerza ejercida por la presión del fluido de trabajo en la cámara principal frontal (30, 33, 35, 36) respectiva.

2. Turbomáquina de acuerdo con la reivindicación 1, en la que las juntas radiales (31) se interponen entre un anillo con palas principal (9', 9", 9"', 9''') y un anillo con palas auxiliar radialmente externo (15', 15", 15"', 15'''), para evitar el flujo axial del fluido de trabajo, y en donde entre dicho anillo con palas principal (9', 9", 9"', 9''') y un anillo con palas auxiliar radialmente interno (15', 15", 15"', 15''') se delimita un paso axial (29', 29", 29"', 29''') respectivo para el fluido de trabajo; en donde dicho paso axial (29', 29", 29"', 29''') para el fluido de trabajo intersecta la trayectoria radial (16) y está en comunicación fluida con una cámara principal frontal (30, 33, 35, 36) respectiva.

3. Turbomáquina de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en donde una pluralidad de anillos de sellado principales concéntricos (40', 40", 40"', 40''') están dispuestos en una cara posterior (7, 7') del disco del rotor (6, 6'), en donde dichos anillos de sellado principales (40', 40", 40"', 40''') junto con la carcasa fija (3), delimitan las cámaras principales anulares posteriores (41', 41", 41"', 41''').

4. Turbomáquina de acuerdo con la reivindicación anterior, en donde cada cámara principal anular posterior (41', 41", 41"', 41''') está ubicada en la cámara principal frontal respectiva (30, 33, 35, 36) y en comunicación fluida con dicha cámara principal frontal respectiva (30, 33, 35, 36) a través de al menos un conducto (43, 44, 45, 46), formado en el disco del rotor (6, 6').

5. Turbomáquina de acuerdo con la reivindicación anterior, en la que dicho conducto (43, 44, 45, 46) se extiende sustancialmente paralelo al eje central (X-X).

6. Turbomáquina de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en la que todas las áreas anulares posteriores (A\_1p, A\_2p, A\_3p, A\_4p) son idénticas a las áreas frontales (A\_1f, A\_2f, A\_3f) respectivas excepto una, denominada área de compensación (A\_4p, A'\_4p) del eje (4, 4', 4''), en donde dicha área de compensación (A\_4p, A'\_4p) del eje (4, 4', 4'') corresponde a una cámara de compensación anular posterior (41''').

7. Turbomáquina de acuerdo con la reivindicación anterior, en la que la cámara de compensación anular posterior (41''') es la radialmente más externa.

8. Turbomáquina de acuerdo con la reivindicación anterior, en la que el anillo con palas principal radialmente más externo (9''') está situado en un borde periférico del disco del rotor (6, 6'), y el área de compensación (A\_4p, A'\_4p) del eje (4, 4', 4'') es igual a la diferencia entre el área anular frontal respectiva (A\_4f) y un área de sección transversal (A\_a) del eje de giro (4, 4', 4'').

9. Turbomáquina de acuerdo con la reivindicación 7, en la que un borde periférico del disco del rotor (6, 6') se extiende radialmente más allá del anillo con palas principal radialmente más externo (9''') y el área de compensación (A'\_4p) del eje (4, 4', 4'') es igual a la suma del área anular frontal (A\_4f) respectiva y a un factor que es función del

área de la sección transversal ( $A_a$ ) del eje de giro (4, 4', 4'') y de la presión externa ( $P_{atm}$ ).

