

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 628 845**

51 Int. Cl.:

**F01K 13/02** (2006.01)

**F01K 25/08** (2006.01)

**F01C 20/06** (2006.01)

**F01C 1/02** (2006.01)

**H02P 9/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.09.2012 PCT/GB2012/052311**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.03.2013 WO13041857**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2012 E 12766468 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.05.2017 EP 2766579**

54 Título: **Motor térmico de ciclo orgánico de Rankine**

30 Prioridad:

**19.09.2011 GB 201116158**

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

**04.08.2017**

73 Titular/es:

**FLOW PRODUCTS LIMITED (100.0%)  
Capenhurst Technology Park Capenhurst  
Chester CH1 6EH, GB**

72 Inventor/es:

**BANNISTER, JOHN JOSEPH;  
BANNISTER, TIMOTHY NATHAN;  
BRIGHT, NEIL STAFFORD y  
HENSHAW, IAIN JAMES**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 628 845 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

Motor térmico de ciclo orgánico de Rankine

Esta invención se refiere a un motor térmico de ciclo orgánico de Rankine (ORC) y un método de controlar un motor térmico de ORC. Específicamente, se refiere a un motor térmico de ORC mejorado que tiene un sistema de control para controlar el motor térmico de ORC.

Antecedentes

Los motores térmicos, tales como los aparatos combinados de calor y energía (CHP) que se basan en un módulo orgánico de ciclo de Rankine (ORC). Los motores térmicos de este tipo emplean un dispositivo de desplazamiento positivo, tal como un dilatómetro de desplazamiento, conectado a un generador, tal como un generador de imán permanente, en una sola unidad. Dichos aparatos de CHF pueden reemplazar calderas de gas convencionales para proporcionar calor para calefacción central y agua caliente, con la electricidad producida como subproducto.

Un ejemplo de un motor térmico conocido simple de ORC 10 se muestra esquemáticamente en la Figura 1A. El ORC tiene un circuito 12 de fluido de trabajo que incluye un evaporador 14 que actúa como fuente de calor para calentar un fluido de trabajo que circula alrededor del circuito 12 de fluido de trabajo, un promotor de expansión-generador 16 de desplazamiento positivo, un intercambiador 18 de calor condensador que actúa como disipador de calor para enfriamiento del fluido de trabajo y una bomba 20. Cada intercambiador 14 evaporador de calor, promotor de expansión-generador 16, condensador 18 y bomba 20 están conectados de forma fluida en serie en el circuito 12 de fluido de trabajo. El promotor de expansión-generador 16 tiene una entrada en comunicación fluida con el evaporador 14 y una salida en comunicación fluida con el condensador 16. La bomba 20 está dispuesta en el circuito 12 de fluido de trabajo entre el condensador 18 y el evaporador 14 pero en el lado opuesto del condensador 18 al promotor de expansión-generador 16.

En el funcionamiento en estado estacionario, el fluido de trabajo se evapora en el evaporador 14 a alta presión (presión  $P_1$ ) y temperatura  $T_1$ . El evaporador 14 recibe una entrada de calor  $Q_{\text{entrada}}$  y trabaja  $W_{\text{entrada}}$  para elevar la temperatura del fluido de trabajo a la temperatura  $T_1$ . El fluido evaporado en fase gaseosa es entonces expandido a través del promotor de expansión-generador 16 produciendo así energía eléctrica,  $W_e$ . El gas sale del promotor de expansión-generador 16 a una presión inferior  $P_2$  y temperatura  $T_2$  y luego es condensado de nuevo a la fase líquida en el condensador 18 donde el calor latente de condensación es entregado a un circuito de refrigeración (no mostrado). El condensador 18 recibe un refrigerante para eliminar la energía  $W_{\text{salida}}$  y el calor  $Q_{\text{salida}}$  del fluido de trabajo. El fluido de trabajo en fase líquida a baja presión  $P_2$  y baja temperatura  $T_2'$  se bombea de nuevo al evaporador a alta presión  $P_1$  mediante la bomba 20, completando así el ciclo.

Al arrancar el motor térmico 10 del ORC de la Figura 1A, se suministra calentamiento  $Q_{\text{entrada}}$  y enfriamiento  $Q_{\text{salida}}$  al evaporador 14 y al condensador 18, respectivamente, y se acciona la bomba 20 para proporcionar alta presión  $P_1$  y el flujo del fluido de trabajo al evaporador 14. Inicialmente, el promotor de expansión-generador 16 no está girando por lo que no hay flujo del fluido de trabajo alrededor del circuito 12 de fluido de trabajo. El promotor de expansión-generador 16 no comienza a girar cuando la bomba 20 empieza a operar debido a la junta y al cojinete de fricción junto con la masa de las partes del generador. Además, comienza a formarse un diferencial de presión negativa a través del promotor de expansión-generador 16 a medida que el elemento de expansión intenta expandir bolsas de gas que han igualado su presión con el fluido de trabajo de baja presión cuando está en reposo.

Para superar este "fricción estática" inicial, se requiere una gran presión de entrada inicial para comenzar la rotación. Esta presión de partida inicialmente elevada es suministrada por la bomba 20. Sin embargo, dado que el promotor de expansión-generador 16 no está girando inicialmente, hay muy poco fluido de trabajo que fluya a través de la bomba 20. Esta situación es perjudicial para la vida útil y el rendimiento de la bomba 20 ya que la bomba 20 puede recalentarse y la lubricación en la misma puede reducirse.

Otra situación indeseable que puede surgir en el arranque es que la bomba 20 comience a secarse. Esto puede suceder cuando el promotor de expansión-generador 16 no giratorio actúa como un bloqueo a lo largo del circuito 12 de fluido de trabajo y la bomba 20 trabaja para desplazar fluido de trabajo hacia el evaporador 14. Sin suficiente circulación de fluido de trabajo, todo el volumen de fluido de trabajo podría bombearse en el evaporador 14, haciendo que la bomba 20 se mueva en seco, aumentando de este modo el desgaste de la bomba y reduciendo su vida útil.

Con el fin de reemplazar con éxito una caldera de gas convencional desde la perspectiva del operador, un motor térmico de ORC, tal como un electrodoméstico de CHP, debería ser capaz de funcionar a través de una gama de temperaturas y demandas de calor, y debería poder ser encendido y apagado de la misma forma que un sistema de caldera a gas convencional.

