

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 630 103**

51 Int. Cl.:

F01K 7/02 (2006.01)

F01K 25/10 (2006.01)

F01D 1/06 (2006.01)

F01D 1/04 (2006.01)

F01K 7/16 (2006.01)

F01K 25/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.02.2012** **E 14158982 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **25.11.2020** **EP 2743463**

54 Título: **Aparato y proceso para la generación de energía mediante un ciclo de Rankine orgánico**

30 Prioridad:

21.04.2011 IT MI20110684

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

16.09.2021

73 Titular/es:

EXERGY INTERNATIONAL S.R.L (100.0%)
Via Santa Rita, 14
21057 Olgiate Olona, IT

72 Inventor/es:

SPADACINI, CLAUDIO;
RIZZI, DARIO;
BARBATO, ALESSANDRO y
CENTEMERI, LORENZO

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

DESCRIPCIÓN

Aparato y proceso para la generación de energía mediante un ciclo de Rankine orgánico

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un aparato para la generación de energía por ciclo de Rankine orgánico. Se sabe de aparatos basados en un ciclo de Rankine termodinámico (ORC - Ciclo Rankine de Orgánico) que realizan la conversión de energía térmica en energía mecánica y/o eléctrica de manera simple y fiable. En estos aparatos, fluidos de trabajo de tipo orgánico (de peso molecular alto o medio) se utilizan preferentemente en lugar del sistema de agua/vapor tradicional, porque un fluido orgánico es capaz de convertir las fuentes de calor a temperaturas relativamente bajas, generalmente entre 100 °C y 300 °C, pero también a temperaturas más altas, de una manera más eficaz. Por tanto, los sistemas de conversión de ORC han encontrado recientemente aplicaciones cada vez más amplias en diferentes sectores, tales como en el campo geotérmico, en la recuperación de energía industrial, en un aparato para la generación de energía a partir de biomasas y energía solar concentrada (CSP), en regasificadores, etc.

Técnica anterior

Un aparato de tipo conocido para la conversión de energía térmica mediante un ciclo de Rankine orgánico (ORC) comprende por lo general: al menos un intercambiador de calor que intercambia calor entre una fuente de alta temperatura y un fluido de trabajo, a fin de calentar, evaporar (y posiblemente sobrecalentar) el fluido de trabajo; al menos una turbina alimentada por el flujo de salida de fluido de trabajo vaporizado del intercambiador de calor a fin de realizar la conversión de la energía térmica presente en el fluido de trabajo en energía mecánica de acuerdo con un ciclo de Rankine; al menos un generador conectado operativamente a la turbina, en el que la energía mecánica producida por la turbina se convierte en energía eléctrica; al menos un condensador, donde el fluido de trabajo que sale de la turbina se condensa y se envía a al menos una bomba; desde la bomba el fluido de trabajo se alimenta al intercambiador de calor.

Las turbinas de tipo conocido para la expansión de vapor y gas de alto peso molecular se describen, por ejemplo, en los documentos públicos US4458493 y WO 2010/106570. La turbina que se divulga en la patente nº. US4458493 es del tipo de múltiples etapas, donde una primera etapa axial es seguida por una etapa centrípeta radial. La turbina que se divulga en el documento WO 2010/106570 es, por el contrario, de tipo axial y comprende una caja con una voluta periférica para el tránsito de un fluido de trabajo desde una entrada hasta una salida, un primer estator y otros posibles estatores, un árbol de turbina que gira alrededor de un eje y que lleva un primer rotor y otros posibles rotores. Un elemento tubular se extiende en forma de voladizo desde la caja y es coaxial con el árbol de turbina. Una unidad de soporte se coloca entre el elemento tubular y el árbol de turbina y se pueden extraer todos juntos desde el elemento tubular, excepto el árbol.

Más generalmente, los tipos de cajas de expansión conocidos actualmente en uso para los ciclos termodinámicos ORC son de tipo axial, de una sola etapa y de múltiples etapas y del tipo centrípeta o de flujo de entrada de una etapa radial y de múltiples etapas.