- 5 10. Turbomáquina de acuerdo con la reivindicación anterior, en la que para cancelar completamente la fuerza axial resultante, el área de compensación del eje es igual a:  $A'_{4p} = A_{4f} + A_a * (P_{salida} - P_{atm}) / (P_4 - P_{salida})$ , en donde  $P_{salida}$  es la presión de descarga de la turbomáquina, y  $P_4$  es la presión en la cámara de compensación anular posterior (41''').
- 10 11. Turbomáquina de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores 2 a 10, en donde solo hay un rotor (2) y los pares de anillos principales y auxiliares (9', 9'', 9''', 9''''', 15', 15'', 15''') radialmente adyacentes delimitan, con el disco del rotor (2), una cámara frontal principal (33, 35, 36) y, con la carcasa fija (3), una cámara frontal auxiliar (32, 34, 37, 38), en donde dichas cámaras frontales principales y auxiliares (33, 35, 36, 32, 34, 37, 38) están conectadas mutuamente por el respectivo paso axial (29', 29'', 29''', 29''''').
- 15 12. Turbomáquina de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores 2 a 10, que comprende un primer rotor (2') y un segundo rotor (2''); en donde el primer rotor (2') comprende un primer disco del rotor (6') que lleva, en una cara frontal (7'), los anillos con palas concéntricos principales (9', 9'', 9''', 9'''''); en donde el segundo rotor (2'') comprende un segundo disco del rotor (6'') que lleva, en una cara frontal (7''), los anillos con palas concéntricos auxiliares (15', 15'', 15'''); en donde los pares de anillos con palas (9', 9'', 9''', 9''''', 15', 15'', 15''') radialmente adyacentes delimitan, con el primer disco del rotor (2'), una cámara frontal principal (33, 35, 36) y, con el segundo disco del rotor (2''), una cámara frontal auxiliar (34, 37, 38), en donde dichas cámaras principales y auxiliares (33, 35, 36, 34, 37, 38) están conectadas mutuamente por el respectivo paso axial (29', 29'', 29''', 29''''').
- 20 13. Turbomáquina de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde las cámaras frontales principales (30, 33, 35, 36) comprenden una cámara frontal central sustancialmente cilíndrica (30), definiendo un área circular frontal ( $A_{-1p}$ ), y una pluralidad de cámaras anulares principales (33, 35, 36), dispuestas alrededor de la cámara circular central (30), definiendo cada una un área anular frontal ( $A_{2p}$ ,  $A_{3p}$ ,  $A_{4p}$ ,  $A'_{4p}$ ).
- 25 14. Turbomáquina de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha turbomáquina es una turbina centrífuga radial.
- 30