Un control de puesta en marcha de un motor térmico de ORC se da a conocer en el documento EP2014880A1, que representa la técnica anterior más próxima a la presente invención. Además, también el documento US2009/071156A1 describe un método para la puesta en marcha de un motor térmico de ORC. Sin embargo, este último método no es aplicable a los motores de desplazamiento positivo.

Un objeto de la presente invención es proporcionar un motor térmico de ORC que mejore los motores térmicos de ORC de la técnica anterior, teniendo, por ejemplo, un tiempo de arranque mejorado, una vida útil y un rendimiento mejorados de los componentes, o un aumento de las eficiencias operativas.

Breve resumen de la divulgación

- 5 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un motor térmico de ciclo orgánico de Rankine (ORC) de acuerdo con la reivindicación 1 independientemente que comprende, entre otras cosas:
- un circuito de fluido de trabajo que comprende:
- un evaporador para calentar y evaporar un fluido de trabajo;
- un condensador para enfriar y condensar el fluido de trabajo; y
- 10 un promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo que tiene una entrada en comunicación fluida con el evaporador y una salida en comunicación fluida con el condensador; comprendiendo además el motor térmico de ORC:
- un sistema de control acoplado al promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo que comprende un medio conmutador y de accionamiento, pudiendo conmutarse el conmutador entre un primer estado y un segundo estado, en donde en el primer estado, el conmutador está acoplado al medio de accionamiento y el promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo puede ser accionado por el medio de accionamiento y en el segundo estado el conmutador no está acoplado al medio de accionamiento o el medio de accionamiento está desconectado y el promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo no puede ser accionado por el medio de accionamiento.
- 15
- 20 Preferiblemente, el circuito de fluido de trabajo comprende además una bomba para aumentar la presión del fluido de trabajo que circula alrededor del circuito de fluido de trabajo. El sistema de control comprende medios de detección para detectar una condición de operación del motor térmico de ORC.
- El sistema de control comprende además medios de procesamiento para conmutar el interruptor entre el primer y segundo estados en respuesta a una entrada. El medio de procesamiento está acoplado al medio de detección y el medio de procesamiento están configurado para conmutar el interruptor entre los estados primero y segundo cuando se cumple una condición de operación predeterminada.
- 25
- Preferentemente, el medio de detección comprende un primer medio de detección y un segundo medio de detección,
- 30 en donde el primer medio de detección está configurado para detectar la velocidad de rotación del promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo y ajustar la salida del medio de accionamiento de tal manera que se mantenga una velocidad rotacional sustancialmente fija del promotor de expansión-generador cuando el conmutador está en el primer estado, y
- en donde el segundo medio de detección está configurado para detectar un parámetro de funcionamiento del medio de accionamiento.
- 35
- Preferentemente, la condición de operación predeterminada se cumple cuando la salida del medio de accionamiento es menor o igual a un umbral predeterminado.
- En una realización preferida, el promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo comprende un expansor y un generador cada uno en un eje común y la bomba está acoplada al promotor de expansión-generador sobre el eje común. En una realización preferida particular, la bomba está dispuesta entre el expansor y el generador.
- 40
- El interruptor comprende un conmutador electromecánico, y preferiblemente comprende un conmutador electromecánico de tres polos (3PCO). En una realización alternativa, el conmutador comprende preferiblemente uno o más relés de estado sólido o un conmutador semiconductor.
- 45
- El promotor de expansión-generador comprende preferiblemente un promotor de expansión por desplazamiento, y preferiblemente comprende un generador de imán permanente. Los medios de accionamiento comprenden preferiblemente un motor y el conmutador incluye un embrague para conectar y desconectar el motor del promotor de expansión-generador, donde, preferiblemente, el medio de accionamiento comprende un inversor. El inversor está configurado preferiblemente para tomar potencia de un bus de corriente continua y suministrar una corriente eléctrica trifásica al promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo con el fin de accionar el promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo. Adicionalmente o alternativamente, el inversor es conmutable para actuar como rectificador de manera que, cuando el promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo genera una corriente eléctrica trifásica, el inversor actúa como un rectificador para convertir la corriente eléctrica trifásica producida en una corriente directa (DC) para el suministro a un bus de DC. En esta realización
- 50

preferible, la conmutación del inversor se produce automáticamente cuando el promotor de expansión-generador de desplazamiento comienza a generar una corriente, invirtiendo la dirección de la corriente.

5 Preferentemente, el primer medio de detección está configurado para ajustar la salida del inversor ajustando la corriente eléctrica suministrada al inversor, y en donde el parámetro operativo del inversor detectado por el segundo medio de detección es la corriente eléctrica que es suministrada al inversor.

En una realización, la condición de operación predeterminada se cumple preferiblemente cuando la corriente eléctrica que se suministra al inversor es menor o igual a un umbral predeterminado, que es preferiblemente de aproximadamente 0 A.

10 Preferiblemente, el motor térmico de ORC de la presente invención comprende además un intercambiador de calor regenerador dispuesto para facilitar el intercambio de calor entre el fluido de trabajo que sale por la salida del promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo y el fluido de trabajo que entra en el evaporador.

15 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema eléctrico que comprende un motor térmico de ORC de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, y una carga eléctrica dispuesta para ser acoplada eléctricamente al promotor de expansión-generador cuando el conmutador está en el segundo estado de tal manera que la carga eléctrica puede ser alimentada por la energía eléctrica producida por el promotor de expansión-generador.

De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de control para controlar un motor térmico de ORC, que comprende todas las características y etapas del método de la reivindicación 14 independiente, que comprende entre otros:

20 un inversor;  
un conmutador que puede ser conmutado entre un primer estado y un segundo estado;  
un medio de detección acoplado al conmutador y configurado para detectar una condición de operación del motor térmico de ORC; y

25 un medio de procesamiento acoplado al medio de detección, estando configurados el medio de procesamiento para conmutar el conmutador entre los estados primero y segundo cuando se cumple una condición de operación predeterminada;

30 en donde en el primer estado el conmutador está acoplado eléctricamente al inversor y en el segundo estado el conmutador no está acoplado eléctricamente al inversor, de manera que cuando el sistema de control está conectado a un motor térmico que comprende un promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo, el promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo puede ser accionado por el inversor cuando el conmutador está en el primer estado y el promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo no puede ser accionado por el inversor cuando el conmutador está en el segundo estado.

