

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 870**

51 Int. Cl.:

**F01K 25/10** (2006.01)  
**F01D 9/04** (2006.01)  
**F01D 1/04** (2006.01)  
**F01D 1/06** (2006.01)  
**F01D 1/12** (2006.01)  
**F01K 7/02** (2006.01)  
**F01K 7/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.12.2012 PCT/IB2012/057410**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **25.07.2013 WO13108099**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2012 E 12820924 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.06.2017 EP 2805034**

54 Título: **Procedimiento y turbina para expandir un fluido de trabajo orgánico en un ciclo de Rankine**

30 Prioridad:

**20.01.2012 IT BS20120008**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.11.2017**

73 Titular/es:

**TURBODEN S.P.A. (100.0%)  
Via Cernaia 10  
25124 Brescia, IT**

72 Inventor/es:

**GAIA, MARIO y  
BINI, ROBERTO**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 640 870 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

Procedimiento y turbina para expandir un fluido de trabajo orgánico en un ciclo de Rankine

### **Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para expandir un fluido de trabajo orgánico en un ciclo de Rankine y a una turbina que permite implementar dicho procedimiento.

### **Estado de la técnica**

Con el acrónimo COR "Ciclo orgánico de Rankine" se identifican habitualmente ciclos termodinámicos de tipo Rankine, que se utilizan en plantas correspondientes para la producción de energía eléctrica a partir de energía térmica utilizando un fluido de trabajo orgánico con alta masa molecular.

10 Por ejemplo, las plantas de COR se utilizan para la producción combinada de energía eléctrica y térmica a partir de biomasa sólida; alternativamente se utiliza el calor residual de los procedimientos industriales, la recuperación de calor de motores principales o fuentes de calor geotérmico.

Por ejemplo, una planta de COR alimentada con biomasa normalmente comprende:

- 15 - una cámara de combustión alimentada con biomasa de combustible;
- un intercambiador de calor provisto para dar parte del calor de los humos/gases de la combustión a un fluido de transferencia de calor, tal como un aceite diatérmico, suministrado por un circuito intermedio;
- un intercambiador de calor provisto para dar una parte del calor del fluido de transferencia de calor intermedio a un fluido de trabajo a evaporar;
- 20 - una turbina alimentada con un fluido de trabajo en estado de vapor; y
- un generador eléctrico activado mediante la turbina para producir energía eléctrica.

25 En la cámara de combustión, el fluido de transferencia de calor, por ejemplo aceite diatérmico, se calienta normalmente hasta una temperatura igual a aproximadamente 300 °C. El fluido de transferencia de calor circula en un circuito cerrado, pasando a través del intercambiador de calor mencionado anteriormente, en el que se evapora el fluido de trabajo orgánico. El vapor del fluido de trabajo se expande en la turbina, produciendo energía mecánica, transformada entonces en energía eléctrica por el generador conectado al árbol de la propia turbina. A medida que finaliza la expansión respectiva en la turbina, el vapor del fluido de trabajo se condensa en un condensador apropiado, dando calor a un fluido de refrigeración, normalmente agua, usado corriente abajo de la planta como portador de calor a aproximadamente 80 °C-90 °C, por ejemplo para la calefacción urbana. Se alimenta fluido de trabajo al intercambiador de calor cruzado por el fluido de transferencia de calor, completando el ciclo en circuito cerrado.

30 La potencia eléctrica producida puede utilizarse para activar dispositivos auxiliares de la planta y/o puede introducirse en una red de distribución de energía.

35 En plantas de COR caracterizadas por una relación de expansión alta y un cambio de entalpía del fluido de trabajo en la turbina alto, este último está provisto de tres o más etapas, donde con el término *etapa* se entiende el montaje de una serie de álabes de estátor y la serie correspondiente de álabes de rotor.

A medida que el número de etapas de la turbina aumenta en un cierto límite, será conveniente el uso de dos turbinas conectadas en serie para activar un solo generador. Por lo tanto, en lugar de aumentar el número de etapas en una sola turbina, por ejemplo hasta seis etapas o más, se adoptan dos turbinas, ambas con tres etapas.

40 Por ejemplo, en una planta diseñada por el solicitante para producir 5 MW, en lugar de utilizar una única turbina axial de seis etapas, concebida para girar a 3.000 rpm, se utilizan dos turbinas axiales, una a alta presión y la otra a baja presión, conectada con el eje respectivo a un único generador, en lados opuestos con respecto a este último.

45 Las soluciones con varias turbinas, como la descrita anteriormente, tienen más de un inconveniente de tipo técnico y económico. La planta debe estar provista de una serie de reductores para acoplar las turbinas al generador, de válvulas para la entrada de vapor en la turbina de baja presión además de válvulas de admisión de alta presión, de un conducto aislado para la conexión fluida entre las turbinas, de cojinetes dobles, etc. Esto implica un aumento de los costes de producción, así como dificultades técnicas para arrancar, detener y operar la planta.

50 La solicitud de patente de Estados Unidos 2008/0252077 describe una turbina para aplicaciones en plantas COR (párr. 11). La turbina es de tipo radial centrípeta, con una sola etapa, por lo tanto la expansión del fluido de trabajo se produce sustancialmente a través del eje de la propia turbina; el escape se produce sustancialmente en la dirección axial.

En campos diferentes de lo que se ha descrito anteriormente, se han propuesto turbinas de gas provistas de etapas radiales que alternan con etapas axiales.

5 Por ejemplo, la patente de Estados Unidos 3.462.953 describe una turbina de gas para aplicaciones aeronáuticas, que por lo tanto no funciona de acuerdo con un ciclo de Rankine, que comprende una serie de álabes de rotor interpuestos entre las primeras etapas radiales que entran en la turbina y las etapas axiales que salen de la turbina. Estos álabes de rotor se disponen para desviar el gas de una dirección de expansión radial a una dirección de expansión axial.

Los documentos US 4.435.121, WO 2006/048401, DE 554163 y US 2011/085887 son descriptivos del estado de la técnica.