FIG.1

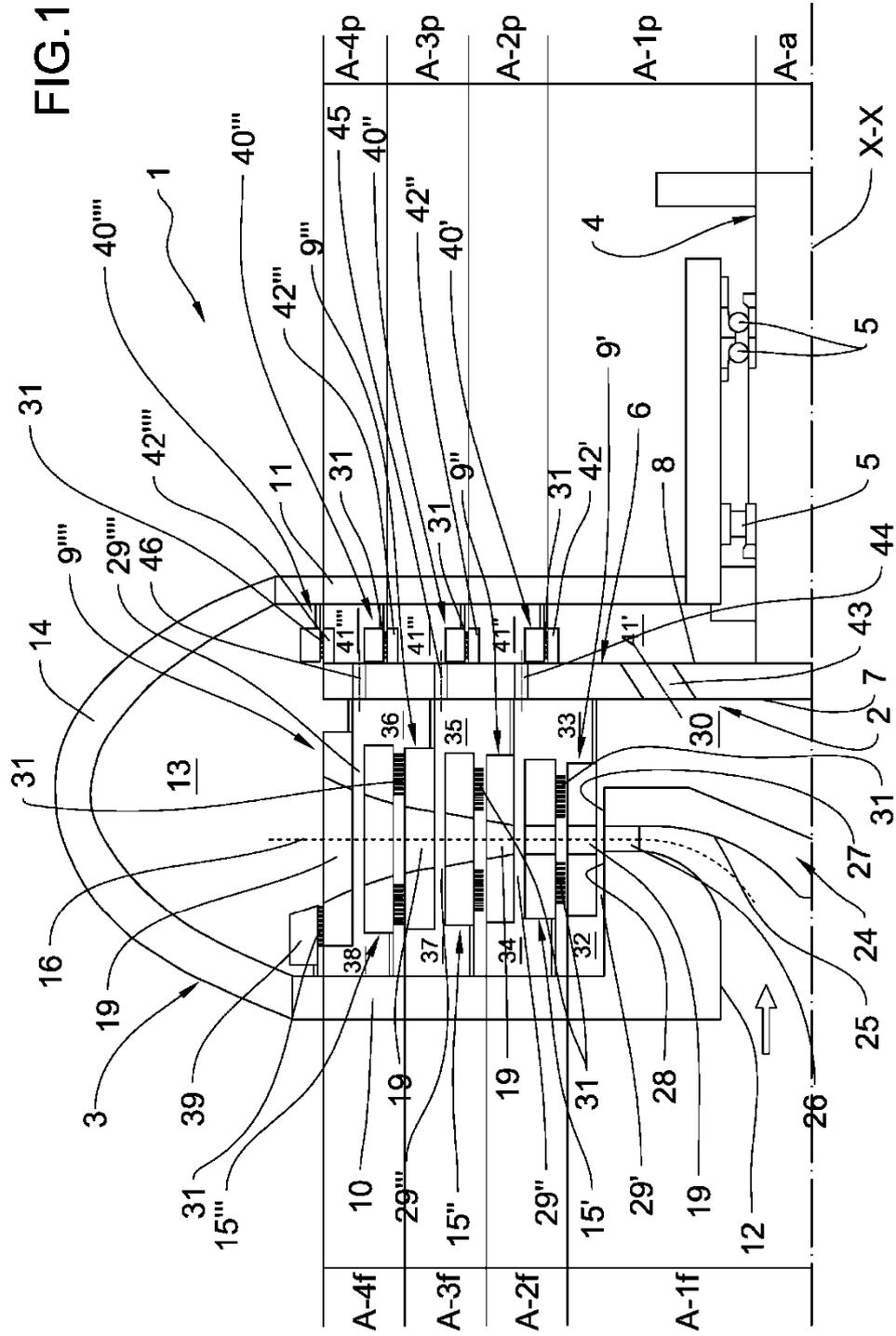