35 De acuerdo con un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un método para controlar un motor térmico ORC, que comprende todas las características y etapas de la reivindicación 14 independiente y particularmente comprende las etapas de:

- 40 (i) proporcionar un motor térmico ORC de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención con el interruptor en el primer estado;  
(ii) operar el medio de accionamiento para accionar el promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo y, de este modo, hacer circular el fluido de trabajo alrededor del circuito del fluido de trabajo;  
(iii) conmutar el interruptor desde el primer estado al segundo estado de modo que el promotor de expansión-generador es accionado por el fluido de trabajo circulante y no el medio de accionamiento, y genera energía eléctrica.

45 En una realización preferible, el circuito de fluido de trabajo del motor térmico de ORC comprende además una bomba para aumentar la presión del fluido de trabajo que circula alrededor del circuito de fluido de trabajo, y en el que el método comprende además la etapa de:

(iv) operar la bomba para aumentar la presión del fluido circulante de trabajo, antes de la etapa (iii).

50 Además, preferiblemente, el promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo del motor térmico de ORC comprende un expansor y un generador cada uno en un eje común y la bomba está acoplada al promotor de expansión-generador sobre el eje común y en donde la etapa (iv) es realizada simultáneamente con la etapa (ii). El sistema de control del motor térmico de ORC preferiblemente comprende, además:

un medio de detección para detectar una condición de operación del motor térmico; y

un medio de procesamiento acoplado al medio de detección;

en donde el medio de procesamiento ejecuta automáticamente la etapa (iii) cuando se cumple una condición de operación predeterminada. En una realización preferible, la bomba está dispuesta entre el expansor y el generador, aunque esto no necesariamente debe ser el caso en otras realizaciones.

5 Además, preferiblemente, el medio de detección comprende un primer medio de detección y un segundo medio de detección,

en donde el primer medio de detección detecta la velocidad de rotación del promotor de expansión-generador de desplazamiento positivo y ajusta la salida del medio de accionamiento de tal manera que una velocidad rotacional sustancialmente fijo del promotor de expansión-generador se mantiene cuando el conmutador está en el primer estado y

el segundo medio de detección detecta un parámetro de operación del medio de accionamiento; y

en donde la condición de operación predeterminada se cumple cuando la salida del medio de accionamiento es menor o igual a un umbral predeterminado.

15 En una realización alternativa, el medio de detección detecta preferiblemente una elevación de presión en el fluido de trabajo producida por la bomba, y la condición de operación predeterminada se cumple cuando la elevación de presión detectada es mayor o igual a un umbral predeterminado.

En cualquier realización, el método preferiblemente comprende adicionalmente la etapa de conectar el promotor de expansión-generador a una carga eléctrica a través del conmutador antes de ejecutar la etapa (iii), en donde después de la etapa (iii) la energía eléctrica generada por el promotor de expansión-generador se suministra a la carga eléctrica a través del conmutador. El medio de accionamiento comprende preferiblemente un inversor.

20 Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la invención se describen adicionalmente a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

25 La Figura 1A muestra esquemáticamente un motor térmico de ciclo orgánico de Rankine (ORC) y la Figura 1B muestra esquemáticamente un motor térmico de ORC similar que incluye un intercambiador térmico regenerador; y

la Figura 2 muestra un motor térmico de ORC de acuerdo con una realización de la presente invención que comprende un sistema de control y una carga conectada.

Descripción detallada

30 La Figura 1A muestra esquemáticamente un ciclo 10 orgánico de Rankine conocido (ORC) que forma los componentes básicos de un motor térmico. Un sistema eléctrico de acuerdo con una realización de la presente invención se muestra esquemáticamente en la Figura 2 que comprende un motor 100 térmico que tiene un sistema 10 de ORC (mostrado solo parcialmente) y un sistema 22 de control, y una carga 30 eléctrica conectada. El sistema 10 de ORC de la presente invención es sustancialmente idéntico al sistema 10 de ORC de la Figura 1A y comprende los mismos componentes, a saber, un circuito 12 de fluido de trabajo que incluye un evaporador 14 que actúa como una fuente de calor para calentar un fluido de trabajo que circula alrededor del circuito 12 de fluido de trabajo, un promotor de expansión-generador 16 de desplazamiento positivo, un intercambiador 18 térmico condensador que actúa como un disipador térmico para enfriar el fluido de trabajo y una bomba 20.

35 La Figura 1B muestra un ORC 10' modificado que puede ser usado como parte de la presente invención. El ORC 10' modificado incluye un intercambiador 32 de calor regenerador. El intercambiador 32 de calor regenerador es un intercambiador de calor adicional en el sistema que ayuda a aumentar el rendimiento del sistema. Bajo condiciones ideales, un intercambiador 32 de calor regenerador no sería necesario, sin embargo, en sistemas reales a menudo no es posible igualar las propiedades termodinámicas de los fluidos de trabajo a las presiones y temperaturas exactas encontradas en el ORC 10' en puntos específicos. Por ejemplo, en un sistema real, el fluido de trabajo que sale del promotor de expansión-generador 16 de desplazamiento positivo, una vez expandido, está todavía en un estado sobrecalentado. Por el contrario, en un sistema ideal, el fluido de trabajo sólo estaría ligeramente sobrecalentado, o incluso un vapor saturado. El regenerador 32 toma parte del exceso de calor presente en sistemas del mundo real y lo transfiere ( $Q_{\text{exceso}}$ ) al fluido de trabajo en el lado opuesto del ciclo antes de su entrada en el evaporador 14. Al proporcionar esta medida correctiva, el regenerador 32 permite sintonizar al sistema 10' con una eficiencia óptima compensando la ligera falta de coincidencia entre un fluido de trabajo seleccionado y un fluido de trabajo idealizado. Por lo tanto, el regenerador 32 reduce la relación de calor a potencia del sistema 10', lo cual es ventajoso para un producto de calor y energía micro combinado.

El sistema 22 de control 2 comprende un inversor 24, un conmutador 26 y uno medio 28 de detección. El sistema 22 de control está acoplado al promotor de expansión-generador 16 de desplazamiento positivo del ORC 10/10'. El conmutador 26 es conmutable entre un primer estado y un segundo estado. En el primer estado, el conmutador 26

está acoplado eléctricamente al inversor 24 y el promotor de expansión-generador 16 de desplazamiento positivo puede ser accionado por el inversor cuando se suministra potencia eléctrica  $P_{\text{inversor}}$  al inversor. En el segundo estado, el conmutador 26 no está acoplado eléctricamente al inversor 24, y el promotor de expansión-generador 16 de desplazamiento positivo no puede ser accionado por el inversor. Sin embargo, en el segundo estado, el conmutador 26 acopla eléctricamente la carga 30 eléctrica al promotor de expansión-generador 16 de tal manera que la energía eléctrica generada por el promotor de expansión-generador 16 puede alimentar la carga 30 eléctrica.