### **Objeto y resumen de la invención**

10 Es un objeto de la presente invención proporcionar una turbina y un procedimiento para expandir un fluido de trabajo orgánico en un ciclo de Rankine que permita solucionar los inconvenientes de las soluciones conocidas.

La presente invención, en un primer aspecto de la misma, se refiere por lo tanto a un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1.

15 En particular, la presente invención se refiere a un procedimiento para expandir un fluido de trabajo orgánico en un ciclo de Rankine, que comprende la fase de alimentar el fluido de trabajo a una turbina no centrípeta provista de una pluralidad de etapas, definidas cada una por una serie de álabes de estátor que alternan con una serie de álabes de rotor vinculados a un árbol que gira sobre el respectivo eje de rotación. Ventajosamente, el procedimiento comprende las fases adicionales de:

- a) inducir una primera expansión del fluido de trabajo a través de una o más etapas radiales,
- b) desviar el fluido de trabajo en una serie de álabes, denominados álabes angulares, de la dirección de expansión inicial sustancialmente radial a una dirección de expansión sustancialmente axial y tangencial (con respecto a un observador integrado con dichos álabes angulares), y
- c) proporcionar una segunda expansión de fluido a través de una o más etapas axiales.

20 La fase b) corresponde a un cambio de entalpía total o de entalpía sensible del fluido de trabajo igual al menos al 50 % del cambio de entalpía total medio proporcionado para completar la expansión de fluido en toda la turbina.

25 Con el término *cambio de entalpía total medio* se concibe la relación entre el cambio de entalpía total de todas las etapas y el número de etapas en las que se lleva a cabo la expansión. El cambio de entalpía total de todas las etapas corresponde a la diferencia entre la entalpía total del fluido de trabajo corriente abajo de todas las etapas y la entalpía total del fluido corriente arriba de todas las etapas.

30 En el ámbito de la presente invención se hace referencia, como es habitual frecuentemente en el campo de la turbina, a un sistema de coordenadas axialmente simétrico en el que un plano genérico, sobre el que se encuentra el eje de rotación del árbol de la turbina, se llama plano meridiano. La dirección ortogonal al eje de la máquina y que se encuentra en el plano meridiano considerado se denomina dirección radial. Con el término dirección tangencial en un punto de un plano meridiano se identifica la dirección ortogonal al plano meridiano y ortogonal a la dirección radial que pasa a través del punto. Una dirección paralela al eje de la máquina se define como dirección axial.

35 Más en detalle, una etapa axial comprende una serie de álabes de estátor y una serie correspondiente de álabes de rotor, corriente arriba y corriente abajo respectivamente de la dirección de flujo másico; a su vez el flujo se produce principalmente gracias a la componente de velocidad axial dentro del flujo.

40 Una etapa axial comprende una serie de álabes de estátor y una serie correspondiente de álabes de rotor, corriente arriba y corriente abajo respectivamente de la dirección de flujo másico; a su vez el flujo se produce principalmente gracias a la componente de velocidad radial dentro del flujo.

Al realizar una primera expansión con etapas radiales y una segunda expansión con etapas axiales se obtienen excelentes resultados en términos de eficiencia para las mismas condiciones, sin tener que proporcionar necesariamente dos turbinas sino, por el contrario, utilizando una única turbina radial-axial.

45 En particular, el procedimiento permite evitar el uso de una turbina axial de alta presión y de una turbina axial de baja presión. La primera expansión de alta presión se produce radialmente con el flujo centrífugo, en las etapas radiales correspondientes de la turbina, y la segunda expansión de baja presión se produce axialmente, en las etapas axiales correspondientes de la misma turbina.

Evidentemente, el procedimiento proporciona que el fluido se desvíe entre las dos expansiones de la dirección de expansión radial inicial a la dirección de expansión axial final.

50 Los álabes angulares son álabes de estátor o, alternativamente, álabes de rotor.

Las fases a)-c) se llevan a cabo en una única turbina radial-axial. Preferentemente, la fase a) se lleva a cabo llevando el fluido de trabajo a través de al menos una serie de álabes de estátor y de una serie correspondiente de álabes de rotor dispuestos alternativamente en la dirección radial. La fase c) se lleva a cabo llevando el fluido de

trabajo a través de al menos una serie de álabes de estátor y de una serie correspondiente de álabes de rotor dispuestos alternativamente en la dirección axial. La fase b) se lleva a cabo llevando el fluido a través de una serie de álabes de estátor o de rotor, denominados álabes angulares, seguidos o precedidos por la serie correspondiente de álabes de rotor o de estátor, respectivamente.

- 5 Al llevar a cabo el procedimiento descrito anteriormente, el vapor del fluido de trabajo se expande en una única turbina y, por tanto, se evita la instalación de dos turbinas en cascada o la adopción de una turbina axial con varias etapas (por ejemplo más de tres), con obvias ventajas técnicas y económicas.

10 Con respecto a la solución descrita en la patente de Estados Unidos 3.462.953, la presente invención proporciona que los álabes angulares estén dispuestos para realizar un cambio de entalpía del fluido de trabajo mayor o igual al 50 % del cambio de entalpía medio de toda la expansión en la turbina. En otras palabras, los álabes angulares descritos en la patente de Estados Unidos 3.462.953 tienen un papel marginal en la transformación de la energía del fluido de trabajo; por el contrario en la presente invención, los álabes angulares están dispuestos para transformar una porción significativa y cuantificada de forma precisa de la energía del fluido como entrada a la potencia del árbol de la turbina. Esto corresponde a una desviación tangencial que los álabes angulares imparten al fluido de trabajo.

15 En una realización de procedimiento, los álabes angulares de la turbina son álabes de estátor; el flujo de vapor en expansión se desvía en dirección axial y en dirección tangencial, es decir, en la serie de álabes angulares y para un observador integrado con éstos se minimiza la componente radial del vector de velocidad del flujo de fluido de trabajo y la componente axial y la componente tangencial del mismo vector de velocidad se maximizan.