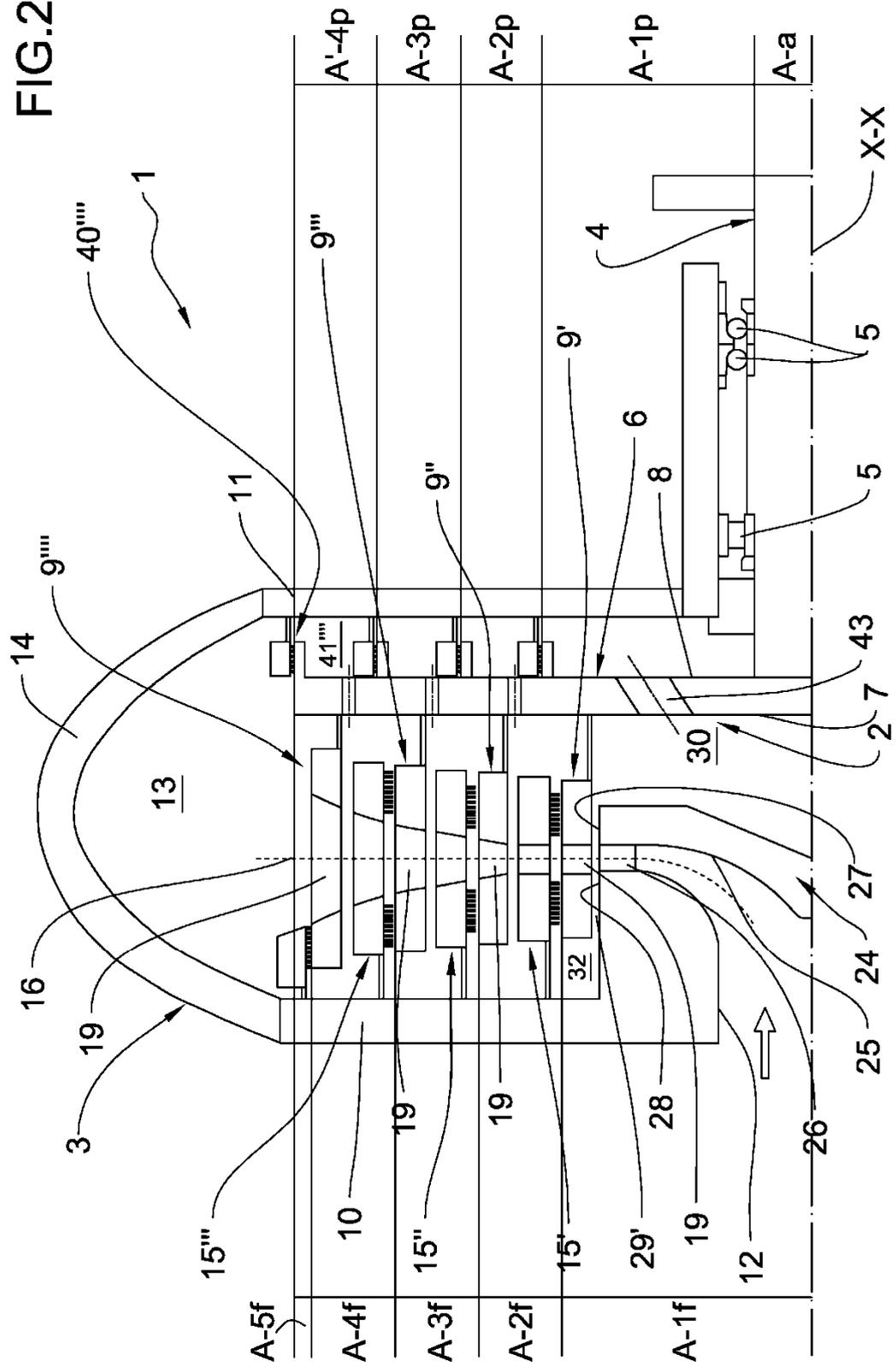