El documento WO 2011/007366 muestra una turbina utilizada en el campo de los ciclos termodinámicos de ORC para la generación de energía que comprende tres etapas radiales dispuestas axialmente una tras otra.

El documento EP 2 080 876 muestra una turbomáquina, en particular, un turbocompresor de múltiples etapas que comprende dos turbinas, una de las que es una turbina de flujo de entrada radial, y dos compresores.

El documento US 1.488.582 ilustra una turbina provista de una porción de alta presión y de una porción de baja presión en la que el flujo de fluido se desvía gradualmente de una dirección axial a una dirección radial.

El documento US 2010/0122534 muestra un sistema de circuito cerrado o sinfín, para la recuperación de energía que comprende una turbina de flujo de entrada radial.

El documento GB 372 520 divulga las turbinas de vapor de flujo radial de tipo giratorio dobles provistas de ruedas de palas de flujo axial proporcionadas en lados opuestos del espacio anular que rodea las palas del flujo radial.

El documento GB 310 037 divulga las turbinas de vapor de flujo radial con un sistema de palas axial.

El documento GB 280 657 divulga las turbinas de vapor de flujo radial con un sistema de palas axial que se va a operar por el medio de accionamiento después de que ha dejado el sistema de flujo radial. El documento EP1764487 divulga un fluido de trabajo para un proceso cíclico ORC (Ciclo de Rankine Orgánico) que comprende al menos un compuesto del grupo que contiene hidrocarburos perfluorados, al menos un compuesto del grupo que contiene poliéter perfluorado y/o al menos un compuesto del grupo que contiene cetona perfluorada.

El documento WO-2011/030285-A1 divulga un aparato de ORC que comprende una turbina de flujo de salida radial.

El documento de G. Angelino *et al.* ("Bomba de calor de motor térmico combinado para la generación de calor de baja temperatura", Actas del Instituto de Ingenieros Mecánicos, Vol.190 27/76, 1 de junio de 1976 (1976-06-01), páginas 255-256) divulga un sistema para la generación de calor de baja temperatura para el calentamiento de locales que prevé la adopción de un motor de combustión externo de fluido de trabajo orgánico como el accionamiento directo para una bomba de calor. Los autores de este documento han encontrado que una turbina subsónica de múltiples etapas centrífuga con un número moderado de etapas dispuestas de acuerdo con la configuración de turbina a vapor Ljungstrom bien conocida era particularmente adecuada para manejar eficazmente el aumento de flujo de gran volumen, que es el principal problema de diseño de las turbinas orgánicas.

El documento de E. Macchi ("Turbinas a gas de ciclo cerrado", Conferencia de serie 100, 13 de mayo de 1977 (1977-05-13)) divulga la posibilidad de utilizar turbinas de flujo axial y de flujo centrífugo de múltiples etapas para ciclos con ratios de muy baja presión en aplicaciones de ciclos de potencia con fluidos orgánicos como medios de trabajo.

Divulgación de la invención

Dentro de este alcance, el solicitante ha sentido la necesidad de:

- aumentar la eficacia de la conversión de energía que se realiza dentro de dichas turbinas, con respecto a las turbinas actualmente en uso en el aparato de ORC;
- reducir la complejidad estructural y aumentar la fiabilidad de las turbinas, con respecto a las turbinas actualmente en uso en el aparato de ORC.

Más particularmente, el solicitante ha sentido la necesidad de reducir las pérdidas debidas a fugas y ventilación del fluido de trabajo, así como las pérdidas térmicas, a fin de mejorar la eficacia global de la turbina y el proceso de conversión de energía en la turbina y, más en general, en el aparato de ORC.

El solicitante ha encontrado que los objetivos arriba mencionados se pueden lograr utilizando turbinas de expansión centrífugas o de flujo de salida radiales dentro del sector de los aparatos y procesos para la generación de energía a través del ciclo de Rankine orgánico (ORC).

Más particularmente, la invención se refiere a un aparato para la generación de energía a través de un ciclo de Rankine orgánico de acuerdo con el conjunto de reivindicaciones adjuntas.