20 En una realización de procedimiento alternativa, los álabes angulares son álabes de rotor y entre las fases b) y c) se lleva a cabo una fase adicional d) de invertir el sentido de la dirección de expansión de vapor corriente abajo de la serie de álabes angulares. En otros términos, el fluido que pasa a través de la serie de álabes angulares de rotor se desvía en una dirección sustancialmente axial, pero a contraflujo con respecto a la dirección de cruce de etapas axiales de la turbina. Más detalladamente, la serie de álabes angulares de rotor produce un efecto sobre el flujo de fluido de trabajo minimizando o eliminando la componente radial del respectivo vector de velocidad y aumentando la  
25 componente axial y la componente tangencial del mismo vector de velocidad en el movimiento relativo, para un observador integrado con los álabes angulares. En el movimiento absoluto, es decir, para un observador estacionario, el vector de velocidad del fluido de trabajo que sale de la serie álabes angulares es sustancialmente axial, es decir, la componente tangencial del vector de velocidad en el movimiento absoluto es más o menos nula porque se equilibra con la velocidad tangencial de los mismos álabes angulares (denominadas convencionalmente  
30 con el término velocidad al arranque).

Por lo tanto, el fluido corriente abajo de los álabes angulares de rotor se desvía adicionalmente de aproximadamente 180 °, para dirigirse adecuadamente a las etapas axiales y a la salida de la turbina. La inversión se obtiene preferentemente proporcionando a la turbina un conducto sustancialmente toroidal que conecta la sección de salida de los álabes angulares a la sección de entrada de la serie de álabes de estátor inmediatamente corriente abajo; en  
35 la sección axial el conducto se extiende de acuerdo con una curva en forma de U.

En su segundo aspecto, la presente invención se refiere a una turbina de acuerdo con la reivindicación 6 para la expansión de un fluido de trabajo orgánico en un ciclo de Rankine.

40 En particular, la turbina comprende series de álabes de estátor y series de álabes de rotor alternados con los anteriores y un árbol para soportar los álabes de rotor que está girando sobre el eje de rotación respectivo. En una primera sección de la turbina, las series de álabes de estátor y las series de álabes de rotor se alternan en una dirección sustancialmente radial; en una segunda sección de la turbina, las series de álabes de estátor y las series de álabes de rotor se alternan en una dirección sustancialmente axial. Entre la primera y la segunda sección de la turbina hay al menos una serie de álabes de estátor o de rotor, denominados *álabes angulares superiores*, dispuestos para desviar el fluido de trabajo de una dirección de expansión sustancialmente radial en el movimiento  
45 absoluto a una dirección sustancialmente axial en el movimiento absoluto y tangencial en el movimiento absoluto o en el movimiento relativo, dependiendo de si los álabes angulares son, álabes de estátor o álabes de rotor respectivamente. En otras palabras, los álabes angulares están dispuestos para minimizar o eliminar, para un observador estacionario, la componente radial del vector de velocidad del fluido de trabajo que entra en la serie, y para aumentar, para un observador estacionario, la componente axial del vector de velocidad del fluido que sale de  
50 la serie y para aumentar también, para un observador integrado con los álabes angulares, la componente tangencial del vector de velocidad del fluido que sale de la serie.

El cambio de entalpía del fluido de trabajo expandido a través de los álabes angulares es igual a al menos el 50 % del cambio de entalpía medio proporcionado para completar la expansión de fluido en toda la turbina.

55 Preferentemente, el borde de ataque de los álabes angulares se extiende en una dirección sustancialmente axial, que es sustancialmente paralela al eje del árbol de la turbina, y el borde de salida respectivo se extiende en una dirección sustancialmente radial, que es sustancialmente ortogonal al eje del árbol de la turbina .

Preferentemente, los álabes angulares se extienden en una dirección radial y axial sustancialmente curvada. En otras palabras, la superficie de cada álabe angular fuerza el flujo de vapor del fluido de trabajo a cambiar la dirección

de expansión de radial a axial.

5 En la realización preferida, los álabes angulares se extienden al menos en parte en la dirección tangencial para aumentar la componente tangencial del vector de velocidad del fluido de trabajo. De esta manera, es posible acelerar el fluido durante el desvío del flujo a una ventaja de eficiencia, gracias a la reducción de espesor de la capa límite adyacente a las superficies de guía de flujo.

En una realización, la turbina comprende un colector de admisión axial del fluido de trabajo dispuesto alineado con el árbol de la misma turbina. En este caso los álabes angulares son álabes de estátor.

10 La desviación del flujo de fluido de trabajo que causa la serie de álabes angulares corresponde a una disminución de la entalpía. El cambio de entalpía que ocurre en la serie de álabes angulares es causado principalmente por una disminución de la presión de fluido entre cada álabe angular adyacente, con respecto al valor de presión corriente arriba de la propia serie. De manera correspondiente ocurre una conversión casi total de energía de presión en energía cinética, con pérdidas dinámicas de fluido mínimas.

15 En términos cuantitativos, la serie de álabes angulares puede trabajar al menos la mitad del cambio de entalpía medio (definido por la relación entre el cambio de entalpía total obtenido en la turbina y el número de sus etapas) y, en la serie de álabes angulares, al menos el 10 % del cambio de entalpía disponible para la propia serie se transforma en energía cinética del fluido de trabajo en movimiento relativo.

Preferentemente, en esta realización, el árbol está soportado en voladizo por cojinetes provistos alrededor del árbol, en el lado opuesto con respecto al colector de admisión.

20 En una realización alternativa, la turbina comprende una voluta de inversión de flujo. Los álabes angulares son álabes de rotor y la voluta define una curva de aproximadamente 180 ° entre ellas y la serie de álabes de estátor inmediatamente corriente abajo, es decir define el conducto sustancialmente toroidal descrito anteriormente. De este modo se obtiene la inversión del sentido de la dirección axial de la expansión de vapor del fluido de trabajo.