FIG.2



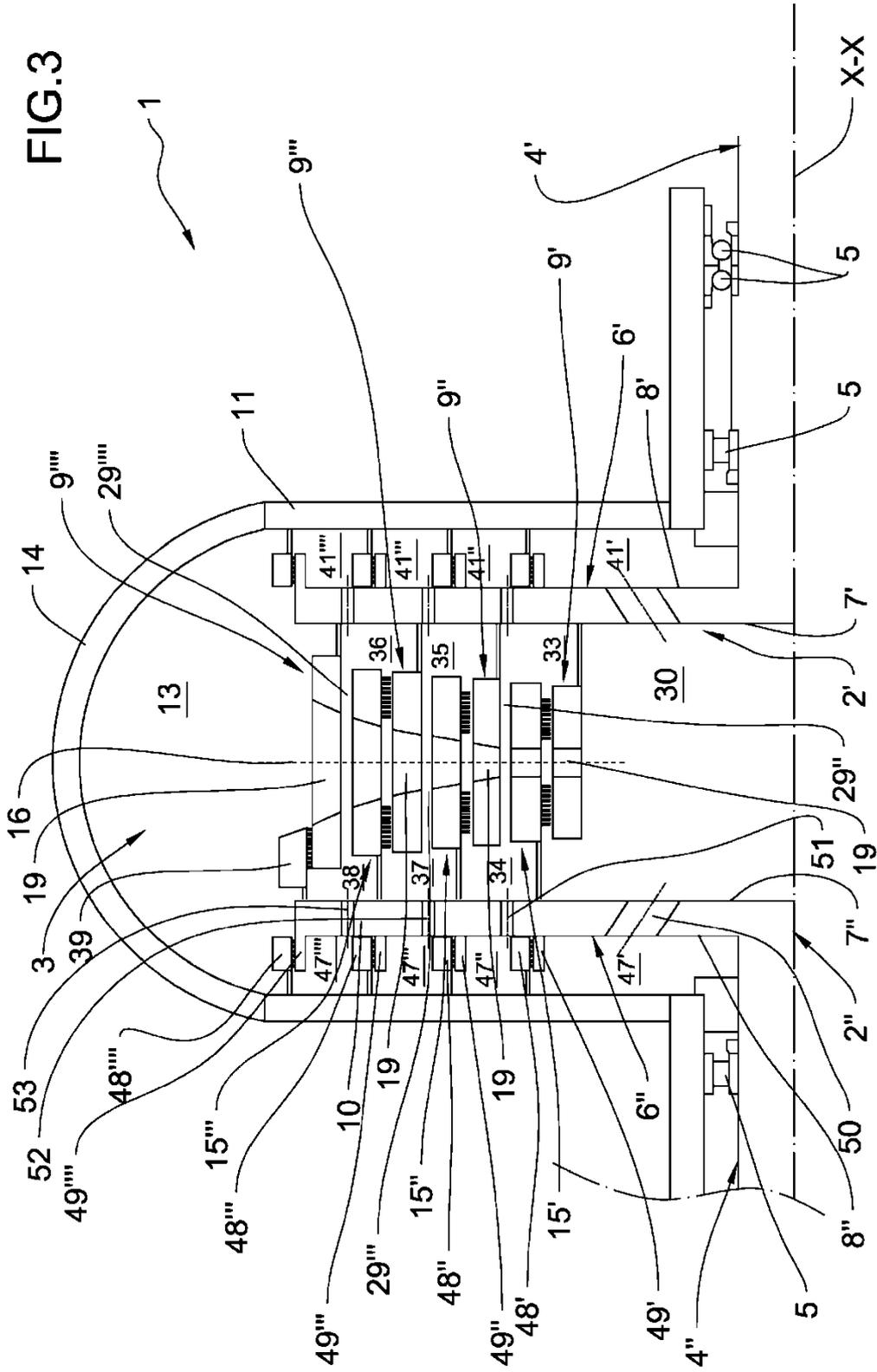


FIG.4

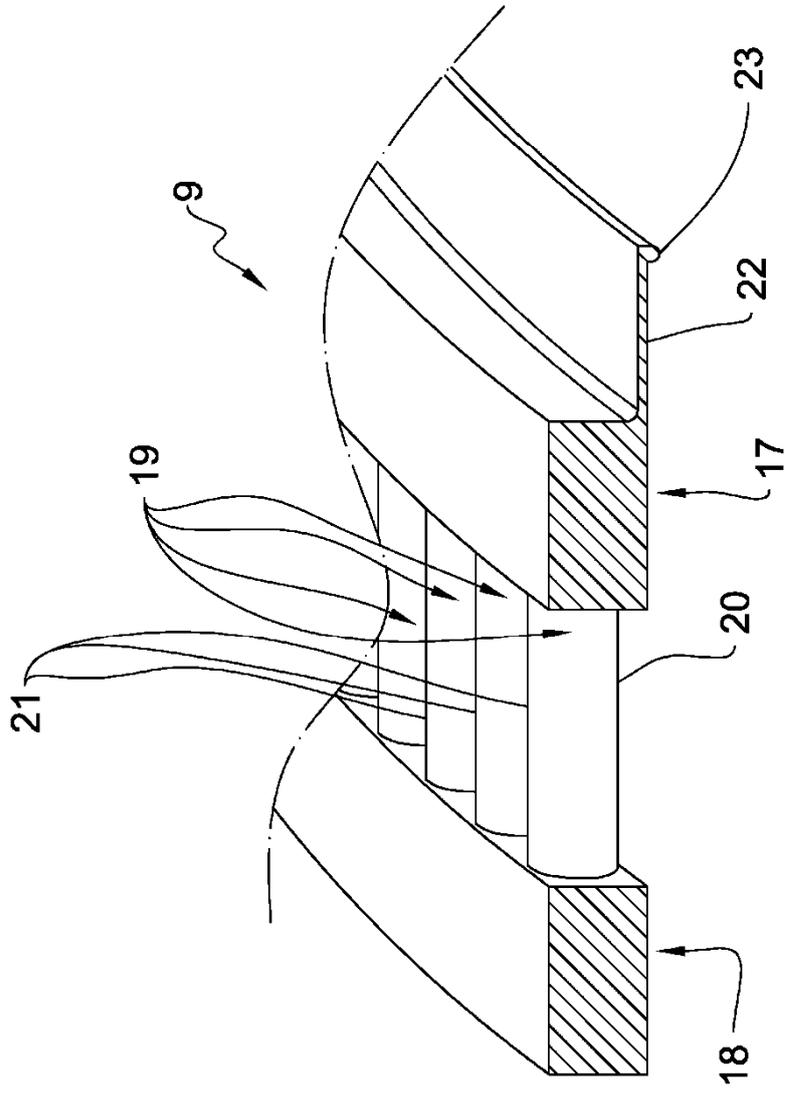