Aunque la presente invención se describe como que tiene un inversor como parte del sistema de control para accionar selectivamente el promotor de expansión-generador, realizaciones alternativas pueden emplear cualquier medio de accionamiento adecuado, tal como un motor, para accionar selectivamente el promotor de expansión-generador, donde el conmutador determina si el medio de accionamiento es capaz de accionar o no el promotor de expansión-generador.

También se sabe que se puede emplear un inversor como rectificador en algunos sistemas. Algunos inversores incluyen diodos "de rueda libre" a través de los transistores de conmutación, comúnmente semiconductores de tipo IGBT, que permiten que la máquina accionadora gire libremente. Cuando la máquina accionadora está generando potencia, se sabe que pueden usarse diodos de rueda libre para rectificar la corriente eléctrica AC de la máquina y convertirla en corriente eléctrica DC. Tales sistemas como los descritos incluyen un carril de corriente continua que alimenta un inversor conectado a la red para dar salida a la energía eléctrica generada en un sistema de CHP al suministro eléctrico principal en una vivienda doméstica. De esta manera, es posible accionar el desplazamiento usando un inversor y utilizando el mismo inversor para rectificar la salida de potencia alterna trifásica del promotor de expansión-generador a DC una vez que se genera lista para ser invertida y alimentarla a una red de suministro de una sola fase.

Los medios 28 de detección son capaces de detectar una o más condiciones de operación del motor 100 térmico. El sistema 22 de control comprende además un medio de procesamiento (no mostrado) para conmutar el interruptor 26 entre el primer y segundo estados en respuesta a una entrada. La entrada puede ser una entrada de usuario o una entrada automática, tal como una entrada procedente del medio 28 de detección, por ejemplo. Los medios de procesamiento están dispuestos para conmutar el interruptor 26 cuando se cumple una condición de operación predeterminada, como la detectada por el medio 28 de detección. En una realización preferida adicional, el medio 28 de detección comprende un primer medio de detección y un segundo medio de detección, en donde el primer medio de detección está configurado para detectar la velocidad de rotación del promotor de expansión-generador 16 de desplazamiento positivo y ajustar la corriente eléctrica suministrada al inversor 24 de tal manera que se mantiene una velocidad de rotación fija cuando el conmutador 26 está en el primer estado. El segundo medio de detección está configurado para detectar la corriente eléctrica que se suministra al inversor. Cuando la corriente eléctrica que se suministra al inversor 24 es detectada por el segundo medio de detección como inferior o igual a un umbral predeterminado (por ejemplo, aproximadamente 0 A), se cumple la condición de operación predeterminada y el procesador conmuta el interruptor 26 entre el primer y segundo estados.

En el sistema de arranque, el promotor de expansión-generador 16 está conectado al inversor 24 por medio del conmutador 26. Inicialmente, el inversor 24 acciona al promotor de expansión-generador 16 a una velocidad de rotación relativamente lenta (alrededor de 800 rpm, por ejemplo), pero fija, en comparación con la velocidad operacional del promotor de expansión-generador 16 (por ejemplo 3600 rpm). Cuando el promotor de expansión-generador 16 rota, no actúa como una válvula cerrada dentro del circuito 12 de fluido de trabajo y el fluido de trabajo termodinámico puede circular alrededor del circuito 12. En el arranque, esta disposición de accionamiento permite que el calor del evaporador 14 pase alrededor del sistema 10/10' de ORC calentándolo más rápidamente de lo que sería el caso si el promotor de expansión-generador 16 no girara, o si el sistema 10/10' de ORC estuviera calentado a través del condensador 18 por un circuito de precalentamiento de temperatura más baja. Además, este proceso calienta rápidamente las áreas del sistema 10/10' de ORC que están calientes en un estado operativo de funcionamiento en lugar de calentar el condensador 18, que es más frío en su estado operativo de funcionamiento. Por lo tanto, las condiciones operativas del estado de funcionamiento del sistema 10/10' de ORC se consiguen más rápidamente.

Una vez que el sistema 10/10' de ORC ha sido calentado suficientemente, o una vez que se alcanza un grado de subenfriamiento determinado, la bomba 20 puede ser encendida para aumentar la presión del fluido de trabajo y proporcionar un aumento de presión, elevando así la presión en la entrada del promotor de expansión-generador 16. Cuando existe poco flujo alrededor del circuito 12 de fluido de trabajo, el promotor de expansión-generador 16 giratorio actúa como una bomba de desplazamiento que alimenta efectivamente la bomba 20 con fluido de trabajo. Esto impide que la bomba 20 funcione en seco, minimizando así el desgaste de la bomba y aumentando la vida útil de la misma.

Cuando el flujo del fluido de trabajo comienza a accionar el promotor de expansión-generador 16, se requerirá que el inversor 24 suministre menos torque para mantener la velocidad de rotación fija. Con el fin de mantener una velocidad sustancialmente fija, el primer medio de detección detecta la velocidad de rotación del promotor de expansión-generador 16 y ajusta la corriente eléctrica suministrada al inversor 24 si la velocidad de rotación está ligeramente por encima o por debajo de la velocidad de rotación deseada. Este ajuste de realimentación de la

corriente suministrada al inversor 24 permite que la velocidad de rotación del promotor de expansión-generador se mantenga sustancialmente a un nivel deseado.

5 A medida que el promotor de expansión-generador 16 comienza a ser accionado cada vez más por el fluido de trabajo circulante en lugar del inversor 24, la corriente procedente del inversor 24 comienza a caer. En el punto en el que el promotor de expansión-generador 16 está siendo accionado sustancialmente por el fluido de trabajo (que es accionado por la bomba 20), la corriente suministrada al inversor 24 caerá a cero o a un nivel bajo. Una condición de operación predeterminada, tal como la corriente del inversor que es igual o que cae por debajo de un umbral predeterminado tal como 0 A, por ejemplo, puede determinar un "punto crítico de conmutación" para el sistema, por lo que el conmutador 26 se cambia del primer estado al segundo. La conmutación del interruptor 26 puede ser accionada por el medio procesador cuando se cumple la condición de operación predeterminada. En realizaciones alternativas, las condiciones de operación predeterminadas distintas de la corriente del inversor pueden determinar el punto de conmutación crítico. Por ejemplo, entre otros posibles parámetros, puede utilizarse una condición de operación predeterminada relativa al torque del inversor o al voltaje del inversor para determinar el punto crítico de conmutación.