25 En esta última realización descrita, preferentemente la sección o conducto de paso que se extiende entre los álabes angulares y dicha curva se aumenta al menos parcialmente para obtener una desaceleración del fluido de trabajo antes de invertir la dirección de expansión respectiva. Corriente abajo, o a lo largo de dicha curva, la voluta puede estar provista de al menos un puerto de entrada/extracción del fluido de trabajo. Puede disponerse un colector de admisión del fluido de trabajo radialmente con respecto al árbol, junto a los respectivos cojinetes de soporte.

30 Generalmente, al menos una serie de álabes de rotor está montada preferentemente sobre discos de soporte acoplados a las correspondientes bridas del árbol con un dentado Hirth. Este tipo de acoplamiento tiene un efecto de autocentrado de los discos de soporte con respecto al árbol.

Para evitar que el árbol que lleva los discos de soporte se someta a efectos no deseados de empujes axiales, la turbina está provista de cámaras, definidas por volúmenes internos correspondientes de la turbina, gracias a los que se determina un equilibrio de presiones que actúan sobre las dos caras de los propios discos.

35 En particular, las cámaras están provistas corriente arriba y corriente abajo de cada disco de soporte. Con referencia particular al primer disco de soporte, las cámaras provistas en el mismo lado con respecto a dicho disco se aíslan unas de otras, por ejemplo por medio de laberintos; las cámaras separadas axialmente del primer disco de soporte se comunican a través de uno o más orificios pasantes realizados en el propio disco. Además, al menos una cámara provista corriente abajo del primer disco de soporte comunica con las etapas de alta presión de la turbina provistas corriente arriba del primer disco.

#### 40 **Breve descripción de los dibujos**

Otros detalles de la invención serán evidentes de todos modos a partir del siguiente curso de descripción hecho con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es una vista en sección parcial de una primera realización de la turbina de acuerdo con la presente invención;
- 45 - la figura 2 es una vista en sección parcial de una segunda realización de la turbina de acuerdo con la presente invención;
- la figura 3 es una vista en sección parcial de una tercera realización de la turbina de acuerdo con la presente invención.

#### **Descripción detallada de la invención**

50 La figura 1 es una vista parcial, en una sección axialmente simétrica, de una turbina 1 de acuerdo con la presente invención para la expansión de un fluido de trabajo orgánico.

Preferentemente, el fluido de trabajo pertenece a la clase de hidrocarburos, más preferentemente a los hidrocarburos cíclicos. Por ejemplo, el fluido de trabajo es ciclopentano.

La turbina comprende un árbol 2 que se extiende en la dirección X axial, una carcasa 3 exterior, o voluta, y una pluralidad de series de álabes  $S_1$ - $S_n$  de estátor y de álabes  $R_1$ - $R_n$  de rotor alternados entre sí, es decir según el esquema  $S_1$ - $R_1$ ;  $S_2$ - $R_2$ ;  $S_n$ - $R_n$ , etc.

5 En particular, la turbina 1 está conceptualmente dividida en una primera sección A y en una sección posterior B de acuerdo con la dirección de expansión del vapor de fluido de trabajo. En la primera sección A, denominada sección de alta presión, se proporciona una primera expansión del fluido de trabajo en una dirección sustancialmente radial, que es ortogonal al eje X; en la segunda sección B, denominada sección de baja presión, se proporciona una segunda expansión del fluido de trabajo en una dirección sustancialmente axial, que es paralela al eje X.

10 Entre las dos secciones A y B de la turbina se proporciona al menos una serie de álabes AR de estátor angulares que tienen la función de desviar el flujo de fluido de trabajo de la dirección radial inicial de expansión a la dirección axial, o incluso tangencial (dirección ortogonal a la hoja de papel mientras se observa la figura 1).

15 En particular, la turbina 1 mostrada en la figura 1 comprende tres etapas dispuestas radialmente  $S_1$ - $R_1$ ;  $S_2$ - $R_2$ ;  $S_3$ - $R_3$  corriente arriba de la serie de álabes AR angulares y una o más etapas dispuestas axialmente  $S_4$ - $R_4$ ;  $S_5$ - $R_5$  (no mostrada), corriente abajo de la serie de álabes AR angulares. Generalmente, el número de etapas corriente arriba y corriente abajo de los álabes AR angulares puede ser diferente.

20 Los álabes AR de estátor angulares están vinculados a la voluta 3 y, como se muestra en la figura, se extienden según una trayectoria curvada (visto en sección axial). El borde  $AR_i$  de ataque de los álabes AR se extiende preferentemente en la dirección axial y el borde  $AR_o$  de salida se extiende preferentemente en la dirección radial; por lo tanto cada álabe AR se extiende a lo largo de una trayectoria curvada con tal recorrido del conducto dinámico de fluido para disminuir o eliminar (con respecto a los valores corriente arriba de los propios álabes) el componente radial medio del flujo de fluido de trabajo y generar los componentes axial y tangencial.

25 Preferentemente, los álabes AR de estátor se extienden, cuando son observados por un observador colocado sobre el eje X de rotación, con una primera longitud sustancialmente radial entre una base y una porción periférica, después de lo cual los álabes se curvan circunferencial o tangencialmente y después tienen un conducto entre álabes que se desvía gradualmente en la dirección axial y tangencial.

Algunos álabes  $R_n$  de rotor y preferentemente todos ellos, están soportados por discos 8 de soporte vinculados al árbol 2 de la turbina 1 por medio de un dentado Hirth identificado por la referencia numérica 10 (en sección parcial). En particular, los discos 8 de soporte están acoplados a una brida 9 del árbol, como se muestra en la figura. El dentado Hirth permite que los discos 8 "floten" en la dirección radial, autocentrándose con respecto al eje X.

30 Las barras de suspensión de acero (no mostradas) empujan los discos 8 de soporte axialmente contra la correspondiente brida de acoplamiento del árbol 2.

El árbol 2 está soportado por cojinetes (mostrados junto con un sellado del fluido) en los extremos respectivos, o bien preferentemente está soportado en voladizo, con los cojinetes dispuestos en el mismo lado de los discos 8 de soporte.