El fluido de trabajo orgánico de alto peso molecular se puede seleccionar del grupo que comprende hidrocarburos, cetonas, siloxanos o materiales fluorados (los materiales perfluorados están incluidos) y tiene, por lo general, un peso molecular comprendido entre 150 y 500 g/mol. Preferentemente, este fluido de trabajo orgánico es perfluoro-2-metilpentano (que tiene las ventajas adicionales de no ser tóxico y no ser inflamable), perfluoro 1,3 dimetilciclohexano, hexametildisiloxano o octametiltrisiloxano.

El solicitante ha comprobado que la turbina de flujo de salida radial es la máquina más apropiada para la aplicación de referencia, es decir, para la expansión del fluido de trabajo de alto peso molecular en un ciclo de ORC, debido a que:

- las expansiones en ciclos de ORC se caracterizan por bajos cambios entálpicos y la invención la turbina de flujo de salida radial que es el objeto de la invención es adecuada para las aplicaciones con bajos cambios entálpicos porque realiza trabajos menores en relación con las máquinas de flujo de entrada axial y/o radial, siendo la velocidad periférica y el grado de reacción iguales;
- las expansiones en ciclos de ORC se caracterizan por velocidades de giro bajas y velocidades periféricas bajas del rotor, debido a los bajos cambios entálpicos que caracterizan los ciclos mencionados, temperaturas moderadas o, en todo caso, no tan altas como en las turbinas a gas, por ejemplo, y la turbina de flujo de salida radial se adapta bien a situaciones con bajas tensiones mecánicas y térmicas;
- debido a que los ciclos de Rankine generales y los ciclos de ORC se caracterizan, en particular, por altas relaciones de volumen de expansión, la turbina de flujo de salida radial optimiza las alturas de las palas de la máquina, y en particular de la primera etapa, debido al hecho de que el diámetro de la rueda crece en la dirección del flujo; por lo tanto, la admisión total y no estrangulada casi siempre es posible;
- puesto que la forma de construcción de la turbina de flujo de salida radial permite obtener varias etapas de expansión en un solo disco, las pérdidas debidas a los flujos secundarios y fuga pueden reducirse y al mismo tiempo se pueden conseguir costes más reducidos;
- además, la turbina de expansión en la configuración de flujo de salida radial hace que sea superfluo girar las palas en la última etapa de expansión, lo que simplifica la construcción de la máquina.

La turbina de flujo de salida radial, que es el objeto de la invención, solo necesita un disco también para las

máquinas de múltiples etapas, a diferencia de las máquinas axiales, y por lo tanto ofrecen menos pérdidas debido a la ventilación y costes más reducidos. Debido a la compacidad antes mencionada, se pueden mantener juegos muy reducidos, lo que da como resultado la fuga reducida y, por lo tanto, menores pérdidas debido al escape. Las pérdidas térmicas son también más pequeñas.

Además, las palas de la turbina centrífuga radial no tienen que retorcerse y esto implica menores costes de producción para dichas palas y para la turbina en su conjunto.

Además de limitar las pérdidas dinámicas de fluido en la primera entrada del estator, el deflector tiene por objetivo impedir que el fluido a más alta presión golpee las partes móviles. Este expediente reduce aún más las pérdidas por fricción en el disco de rotor y permite una mayor flexibilidad cuando se producen condiciones diferentes de las condiciones de diseño.

La turbina radial en la configuración de flujo de salida facilita la realización del difusor que permite la recuperación de la energía cinética en la descarga y, por tanto, más eficacia global de la máquina.

Otras características y ventajas se harán más evidentes a partir de la descripción detallada de una realización preferida pero no exclusiva de un aparato y un proceso para la generación de energía a través del ciclo de Rankine orgánico de acuerdo con la presente invención.