15 A medida que el conmutador 26 pasa del primer estado al segundo estado, el promotor de expansión-generador 16 se desconecta rápidamente del inversor 24 y se conecta a la carga 30. Si se ha escogido un punto de conmutación adecuado (es decir, una condición predeterminada), el promotor de expansión-generador 16 continuará girando debido al fluido de trabajo circulante y producirá energía eléctrica  $W_e$  que es suministrada a la carga 30 a través del conmutador 26. Es importante conmutar el promotor de expansión-generador 16 en el punto donde el flujo termodinámico a través del promotor de expansión-generador 16 es suficiente para mantenerlo girando una vez que el promotor de expansión-generador 16 se desconecta del inversor 24 y está conectado a la carga 30. Una vez que se ha producido el cambio, el promotor de expansión-generador 16 puede ser acelerado a su velocidad de trabajo óptima.

20 Un método de conmutación crítica particularmente preferible y reproducible es usar una condición de operación predeterminada que se relacione con la diferencia de presión generada por la bomba 20. Cuando la bomba 20 se conecta primero a baja velocidad, comienza a producir una elevación de presión. A medida que aumenta la velocidad de la bomba, la elevación de presión también aumenta. Hay una elevación de presión mínima que es tal que si el inversor se apaga o desconecta del promotor de expansión-generador 16, el promotor de expansión-generador 16 continuará girando debido a la elevación de presión producida por la bomba 20. Esta presión mínima representa el punto crítico de conmutación más temprano. Si el inversor 24 se apaga o desconecta del promotor de expansión-generador 16 cuando la presión del fluido de trabajo es igual o superior a la presión mínima, el promotor de expansión-generador 16 continuará girando debido a la circulación del fluido de trabajo.

25 El interruptor 26, por sí mismo, puede ser un interruptor de conmutación de tres polos electromecánico (3PCO), un conmutador de relé de estado sólido, un conmutador semiconductor o cualquier otro conmutador o combinación de conmutadores adecuado que permita que el promotor de expansión-generador 16 se conecte selectivamente al inversor 24 y la carga 30.

30 En una realización alternativa de la invención, el expansor y el generador del promotor de expansión-generador 16 están acoplados entre sí sobre un eje común y la bomba 20 está acoplada al promotor de expansión-generador 16 en el mismo eje común de tal manera que la bomba 20 está dispuesto entre el expansor y el generador. Preferiblemente, el promotor de expansión-generador 16 y la bomba 20 están térmicamente aislados entre sí, preferiblemente mediante un acoplamiento magnético.

35 En esta realización alternativa, el inversor 24 puede usarse para accionar el promotor de expansión-generador 16 al arrancar antes de que se genere una cabeza de presión. Debido al acoplamiento del promotor de expansión-generador 16 y la bomba 20, el promotor de expansión-generador 16 giratorio hace que la bomba 20 también gire y funcione, y por lo tanto hace que el fluido de trabajo circule alrededor del circuito de fluido de trabajo a una velocidad proporcional a la Velocidad de rotación del promotor de expansión-generador 16 y la bomba 20.

40 A medida que la presión del fluido de trabajo aumenta hasta el nivel mínimo en el que la fuerza de accionamiento suministrada al promotor de expansión-generador 16 por el inversor 24 no se requiere para mantener la rotación del promotor de expansión-generador 16, el requerimiento de corriente del inversor 24 cae a cero y el inversor 24 puede ser apagado o desconectado del promotor de expansión-generador ya que la presión del fluido de trabajo generado en el evaporador 14 es suficiente para hacer que el promotor de expansión-generador 16 continúe girando y, a su vez, accione la bomba 20.

45 Como con la primera realización descrita anteriormente, se puede usar el medio de detección como parte de un sistema de realimentación para reducir la corriente suministrada al inversor 24, ya que el inversor 24 necesita menos para mantener la rotación del promotor de expansión-generador 16 a una velocidad sustancialmente constante, y se puede usar un medio de procesamiento para conmutar el interruptor 26 de manera que el promotor de expansión-generador 16 se desconecta del inversor 24 (o el inversor 24 está desconectado) y está conectado a la carga 30 eléctrica cuando se cumple la condición predeterminada. Los medios de procesamiento pueden operar con base en un algoritmo de control que considera parámetros medidos por el medio de detección.

5 En cualquier realización, la presente invención tiene la ventaja de proporcionar una rutina de arranque que asegura que la bomba 20 de fluido de trabajo no sea operada en situaciones desfavorables que son perjudiciales para la vida útil y el rendimiento de la bomba. En consecuencia, se requiere menos lubricante en el fluido de trabajo, aumentando así la eficiencia del sistema y, en particular, la eficiencia eléctrica. El tiempo de arranque de un motor  
10 térmico de acuerdo con la presente invención se reduce sustancialmente en comparación con las disposiciones de la técnica anterior. Por ejemplo, un motor térmico fabricado de acuerdo con la presente invención es capaz de calentar motores usando procedimientos de precalentamiento previo y, por lo tanto, disminuye el costo total de un sistema de acuerdo con la presente invención, y aumenta su confiabilidad. La presente invención niega el requisito previo de una presión de arranque proporcionada por la bomba 20 de fluido de trabajo, reduciendo por lo tanto el desgaste operativo, mejorando el rendimiento operativo y aumentando la longevidad de la bomba 20. Adicionalmente, al tener un punto de conmutación que está determinado por una condición de operación predeterminada, hay más certeza en saber cuándo comenzará la generación de energía por el promotor de expansión-generator 16. Además, la presente invención permite un protocolo de puesta en marcha simplificado, dado que no hay distinción necesaria entre un "arranque en frío" en donde el sistema no ha estado funcionando recientemente y un "reinicio en caliente" en el que se reinicia el sistema.