FIG.5

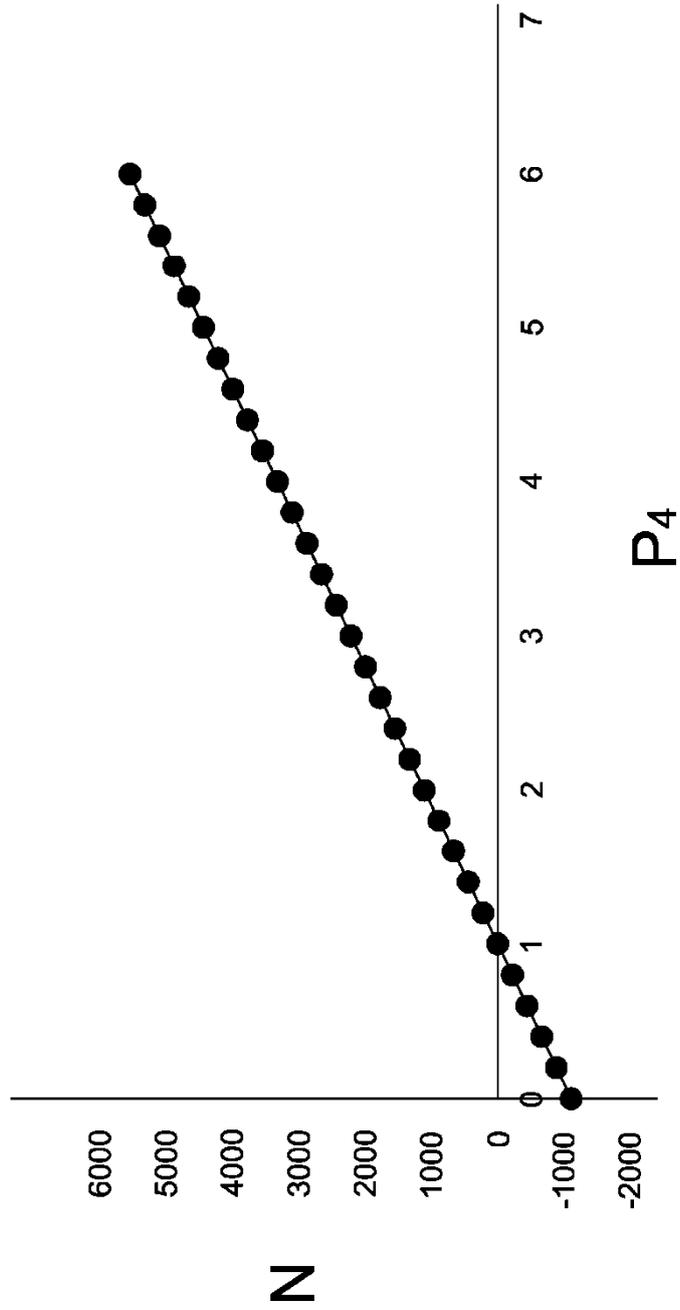


FIG.6