35 La voluta 3 está provista de uno o más colectores 7 de entrada del vapor de fluido de trabajo a expandir.

La trayectoria que el vapor produjo durante la expansión relativa se muestra mediante las flechas.

La figura 2 muestra una realización alternativa de la turbina 1, en la que los álabes AR angulares son álabes de rotor, soportados por un disco 8. Los números de referencia iguales a los indicados en la figura 1 identifican elementos idénticos o equivalentes.

40 A diferencia de la solución precedente, el flujo de vapor del fluido de trabajo se desvía de la serie de álabes AR angulares en la dirección axial, pero a contraflujo con respecto a la extensión axial de la turbina 1, que se desvía hacia la parte en la que el fluido entra en la turbina 1. Por esta razón, la voluta 3 define un conducto 4 toroidal que se curva como un U para invertir la dirección del flujo de alimentación, para dirigir el flujo hacia las etapas B de baja presión.

45 Preferentemente, corriente abajo de la serie de álabes AR de rotor angulares, la sección del conducto 4 aumenta para provocar la desaceleración del flujo antes de la inversión de su dirección de alimentación. Entre la serie de álabes AR y la sección B de baja presión, pueden estar presentes uno o más puertos 5 de entrada o de extracción.

También en esta segunda realización los álabes AR angulares aumentan preferentemente la componente tangencial del vector de velocidad del flujo de vapor con respecto al valor corriente abajo de los propios álabes AR angulares.

50 La figura 3 muestra una tercera realización de la turbina 1. Los álabes AR angulares son álabes de estátor y están soportados por la voluta 3. A diferencia de la primera realización, el árbol 3 está soportado en voladizo sobre cojinetes correspondientes provistos en el mismo lado de la voluta 3, y en particular en el mismo lado de la voluta de escape de la voluta 3.

En esta realización, la entrada del vapor a expandir se realiza directamente en la dirección frontal, como se muestra en la figura, por medio de un colector 6 axial montado alineado y coaxial con respecto al árbol 2. También en la primera realización con el árbol 2 montado en voladizo, se puede adoptar el colector 6 axial.

5 También en la segunda y en la tercera realización el número de etapas de estátor y rotor puede ser diferente de lo que se muestra en las figuras.

Haciendo referencia a las figuras 1-3, la turbina 1 comprende las cámaras  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ , delimitando cada una un volumen dentro de la turbina caracterizado por un valor de presión relativa. Las cámaras  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  están dispuestas para obtener una compensación de los empujes axiales que actúan sobre discos 8 de soporte en virtud de las diferencias de presión entre las diferentes secciones A-B de la turbina 1.

10 Con referencia particular a la figura 1, el laberinto L mantiene la cámara  $C_3$  sustancialmente separada de la sección A de alta presión. Para evitar que la presión del fluido de trabajo que pasa a través de la sección de alta presión empuje el primer disco 8 de soporte hacia la cámara  $C_1$  (hacia la derecha, viendo figura 1), este último se comunica con la sección A de alta presión por medio de uno o más orificios pasantes que se abren entre las series  $S_1$  y  $R_1$  cruzando el primer disco 8, o bien en otra posición en la propia sección A.

15 De manera similar, las cámaras  $C_2$  y  $C_4$  se comunican entre sí y con la sección de escape de la turbina a través de un conducto que se extiende a través del segundo disco 8 de soporte; entre la cámara  $C_1$  y  $C_2$  se proporciona un laberinto de separación.

20 Con la disposición descrita, la presión de la cámara  $C_1$  es igual o próxima a la presión del fluido en el punto seleccionado de la sección A de alta presión y la presión en las cámaras  $C_2$ ,  $C_3$  y  $C_4$  se iguala a la presión de escape de la turbina 1.

La turbina 1 mostrada en una cualquiera de las figuras 1-3 permite llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la presente invención, como se ha descrito anteriormente.

Ventajosamente, la turbina 1 permite obtener un cambio de entalpía alto y una relación de expansión alta en un ciclo de Rankine con fluido orgánico.