20 A lo largo de la descripción y reivindicaciones de esta memoria descriptiva, las palabras "comprenden" y "contienen" y sus variaciones significan "que incluye, pero no se limitan a", y no pretenden excluir (y no lo hacen) otras fracciones, aditivos, componentes, números enteros o etapas. A lo largo de la descripción y reivindicaciones de esta memoria descriptiva, el singular abarca el plural a menos que el contexto lo requiera de otro modo. En particular, cuando se utiliza el artículo indefinido, se entiende que la memoria descriptiva contempla tanto la pluralidad como la singularidad, a menos que el contexto lo exija de otro modo. La invención por sí misma está solamente definida por las reivindicaciones adjuntas.

Reivindicaciones

1. Un motor térmico 100 del ciclo orgánico de Rankine (ORC) que comprende:  
un circuito (12) de fluido de trabajo que comprende:  
un evaporador (14) para calentar y evaporar un fluido de trabajo;
- 5 un condensador (18) para enfriar y condensar el fluido de trabajo; y  
un promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo que tiene una entrada en comunicación fluida con el evaporador y una salida en comunicación fluida con el condensador (18); comprendiendo además el motor 100 térmico de ORC:
- 10 un sistema 22 de control acoplado al promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo que comprende un conmutador (26) y el medio (24) de accionamiento, siendo el conmutador (26) conmutable entre un primer estado y un segundo estado;
- 15 en donde en el primer estado el conmutador (26) está acoplado a los medios (24) de accionamiento y el promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo puede ser accionado por los medios (24) de accionamiento y en el segundo estado el conmutador (26) no está acoplado al medio (24) de accionamiento o el medio (24) de accionamiento está desconectado y el promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo no puede ser accionado por el medio (24) de accionamiento;
- 20 el sistema (22) de control comprende además un medio (28) de detección para detectar una condición operativa del motor (100) térmico de ORC y un medio de procesamiento para conmutar el interruptor (26) entre el primero y el segundo estados en respuesta a una entrada, estando el medio de procesamiento acoplado al medio (28) de detección y estando el medio de procesamiento configurado para conmutar el interruptor (26) entre el primer y el segundo estados cuando se satisface un condición de operación predeterminada;
- 25 caracterizado porque la condición de operación predeterminada es el flujo termodinámico a través del promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo siendo suficiente para mantener el promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo girando una vez que el promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo se desconecta del medio (24) de accionamiento y se conecta a una carga (30) eléctrica.
2. Un motor (100) térmico de ORC de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el circuito de fluido de trabajo comprende además una bomba (20) para aumentar la presión del fluido de trabajo que circula alrededor del circuito de fluido de trabajo.
- 30 3. Un motor (100) térmico de ORC de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el medio (28) de detección comprende un primer y segundo medio de detección,
- en donde el primer medio de detección está configurado para detectar la velocidad de rotación del promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo y ajustar la salida del medio (24) de accionamiento de tal manera que se mantenga una velocidad de rotación sustancialmente fija del promotor de expansión-generador (16) cuando el conmutador (26) está en el primer estado, y
- 35 en donde el segundo medio de detección está configurado para detectar un parámetro de operación del medio (24) de accionamiento.
4. Motor (100) térmico de ORC de acuerdo con la reivindicación 3, en donde la condición de operación predeterminada se cumple cuando la salida del medio (24) de accionamiento es menor o igual a un umbral predeterminado.
- 40 5. Un motor (100) térmico de ORC de acuerdo con la reivindicación 2 o cualquiera de las reivindicaciones 3 o 4 cuando depende de la reivindicación 2, en donde el promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo comprende un expansor y un generador cada uno en un eje común y la bomba (20) está acoplado al promotor de expansión-generador (16) en el eje común.
- 45 6. Un motor (100) térmico ORC de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el conmutador (26) comprende un conmutador electromecánico, opcionalmente en donde el conmutador (26) comprende un conmutador electromecánico de tres polos (3PCO).
7. Un motor (100) térmico de ORC de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el conmutador (26) comprende uno o más relés de estado sólido, o en donde el conmutador (26) comprende un conmutador semiconductor.

8. Un motor (100) térmico de ORC de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el promotor de expansión-generador (16) comprende un promotor de expansión por desplazamiento, y/o en donde el promotor de expansión-generador (16) comprende un generador de imán permanente.
- 5 9. Un motor (100) térmico de ORC de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el medio (24) de accionamiento comprende un motor y el conmutador (26) incluye un embrague para conectar y desconectar el motor del promotor de expansión-generador (16).
10. Un motor (100) térmico ORC de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde el medio (24) de accionamiento comprende un inversor,
- 10 opcionalmente, en donde el inversor está configurado para tomar potencia desde un bus de corriente continua y suministrar una corriente eléctrica trifásica al promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo para accionar el promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo; y
- 15 opcionalmente en donde el inversor es conmutable para actuar como un rectificador de manera que, cuando el promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo genera una corriente eléctrica trifásica, el inversor actúa como un rectificador para convertir la corriente eléctrica trifásica producida en una corriente directa (DC) para el suministro a un bus de DC.
11. Un motor (100) térmico de ORC de acuerdo con la reivindicación 10 cuando depende de la reivindicación 3, en donde el primer medio de detección está configurado para ajustar la salida del inversor ajustando la corriente eléctrica suministrada al inversor, y en donde el parámetro de operación del inversor detectado por el segundo medio de detección es la corriente eléctrica que es suministrada al inversor;
- 20 opcionalmente en donde la condición de operación predeterminada se cumple cuando la corriente eléctrica que se suministra al inversor es inferior o igual a un umbral predeterminado; y
- opcionalmente en donde el umbral predeterminado es de aproximadamente 0 A.
12. Un motor (100) térmico de ORC de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, comprende además un intercambiador (32) de calor regenerador dispuesto para facilitar el intercambio de calor entre el fluido de trabajo que sale por la salida del promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo y el fluido de trabajo que entra al evaporador (14).
- 25 13. Un sistema eléctrico que comprende un motor (100) térmico de ORC de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, y una carga (30) eléctrica dispuesta para ser acoplada eléctricamente al promotor de expansión-generador (16) cuando el conmutador (26) está en el segundo estado de tal manera que la carga (30) eléctrica pueda ser alimentada por energía eléctrica producida por el promotor de expansión-generador (16).
- 30 14. Un método para controlar un motor (100) térmico de ORC, que comprende las etapas de:
- (i) proporcionar un motor (100) térmico de ORC de acuerdo con la reivindicación 1 con el conmutador (26) en el primer estado;
- 35 (ii) operar el medio (24) de accionamiento para accionar el promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo y, de este modo, hacer circular el fluido de trabajo alrededor del circuito (12) de fluido de trabajo;
- (iii) conmutar el interruptor (26) desde el primer estado al segundo estado de modo que el promotor de expansión-generador (16) es accionado por el fluido de trabajo en circulación y no por el medio (24) de accionamiento, y genera energía eléctrica, en donde el medio procesamiento ejecuta automáticamente la etapa (iii) cuando se cumple la condición de operación predeterminada.
- 40 15. Un método de acuerdo con la reivindicación 14, en donde el circuito (12) de fluido de trabajo del motor (100) térmico de ORC comprende además una bomba (20) para aumentar la presión del fluido de trabajo que circula alrededor del circuito (12) de fluido de trabajo, y en donde el método comprende además la etapa de:
- (iv) operar la bomba (20) para aumentar la presión del fluido de trabajo circulante, antes de la etapa (iii);
- 45 opcionalmente, en donde el promotor de expansión-generador (16) de desplazamiento positivo del motor (100) térmico de ORC comprende un expansor y un generador cada uno en un eje común y la bomba (20) está acoplada al promotor de expansión-generador (16) en el eje común, y en donde la etapa (iv) se realiza simultáneamente con la etapa (ii);
- 50 opcionalmente, en donde el medio (28) de detección detecta una elevación de presión en el fluido de trabajo producida por la bomba (20), y la condición de operación predeterminada se cumple cuando la elevación de presión detectada es mayor o igual a un umbral predeterminado;