Breve descripción de los dibujos

La descripción detallada de esta configuración se expondrá a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, proporcionados a modo de ejemplo no limitativo, en los que:

- la Figura 1 muestra esquemáticamente la configuración básica de un aparato para la generación de energía a través del ciclo de Rankine orgánico de acuerdo con la presente invención;
- la Figura 2 es una vista en sección lateral de una turbina que representa la técnica anterior útil para entender la invención; y
- la Figura 3 es una vista en sección frontal parcial de la turbina de la Figura 2.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas de la invención

Con referencia a los dibujos, un aparato para la generación de energía a través del ciclo de Rankine orgánico (ORC) de acuerdo con la presente invención se ha identificado en general con el número de referencia 1.

El aparato 1 comprende un circuito sinfín en el que fluye un fluido de trabajo orgánico de peso molecular alto o medio. Este fluido se puede seleccionar entre el grupo que comprende hidrocarburos, cetonas, fluorocarburos y siloxanos. Preferentemente, este fluido es un fluido perfluorado con un peso molecular comprendido entre 150 y 500 g/mol.

La Figura 1 muestra el circuito del ciclo de Rankine en su configuración base y contempla: una bomba 2, un intercambiador de calor o intercambiador térmico 3, una turbina de expansión 4 conectada a un generador eléctrico 5 y un condensador 6.

La bomba 2 admite el fluido de trabajo orgánico del condensador 6 en el intercambiador de calor 3. En el intercambiador de calor 3, el fluido se calienta, se evapora y después se alimenta en fase de vapor a la turbina 4, donde la conversión de la energía térmica presente en el fluido de trabajo en energía mecánica y después en energía eléctrica a través del generador 5 se realiza. Aguas abajo de la turbina 4, en el condensador 6, el fluido de trabajo se condensa y se envía de nuevo al intercambiador de calor a través de la bomba 2.

La bomba 2, el intercambiador de calor 3, el generador 5 y el condensador 6 no se describirán adicionalmente en la presente memoria, ya que son de tipo conocido.

La turbina de expansión 4 se compone de al menos una etapa de flujo de salida radial y de al menos una etapa axial. En otras palabras, el flujo de fluido de trabajo entra en la turbina 4 a lo largo de una dirección axial en una región radialmente más interna de la turbina 4 y se hace fluir hacia fuera en un estado expandido a lo largo de una dirección radial y después axial en una región radialmente más exterior de la turbina 4 en sí. Durante la trayectoria entre la entrada y salida el flujo se aleja, mientras se expande, desde el eje de giro "X-X" de la turbina 4.

Una turbina de flujo de salida radial que representa la técnica anterior útil para entender la invención se muestra en las Figuras 2 y 3. Esta turbina 4 comprende una caja fija 7 formada con una media caja frontal 8 de forma circular y media caja posterior 9 unidas entre sí por medio de pernos 10 (Figura 3). Un manguito 11 emerge en forma de voladizo desde la media caja posterior 9.

En el volumen interior delimitado por las medias cajas frontal 8 y posterior 9, se aloja un rotor 12 que está

rígidamente restringido a un árbol 13 a su vez soportado de forma giratoria en el manguito 11 por medio de cojinetes 14 de manera que es libre de girar alrededor un eje de giro "X-X".

Formada en la media caja frontal 8, en el eje de giro "X-X", hay una entrada axial 15 y, en una porción radial periférica de la caja 7, se forma una salida radialmente periférica externa al difusor 16.

El rotor 12 comprende un único disco de rotor 17 fijado al árbol 13, perpendicular al eje de giro "X-X" y con una cara frontal 18 girada hacia la media caja frontal 8 y una cara posterior 19 girada hacia la media caja posterior 9. Delimitado entre la cara frontal 18 del disco de rotor 17 y la media caja frontal 8 hay un volumen de paso 20 para el fluido de trabajo orgánico. Una cámara de compensación 21 queda confinada entre la cara posterior 19 del disco de rotor 17 y la media caja posterior 9.