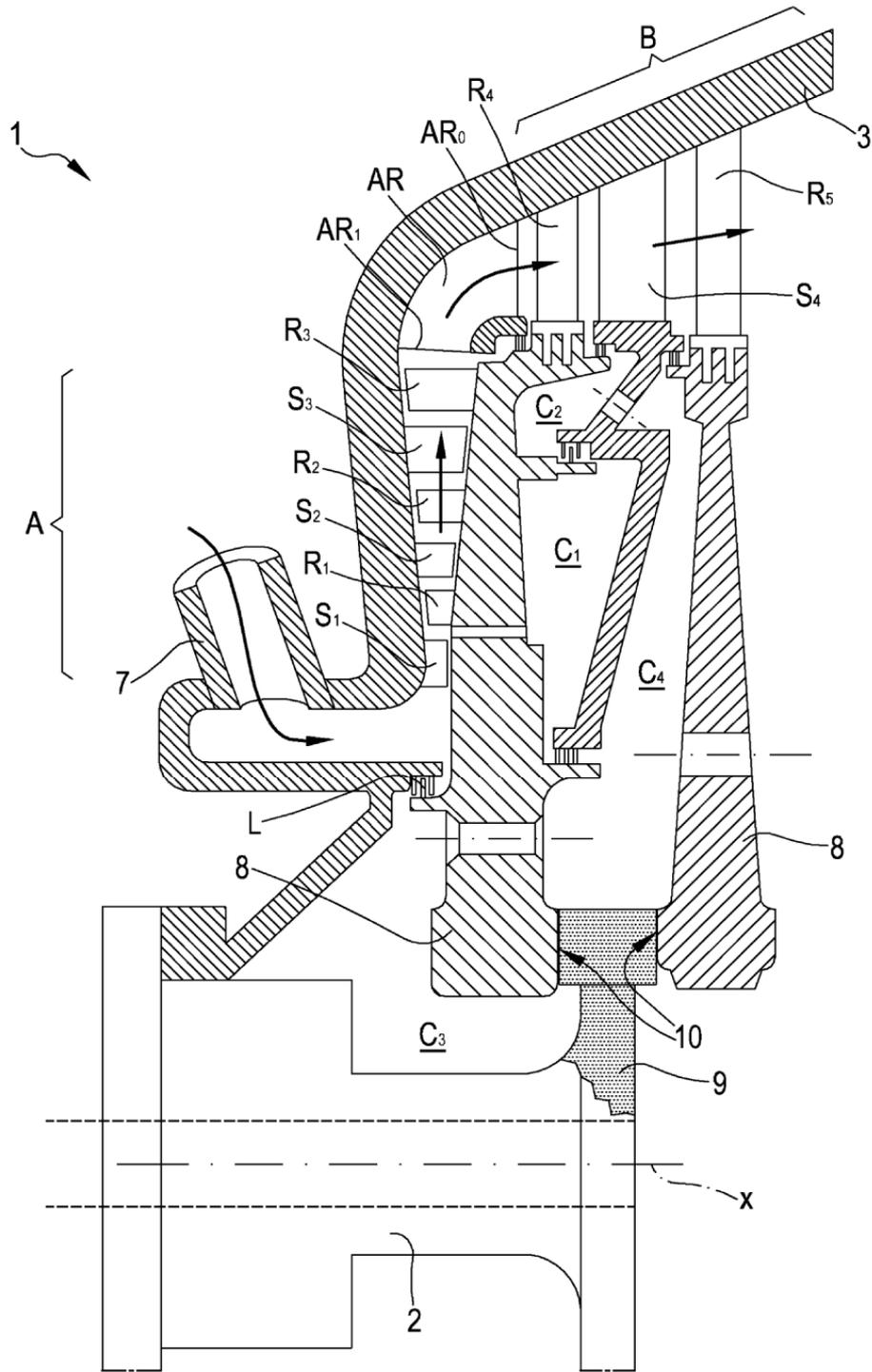
25

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para expandir un fluido de trabajo orgánico en un ciclo Rankine, que comprende la fase de alimentar el fluido de trabajo orgánico a una turbina (1) provista de una pluralidad de etapas, definida cada una por una serie de álabes ( $S_1, S_n$ ) de estátor que se alternan con una serie de álabes ( $R_1, R_n$ ) de rotor, vinculados a un árbol (2) que gira sobre el eje (X) de rotación respectivo, que comprende las etapas de:
- 5 a) provocar una primera expansión del fluido de trabajo a través de una o más etapas radiales, y  
 b) desviar el fluido de trabajo en una serie de álabes (AR), denominados álabes angulares, de la dirección de expansión sustancialmente radial a una dirección de expansión sustancialmente axial y tangencial con respecto a un observador integrado con dichos álabes (AR) angulares, e  
 10 c) inducir una segunda expansión de fluido a través de una o más etapas axiales,
- en el que dicha etapa b) corresponde a un cambio de entalpía del fluido de trabajo igual al menos al 50 % del cambio de entalpía total medio proporcionado para completar la expansión de fluido en la turbina (1).
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la etapa a) se lleva a cabo guiando el fluido de trabajo a través de al menos una serie de álabes ( $S_1, S_n$ ) de estátor y de una serie correspondiente de álabes ( $R_1, R_n$ ) de rotor, dispuestos alternativamente en la dirección radial, la fase c) se lleva a cabo guiando el fluido de trabajo a través de al menos una serie de álabes ( $S_1, S_n$ ) de estátor y de una serie correspondiente de álabes ( $R_1, R_n$ ) de rotor, dispuestos alternativamente en la dirección axial, y la etapa b) se lleva a cabo guiando el fluido a través de una serie de álabes (AR) angulares de estátor o de rotor, y en el que  
 15 si los álabes (AR) angulares son álabes de estátor, entonces el cambio de entalpía sensible del fluido de trabajo expandido a través de los álabes (AR) angulares es igual al menos al 50 % del cambio de entalpía total medio proporcionado para completar la expansión de fluido en la turbina (1),  
 20 si los álabes (AR) angulares son álabes de rotor, entonces el cambio de entalpía total del fluido de trabajo expandido a través de los álabes (AR) angulares es igual al menos al 50 % del cambio de entalpía total medio proporcionado para completar la expansión de fluido en la turbina (1).
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que los álabes (AR) angulares son álabes de rotor y en el que entre las etapas b) y c) se lleva a cabo la etapa de:
- 25 d) invertir el sentido de la dirección de expansión de fluido corriente abajo de la serie de álabes (AR) angulares.
4. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 3, en el que al menos el 10 % del cambio de entalpía total causado por la expansión del fluido de trabajo en dicha etapa b) se transforma en energía cinética del fluido de trabajo que sale de la serie de álabes (AR) angulares.
- 30 5. Turbina (1) para la expansión de un fluido de trabajo orgánico de un ciclo de Rankine, que comprende series de álabes ( $S_1, S_n$ ) de estátor y series de álabes ( $R_1, R_n$ ) de rotor, alternados con los primeros, y un árbol (2) para soportar los álabes ( $R_1, R_n$ ) de rotor que está girando sobre el respectivo eje (X) de rotación, en el que en una primera sección (A) de la turbina las series de álabes ( $S_1, S_n$ ) de estátor y las series de álabes ( $R_1, R_n$ ) de rotor se alternan en una dirección sustancialmente radial, en una segunda sección (B) de la turbina las series de álabes ( $S_1, S_n$ ) de estátor y las series de álabes ( $R_1, R_n$ ) de rotor se alternan en una dirección sustancialmente axial, y entre la primera y la segunda secciones de la turbina hay al menos una serie de álabes (AR) de rotor o de estátor, denominados álabes angulares, dispuestos para desviar el fluido de trabajo de una dirección de expansión sustancialmente radial a una dirección de expansión sustancialmente axial y/o tangencial,  
 35 en la que dichos álabes (AR) angulares son adecuados para un cambio de entalpía del fluido de trabajo expandido a través de los álabes (AR) angulares igual a al menos el 50 % del cambio de entalpía total medio proporcionado para completar la expansión de fluido en la turbina (1).
6. Turbina (1) de acuerdo con la reivindicación 5, en la que:
- 45 los álabes (AR) angulares son álabes de estátor, y el cambio de entalpía sensible del fluido de trabajo expandido a través de los álabes (AR) angulares es igual al menos al 50 % del cambio de entalpía total medio proporcionado para completar la expansión de fluido en la turbina (1),
- o bien:
- los álabes (AR) angulares son álabes de rotor y el cambio de entalpía total del fluido de trabajo expandido a través de los álabes (AR) angulares es igual al menos al 50 % del cambio de entalpía total medio proporcionado para completar la expansión de fluido en la turbina (1).
- 50 7. Turbina (1) de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, en la que el borde ( $AR_i$ ) de ataque de los álabes (AR) angulares se extiende en una dirección sustancialmente axial y el borde ( $AR_o$ ) de salida respectivo se extiende en una dirección sustancialmente radial.
8. Turbina de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en la que los álabes (AR) angulares se extienden