opcionalmente, en donde el método comprende además la etapa de conectar el promotor de expansión-generador (16) a una carga (30) eléctrica a través del conmutador (26) antes de ejecutar la etapa (iii), en donde después de la etapa (iii) se suministra la eléctrica generada por el promotor de expansión-generador (16) a la carga (30) eléctrica a través del conmutador (26); y

5 opcionalmente, en donde el medio (24) de accionamiento comprende un inversor.

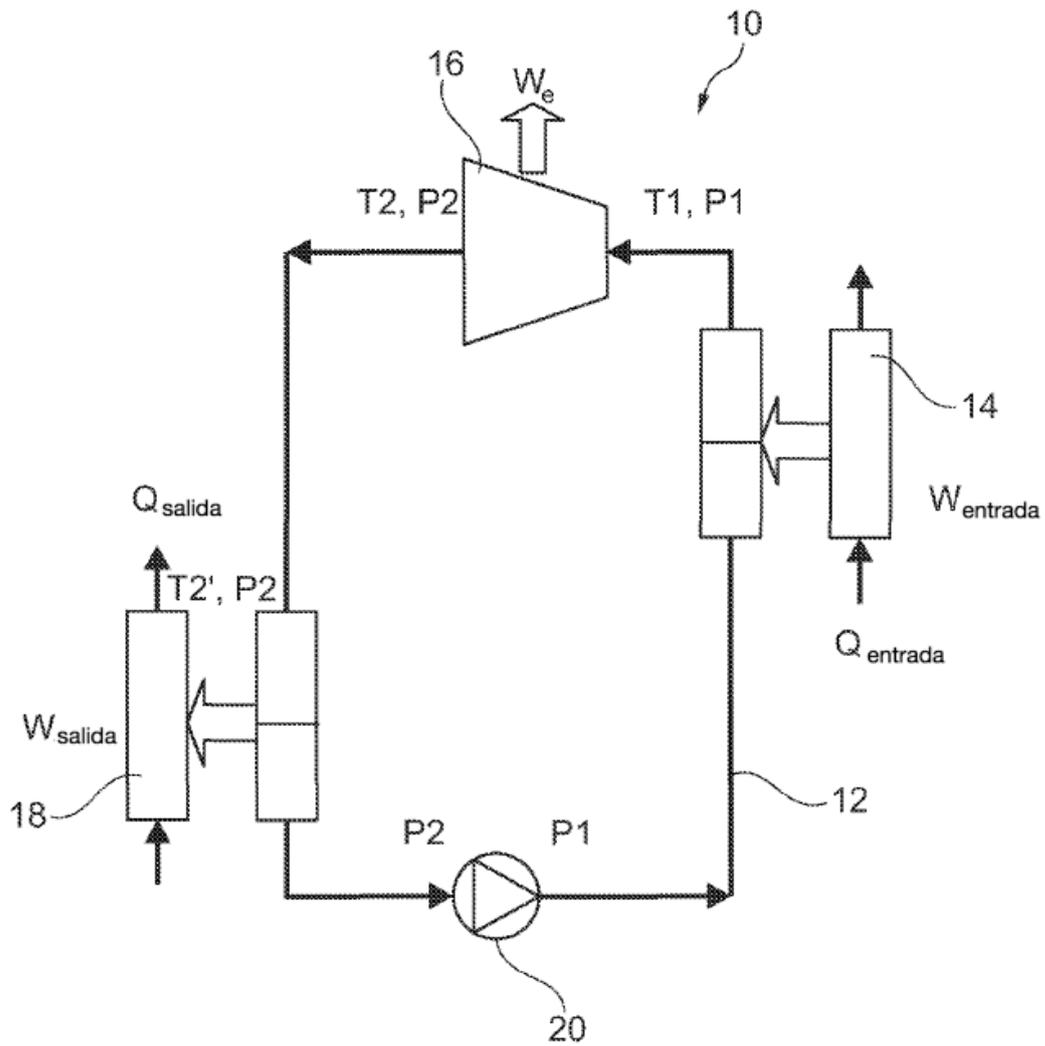


Fig. 1A  
(ESTADO DE LA TÉCNICA)