La cara frontal 18 del disco de rotor 17 lleva tres series de palas de rotor 22a, 22b, 22c. Cada serie comprende una pluralidad de palas de rotor planas dispuestas alrededor del disco de giro "X-X". Las palas del rotor de la segunda serie 22b se disponen en una posición radialmente externa con respecto a las palas del rotor de la primera serie 22a y las palas del rotor de la tercera serie 22c se disponen en una posición radialmente externa con respecto a las palas del rotor de la segunda serie 22b. Tres series de palas del estator 24a, 24b, 24c se montan en la cara interior 23 girada hacia el rotor 17 de la media caja frontal 8. Cada serie comprende una pluralidad de palas de estator planas dispuestos alrededor del eje de giro "X-X". Las palas del estator de la primera serie 24a se disponen en una posición radialmente interna con respecto a las palas del rotor de la primera serie 22a. Las palas del estator de la segunda serie 24b se disponen en una posición radialmente externa con respecto a las palas del rotor de la primera serie 22a y en una posición radialmente interna con respecto a las palas del rotor de la segunda serie 22b. Las palas del estator de la tercera serie 24c se disponen en una posición radialmente externa con respecto a las palas del rotor de la segunda serie 22b y en una posición radialmente interna con respecto a las palas del rotor de la tercera serie 22c. La turbina 4 tiene, por tanto, tres etapas.

En el interior de la turbina 1, el flujo de fluido de trabajo que entra en la entrada axial 15 se desvía por un deflector 25 que tiene una forma circular convexa, que se monta de forma fija en la caja 7 en frente del rotor 17 y se dispone coaxial con el eje de giro "X-X", orientándose la convexidad del mismo hacia la entrada axial 15 y el flujo de entrada de flujo. El deflector 25 se extiende radialmente desde el eje de giro "X-X" hasta la primera serie de palas de estator 24a. Las palas del estator de la primera 24a se integran en la porción periférica del deflector 25 y tienen un extremo montado en la cara interior 23 de la media caja frontal 8. En mayor detalle, el deflector 25 se define por una placa fina y convexa que tiene una simetría radial con una porción central cóncava/convexa 25a, cuya convexidad se orienta hacia la media caja frontal 8 y la entrada axial 15 y una porción radialmente más externa 25b que es anular y cóncava/convexa y orientándose la concavidad hacia la media caja frontal 8. La media caja frontal 8 y la porción radialmente más externa 25b del deflector 25 confinan un conducto divergente que guía el fluido de trabajo hasta la primera etapa (palas del rotor de la primera serie 22a y palas del estator de la primera serie 24a) de la turbina 4.

La cara frontal 18 del disco del rotor 8 y la cara 23 de la media caja frontal 8 que lleva las palas del estator 24a, 24b, 24c divergen entre sí al alejarse del eje de giro (X-X), partiendo de dicha primera etapa, y las palas radialmente más externas tienen una altura de pala superior a la de las palas radialmente más internas.

La turbina 4 comprende, además, un difusor 26 para la recuperación de la energía cinética, que se coloca en una posición relativa radialmente externa a la tercera etapa (palas del rotor de la tercera serie 22c y palas del estator de la tercera serie 24c) y se define por la cara frontal 18 del disco del rotor 8 y la cara opuesta 23 de la media caja frontal 8. Una voluta 27 que comunica con una brida de salida 28 se coloca en el perímetro radialmente exterior de la caja 7, a la salida del difusor 26. En la turbina de acuerdo con la invención, que no se muestra en los dibujos, en lugar de la tercera etapa radial, el flujo cruza una etapa axial montada en el perímetro del rotor.

La turbina 4 ilustrada, que representa la técnica anterior útil para entender la invención, comprende además un dispositivo de compensación para el empuje axial ejercido por el fluido de trabajo en el rotor 7 y, a través del árbol 13, en los cojinetes de empuje 14. Este dispositivo comprende una célula de carga 29 axialmente interpuesta entre el manguito 11 y el cojinete de empuje 14, un resorte 30 adaptado para mantener el cojinete de empuje 14 presionado contra la célula de carga 29, un PLC (Controlador Lógico Programable) (no mostrado) conectado operativamente a la célula de carga 29 y una válvula de ajuste 31 situada en un conducto 32 en comunicación con la cámara de compensación 21 y una cámara adicional 33 formada en la media caja frontal 8 y llevado a la misma presión que el fluido de trabajo a la salida de la primera etapa a través de orificios de paso 34. El dispositivo realiza el ajuste de realimentación de la admisión de fluido de trabajo desde la cámara adicional 33 hacia la cámara de compensación 21, como una función del empuje axial detectado, a fin de mantener la carga axial sobre el cojinete en una condición controlada.