en una dirección radial y axial sustancialmente curvada.

- 5 9. Turbina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5-8, en la que dichos álabes (AR) angulares se extienden al menos parcialmente en una dirección tangencial para aumentar la componente tangencial del vector de velocidad de fluido al menos en el movimiento relativo observado por un observador integrado con los álabes (AR) angulares.
10. Turbina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9, que comprende un colector (6) de admisión axial del fluido de trabajo dispuesto alineado con el árbol (2), y en el que dicho árbol (2) está soportado en voladizo por cojinetes provistos desde el lado opuesto con respecto a dicho colector (6) de admisión y en la que dichos álabes (AR) angulares son álabes de estátor o de rotor.
- 10 11. Turbina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5-9, que comprende una voluta (3), y en la que dichos álabes (AR) angulares son álabes de rotor y entre ellos y la serie de álabes (S<sub>4</sub>) de estátor inmediatamente corriente abajo, la voluta (3) define una curva (4) de aproximadamente 180 ° en la que se invierte el sentido de la dirección axial de expansión del fluido.
- 15 12. Turbina de acuerdo con la reivindicación 11, en la que la sección de paso entre los álabes (AR) angulares y dicha curva (4) se aumenta al menos parcialmente para obtener una desaceleración del fluido de trabajo antes de invertir la dirección de expansión respectiva.
13. Turbina de acuerdo con la reivindicación 11 o la reivindicación 12, en la que, corriente abajo de dicha curva (4), la voluta (3) está provista de al menos un orificio (5) de entrada/extracción del fluido de trabajo.
- 20 14. Turbina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 11 a 13, que comprende un colector (7) de admisión del fluido de trabajo dispuesto radialmente con respecto al árbol (2), en una posición sustancialmente intermedia entre los respectivos cojinetes de soporte.
15. Turbina de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que al menos una serie de álabes (R<sub>1</sub>, R<sub>n</sub>) de rotor está montada sobre discos (8) de soporte acoplados a las bridas (9) correspondientes del árbol (2) con un dentado (10) de Hirth.
- 25 16. Turbina de acuerdo con la reivindicación 15, en la que corriente arriba y corriente abajo de un primer disco (8) de soporte, con respecto al eje (X) de rotación, se proporciona al menos una cámara (C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>) y definida por un volumen interno correspondiente de la turbina (1), y en la que las cámaras (C<sub>1</sub>, C<sub>4</sub>) dispuestas en el mismo lado del primer disco (8) de soporte están sustancialmente aisladas unas de otras, y en la que el primer disco (8) de soporte está provisto de al menos un orificio pasante para igualar la presión dentro de las dos cámaras (C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub>) separadas por el propio primer disco (8) de soporte, o bien para igualar la presión de la cámara (C<sub>1</sub>) corriente abajo del primer disco de soporte con la presión dentro de la primera sección (A) de la turbina (1).
- 30 17. Turbina de acuerdo con la reivindicación 16, que comprende dos discos (8) de soporte, en la que el segundo disco de soporte está situado corriente abajo del primer disco de soporte y está provisto de al menos un orificio pasante para igualar la presión dentro de la cámara (C<sub>4</sub>) inmediatamente corriente arriba del propio segundo disco con la presión de escape de la turbina (1).
- 35