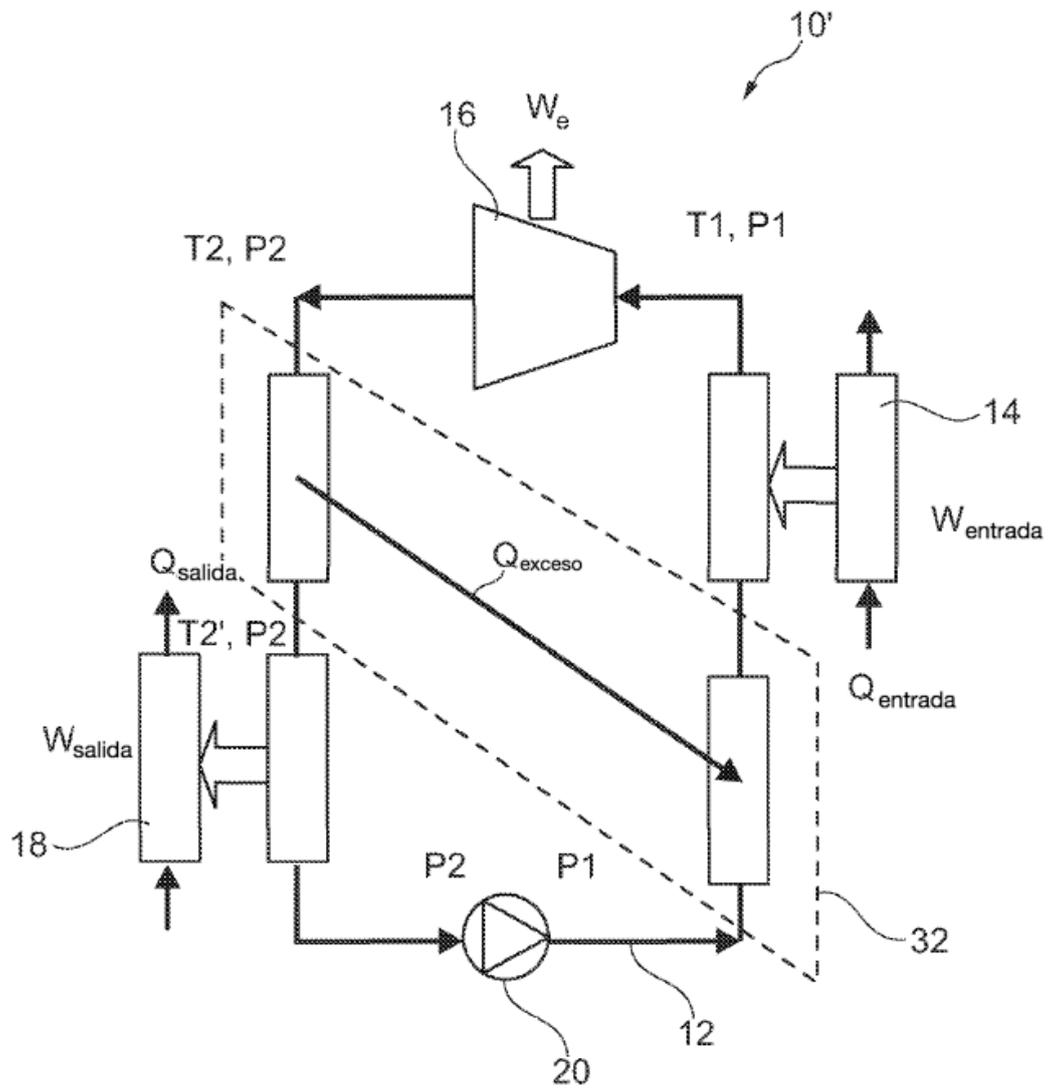


Fig. 1B  
(ESTADO DE LA TÉCNICA)

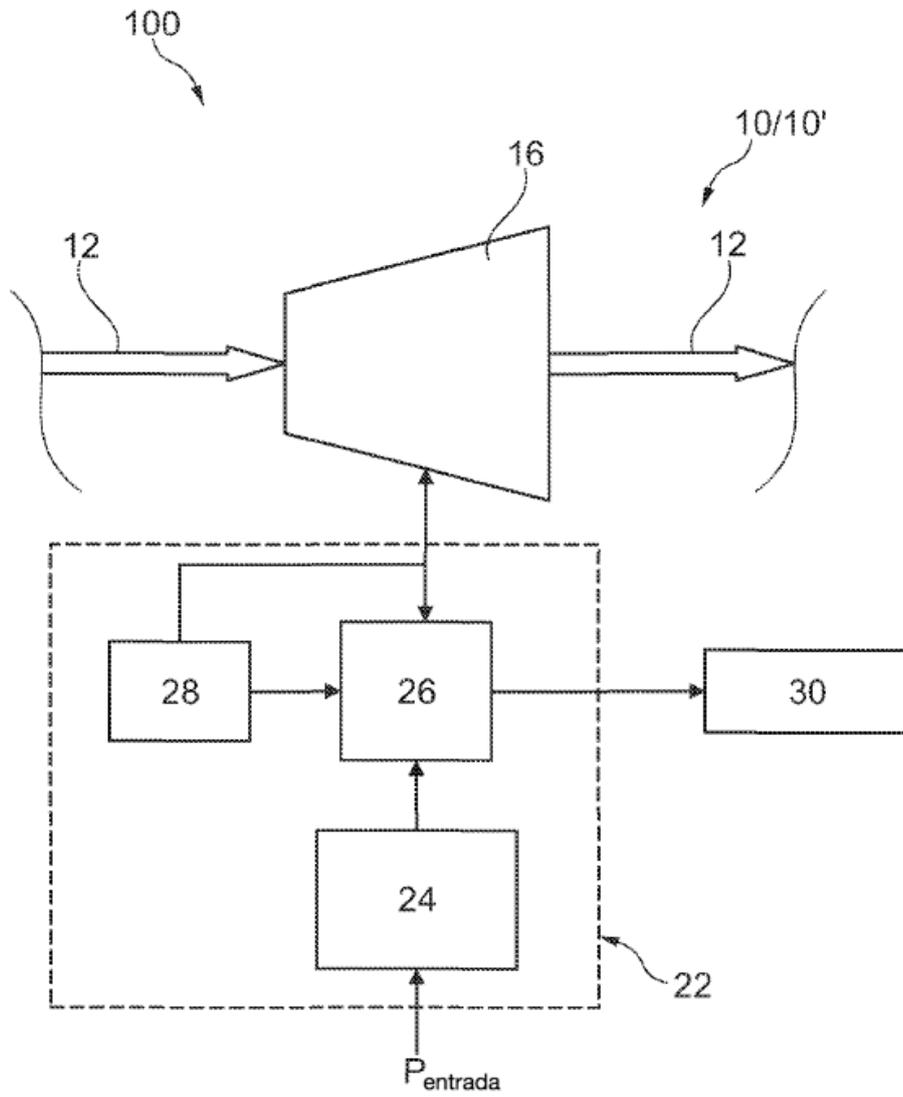


Fig. 2