La entrada de fluido de trabajo tiene lugar desde la entrada axial 15, en una posición concéntrica con la media caja frontal 8 que es lisa y con forma circular. Como se muestra en la Figura 2, en el interior de la turbina 4 el flujo de fluido se desvía por el deflector 25 y se dirige a la primera serie de palas de estator 24a integrales con el deflector 25 y con la media caja frontal 8.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de ORC para la generación de energía mediante un ciclo de Rankine orgánico, que comprende:

- 5 - al menos un intercambiador de calor (3) para el intercambio de calor entre una fuente de alta temperatura y un fluido de trabajo orgánico, así como para calentar y evaporar dicho fluido de trabajo;
- 10 - al menos una turbina de expansión (4) alimentada con el fluido de trabajo vaporizado que sale del intercambiador de calor (3) para hacer una conversión de la energía térmica presente en el fluido de trabajo en energía mecánica de acuerdo con un ciclo de Rankine;
- 15 - al menos un condensador (6) donde el flujo de salida del fluido de trabajo desde dicha al menos una turbina (4) se condensa y se envía a al menos una bomba (2); a continuación, se alimenta el fluido a dicho al menos un intercambiador de calor (3);
- 20 - un generador eléctrico (5), estando la turbina de expansión (4) conectada al generador eléctrico (5); en donde la turbina de expansión (4) comprende:
- 25 una caja fija (7) que tiene una entrada axial (15) y una salida radialmente periférica (16), un solo disco de rotor (17), montado en la caja (7) y que gira alrededor de un eje de giro (X-X), al menos una primera etapa de flujo de salida radial que comprende al menos una primera serie de palas de rotor (22a) montadas en una cara frontal (18) del disco de rotor (17) y dispuestas alrededor del eje de giro (X-X) y al menos una primera serie de palas de estator (24a) montadas en la caja (7), orientadas hacia el disco de rotor (17) y dispuestas alrededor del eje de giro (X-X),
- 30 al menos una segunda etapa de flujo de salida radial que comprende al menos una segunda serie de palas de rotor (22b, 22c) dispuestas en una posición radialmente externa a la primera serie de palas de rotor (22a) y al menos una segunda serie de palas de estator (24b, 24c) dispuestas en una posición radialmente externa con respecto a la primera serie de palas de estator (24a),
- 35 **caracterizado por que** la turbina de expansión (4) comprende al menos una etapa axial montada en un perímetro radialmente externo del disco de rotor (17);
- 40 y **por que** la caja fija (7) está formada con una media caja frontal (8) de forma circular y una media caja posterior (9) unidas entre sí por medio de pernos (10); en donde un manguito (11) emerge en forma de voladizo desde la media caja posterior (9); en donde en un volumen interior delimitado por las medias cajas frontal (8) y posterior (9) se aloja el disco de rotor (17) que está rígidamente restringido a un árbol (13) soportado a su vez de forma giratoria en el manguito (11) por medio de cojinetes (14), de manera que es libre de girar alrededor un eje de giro (X-X).
- 45 2. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la turbina de expansión (4) comprende un deflector (25) montado de manera fija en la caja (7) en la entrada axial (15) y adaptado para desviar radialmente el flujo axial hacia la primera serie de palas de estator (24a).
- 50 3. Un aparato de acuerdo con la reivindicación anterior, en el que el deflector (25) tiene una superficie convexa (25a) orientada hacia un flujo de entrada.
4. Un aparato de acuerdo con las reivindicaciones 2 o 3, en el que el deflector (25) lleva la primera serie de palas de estator (24a) en una porción radialmente periférica del mismo.
5. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la cara frontal (18) del disco de rotor (17) y la cara (23) de la caja (7) que lleva las palas de estator (24a, 24b, 24c) divergen entre sí alejándose del eje de giro (X-X).
6. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la turbina de expansión (4) comprende un difusor (27) situado en una posición radialmente externa con respecto a las palas de estator (24a, 24b, 24c) y las palas de rotor (22a, 22b, 22c).