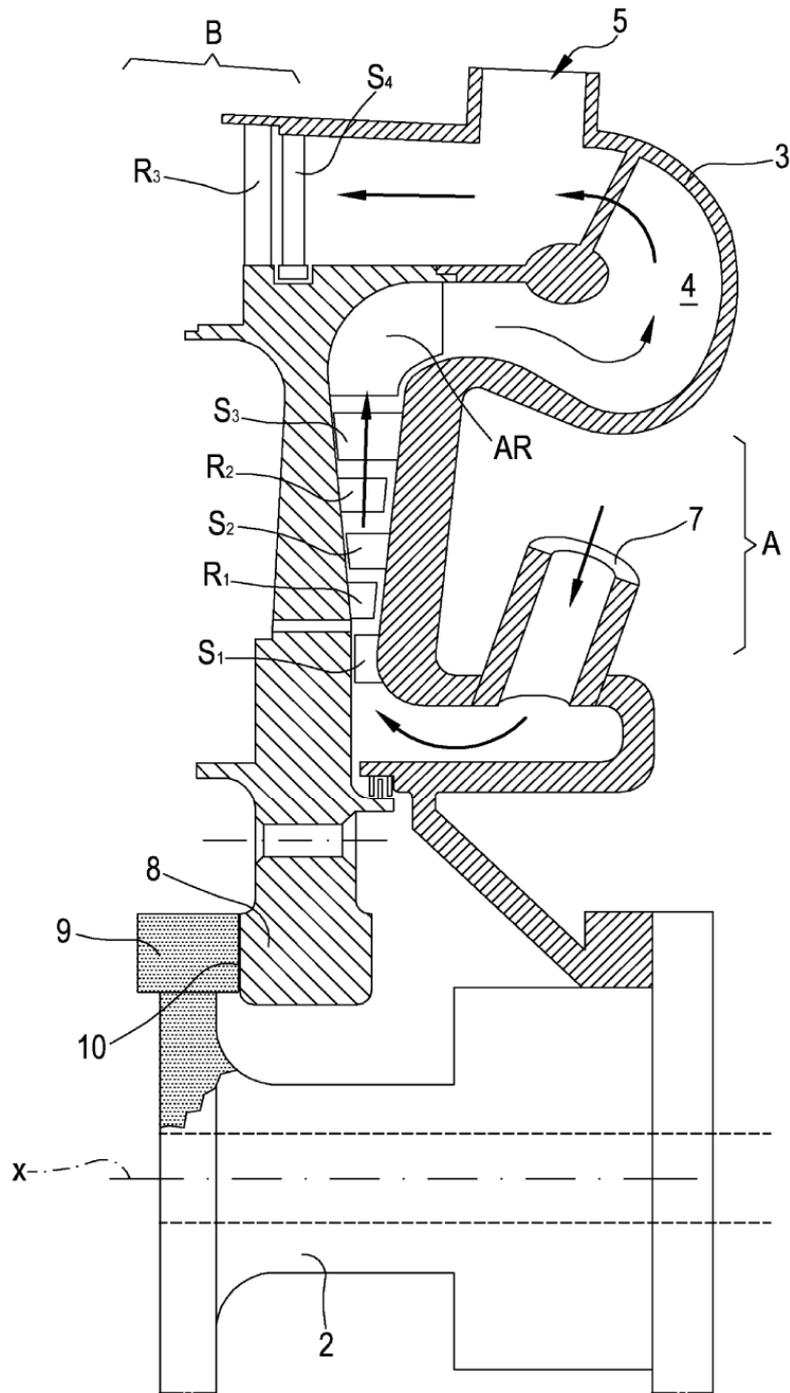


FIG.2

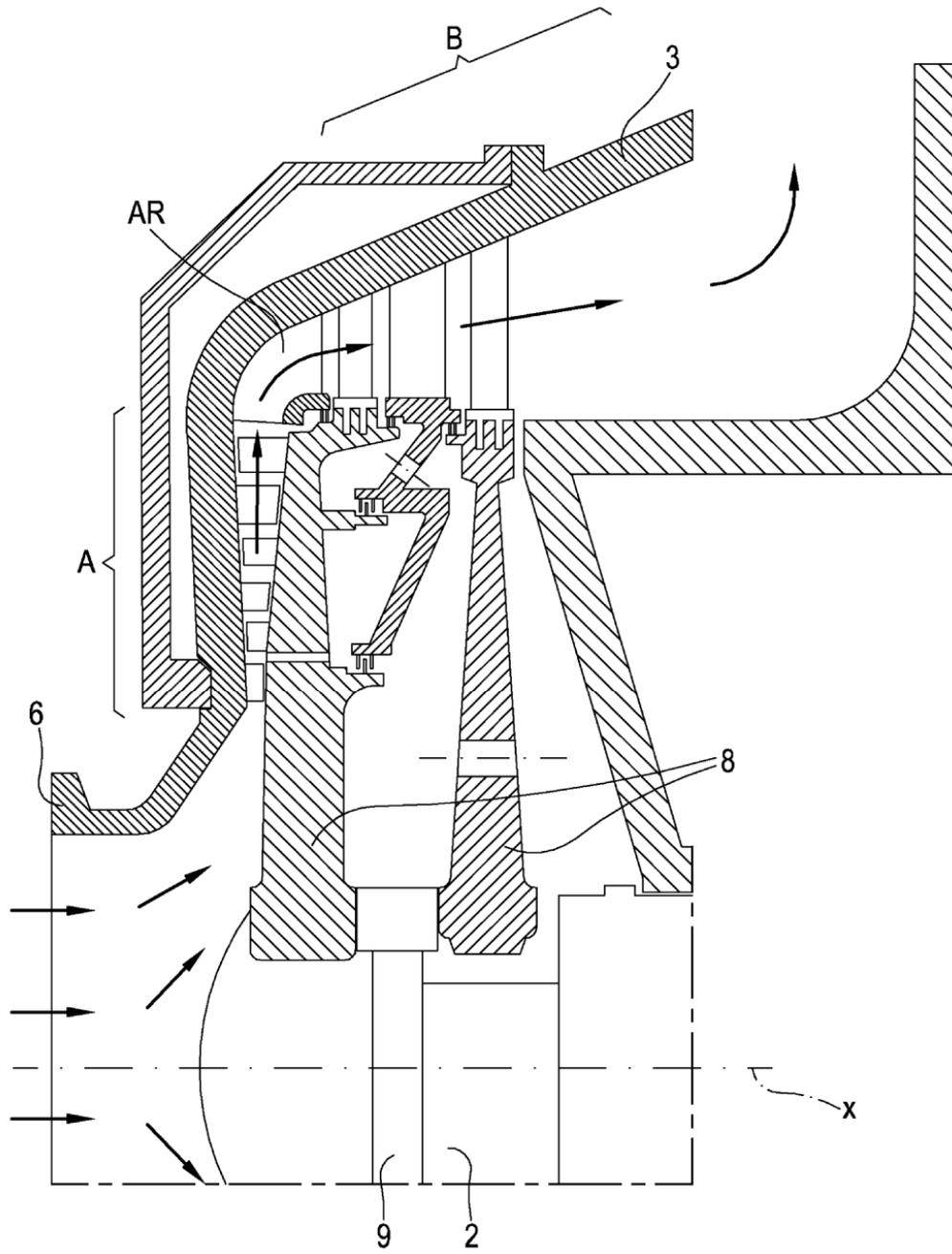


FIG.3