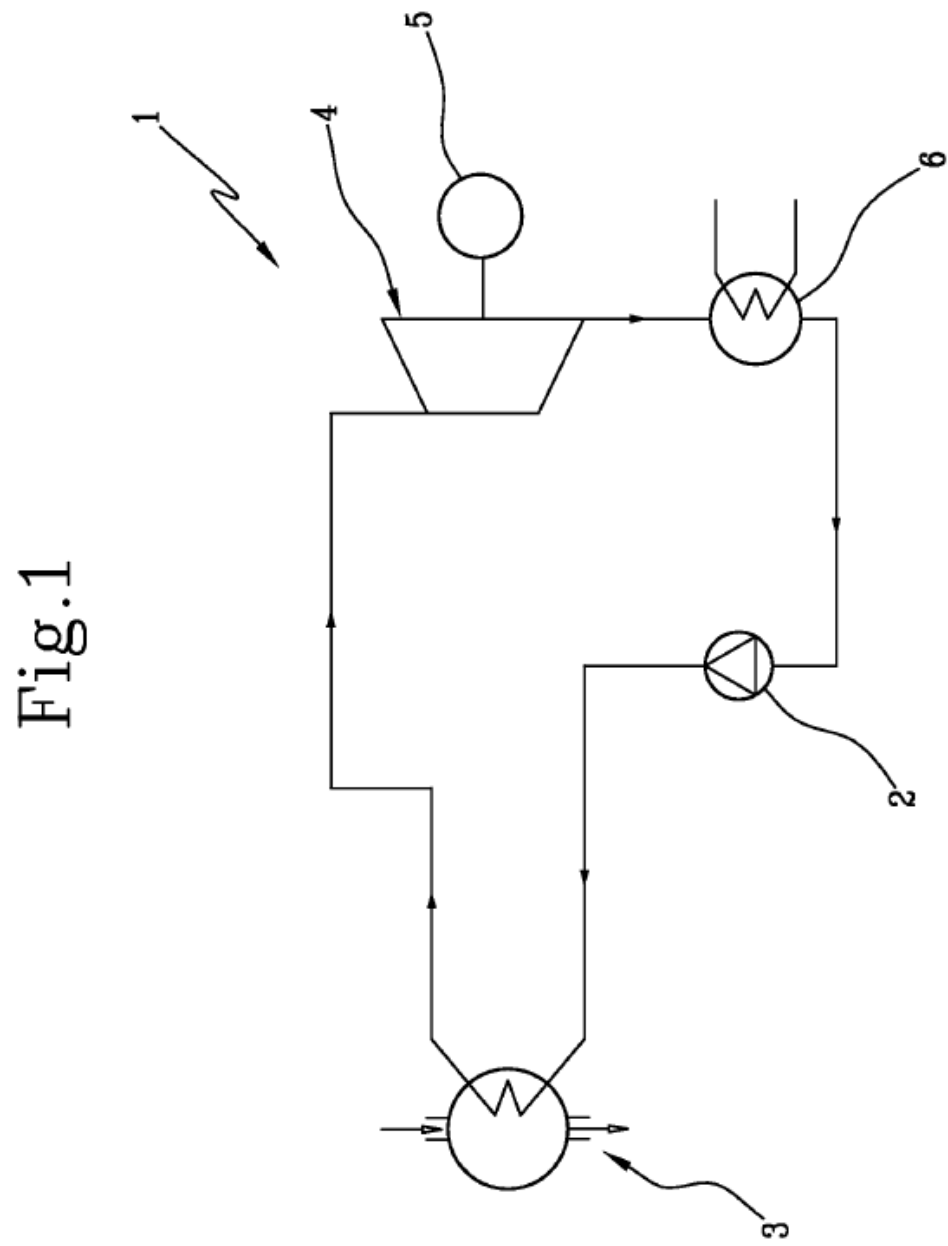


Fig.1

Fig.2

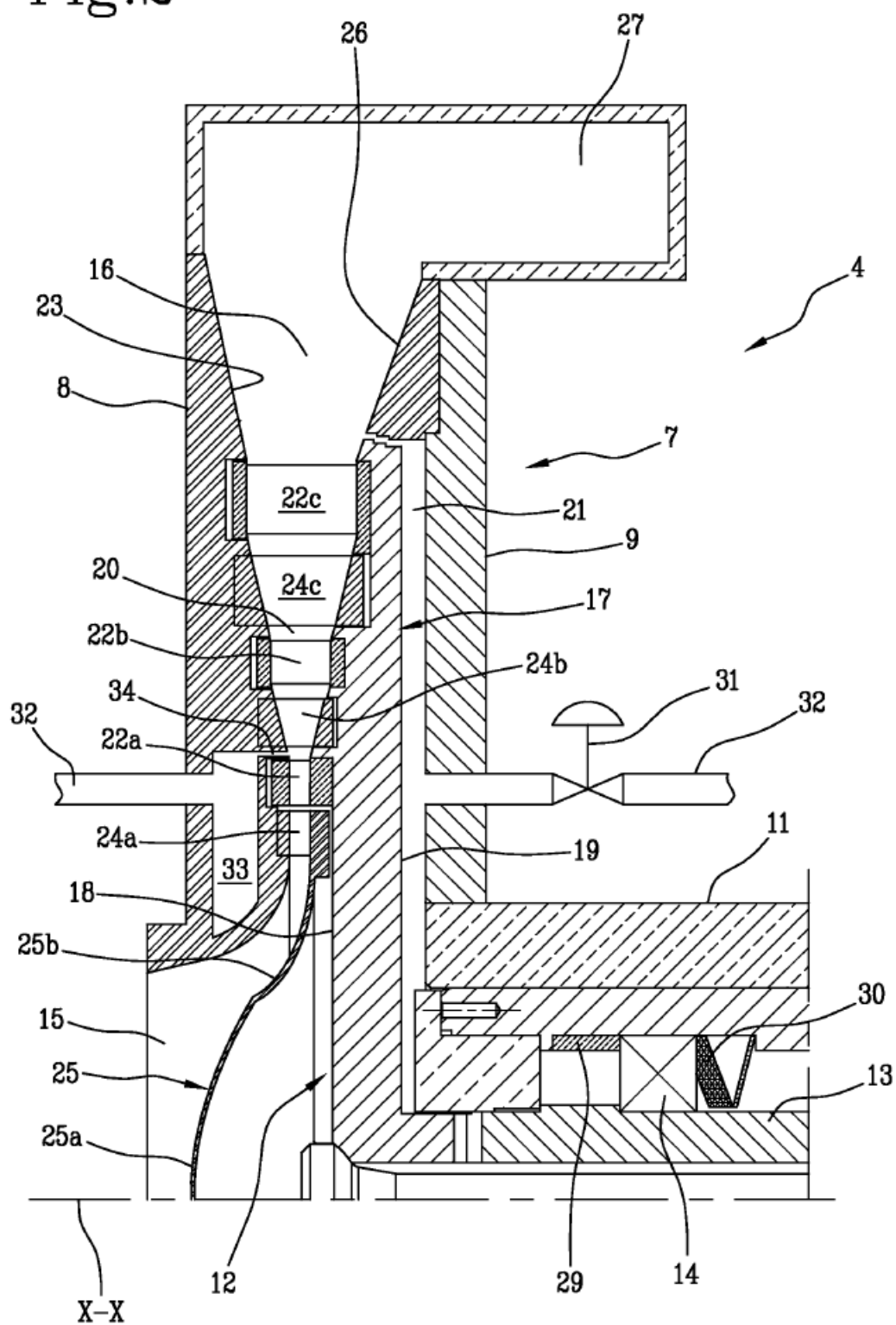


Fig.3

