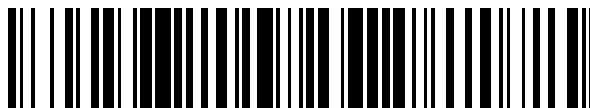


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 586 425**

21 Número de solicitud: 201530204

51 Int. Cl.:

**F01K 13/02**

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

**19.02.2015**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**14.10.2016**

71 Solicitantes:

**EXPANDER TECH, S.L. (100.0%)  
PLAZA LA PAZ, 2, 1º  
12600 LA VALL D'UIXÓ (Castellón) ES**

72 Inventor/es:

**COLLADO PUIG, Roberto;  
GONZÁLEZ PIQUER, Manuel;  
MARTÍ MATA, Jose Pascual y  
NAVARRO ESBRI, Joaquín**

74 Agente/Representante:

**COLLADO PUIG, Roberto**

54 Título: **SISTEMA DE ANTI-CAVITACIÓN EFICIENTE DE BOMBAS PARA CICLOS DE POTENCIA RANKINE ORGÁNICOS**

57 Resumen:

Se trata de un sistema de anti-cavitación eficiente de bombas para ciclos de potencia Rankine orgánicos, consistente en la optimización de la altura neta positiva (o NPSH) disponible a la aspiración de la bomba (4) del ciclo. De este modo, se mejora el funcionamiento de la bomba (4), se alarga su vida útil y se aumenta la eficiencia energética del ciclo de potencia.

Para ello, se requiere de una serie de sensores (7, 8, 9) y un sistema de control (6) que compare las necesidades de la bomba con las condiciones de operación instantáneas y que mediante unos actuadores (5) optimice el funcionamiento del ciclo de potencia.

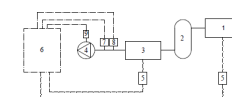


Fig. 3 Sistema de anti-cavitación eficiente controlando el caudal de aire que entra en el condensador y en el sub-enfriador.

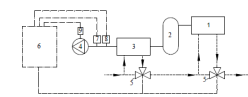


Fig. 5 Sistema de anti-cavitación eficiente controlando el caudal de líquido que entra en el condensador y en el sub-enfriador.

## **DESCRIPCIÓN**

### **SISTEMA ANTI-CAVITACIÓN EFICIENTE DE BOMBAS PARA CICLOS DE POTENCIA RANKINE ORGÁNICOS**

5

#### **SECTOR DE LA TÉCNICA**

10 La presente invención va dirigida a mejorar el funcionamiento, alargar la vida útil y aumentar la eficiencia energética de los ciclos de potencia basados en el ciclo termodinámico Rankine. Concretamente, se trata de un sistema de optimización de la altura neta positiva (comúnmente conocido por su acrónimo en inglés NPSH, *Net Positive Suction Head*) disponible en la bomba del ciclo. De este modo, se evita la cavitación de la bomba y se mejora el rendimiento del ciclo de potencia.

15

#### **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

20 El ciclo de potencia Rankine de vapor es el principal sistema de generación utilizado en las centrales eléctricas. Sin embargo, su aplicación en fuentes de baja temperatura no presenta eficiencias energéticas satisfactorias. Por eso se desarrolló un ciclo de potencia similar, pero que utiliza fluidos de trabajo más volátiles que el agua para mejorar la eficiencia en aplicaciones de baja temperatura, tales como solar térmica, geotérmica, biomasa, calor residual u otras. Éste es el Ciclo Rankine Orgánico (ORC, por las siglas en inglés *Organic Rankine Cycle*). Su principio de funcionamiento consiste en evaporar el fluido orgánico de trabajo mediante la energía térmica de la fuente y expandir el vapor para generar trabajo mecánico, que a su vez se convierte en electricidad por medio de un generador eléctrico. Se trata de un ciclo cerrado, en el que el vapor de la salida del expansor se condensa y se presuriza mediante una bomba para volver a evaporarse y reiniciar de nuevo el ciclo. Es, por tanto, una forma sencilla y eficiente de aprovechar energía térmica renovable o residual para producir electricidad.

30

35 En este tipo de ciclos de potencia la bomba desempeña un papel fundamental. Se trata del elemento encargado de suministrar la presión requerida por el sistema, pero además suele contribuir a su control, proporcionando estabilidad y buen funcionamiento. Sin embargo, el fluido de trabajo orgánico utilizado, como ya se ha mencionado anteriormente, es muy volátil y presenta mucha facilidad para evaporarse a baja temperatura. Tanto es así, que esto

puede ocurrir de forma espontánea en la aspiración de la bomba, dado que es el punto de menor presión y temperatura del ciclo, provocando la aparición de burbujas y la cavitación de la bomba. Cuando ocurre esto, el proceso se vuelve inestable y la vida útil de la bomba se reduce significativamente. Con el propósito de solucionarlo puede introducirse un intercambiador de calor a la aspiración de la bomba del ORC, conocido como sub-enfriador, y un depósito para amortiguar las fluctuaciones de presión y asegurar una presión estática mínima, tal y como muestra la Fig.1. Sin embargo, cuando el ORC trabaja a diferentes cargas las condiciones de operación se ven alteradas, obteniendo una falta o exceso de NPSH disponible que provoca la cavitación o la reducción significativa de la eficiencia energética del ciclo, respectivamente. En este sentido, la invención propuesta permite la optimización del NPSH disponible en función de las exigencias instantáneas de la bomba, previniendo la cavitación y mejorando la eficiencia del ciclo.

## EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

La invención consiste en el acondicionamiento del NPSH disponible (presión estática y sub-enfriamiento) a la aspiración de la bomba, de acuerdo con las exigencias instantáneas o NPSH requerido. Para ello, se requiere de un sistema de control que compare las necesidades de la bomba con las condiciones de operación instantáneas y que actúe con el objetivo de optimizar el funcionamiento.

Las necesidades de la bomba se obtienen a partir de la curva de NPSH requerido de la bomba específica utilizada (información obtenida del fabricante de la bomba). Esta curva se implementa en un sistema de control, que a partir de las mediciones (temperaturas, caudal, presiones, etc.) proporciona el valor de NPSH mínimo requerido para evitar la cavitación. Por otro lado, el NPSH disponible se puede calcular como la diferencia entre la presión de saturación del fluido de trabajo (a las condiciones de temperatura de entrada en la bomba) y la presión medida en la aspiración. Así, debe cumplirse que el NPSH disponible siempre sea mayor al requerido para evitar la cavitación, pero sin alcanzar una gran diferencia que perjudique a la eficiencia. Para mantener esto, se actúa sobre el sistema modificando las condiciones de condensación mediante la variación del caudal del fluido secundario del condensador, normalmente aire, agua o agua con glicol. Así, la reducción de dicho caudal aumenta las condiciones de operación de la condensación (presión y temperatura), mejorando la eficiencia del sub-enfriador y aumentando el grado de sub-enfriamiento o NPSH disponible. Por el contrario, la reducción del caudal reducirá este sub-enfriamiento hasta los valores óptimos para evitar la cavitación y no sacrificar eficiencia. El método de

control de dicha variación de caudal depende del tipo de condensador utilizado. Así, un condensador por aire (aerocondensador, torres de enfriamiento cerradas, condensadores adiabáticos cerrados, etc.) puede variar la velocidad de giro de los ventiladores, reduciéndola para aumentar el NPSH disponible en la bomba y viceversa. Un condensador  
 5 por agua (torre de refrigeración abierta, enfriadores de líquido, etc.) puede reducir el caudal por ejemplo con un variador de frecuencia en la bomba.

En este caso expuesto, se contempla la variación del caudal de fluido secundario en el condensador, mientras que el caudal de fluido secundario en el sub-enfriador se mantiene al  
 10 máximo (sin control). Pero en el caso de sub-enfriamientos excesivos, incluso con el caudal máximo entrando en el condensador, se puede extender el mismo principio al sub-enfriador, reduciendo el caudal de fluido secundario y así el NPSH disponible hasta valores óptimos.

## **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

15 La Fig. 1 muestra el esquema básico de los componentes del ORC. Los componentes que van a tratarse en la patente son:

1. Condensador.
2. Depósito.
- 20 3. Sub-enfriador.
4. Bomba.

La Fig. 2 se centra en la invención utilizando aire como fluido secundario para disipar el calor del condensador y del sub-enfriador. En este caso el actuador se sitúa en el  
 25 condensador, regulando la entrada de aire. El esquema se compone de las siguientes partes:

1. Condensador.
2. Depósito.
3. Sub-enfriador.
- 30 4. Bomba.
5. Variador de frecuencia.
6. Sistema de control.
7. Transmisor de presión.
8. Sonda de temperatura.
- 35 9. Transmisor de caudal (caudalímetro, variador de frecuencia u otros).

La Fig. 3 se centra en la invención utilizando aire como fluido secundario para disipar el calor del condensador y del sub-enfriador. En este caso el actuador se sitúa tanto en el condensador como en el sub-enfriador. El esquema se compone de las siguientes partes:

1. Condensador.
- 5 2. Depósito.
3. Sub-enfriador.
4. Bomba.
5. Variadores de frecuencia. Uno para el condensador y otro para el sub-enfriador.
6. Sistema de control.
- 10 7. Transmisor de presión.
8. Sonda de temperatura.
9. Transmisor de caudal (caudalímetro o variador de frecuencia).

La Fig. 4 se centra en la invención utilizando líquido como fluido secundario, para disipar el calor del condensador y del sub-enfriador. En este caso el actuador se sitúa en el condensador, regulando la entrada de líquido. El esquema se compone de las siguientes partes:

1. Condensador.
2. Depósito.
- 20 3. Sub-enfriador.
4. Bomba.
5. Actuador para regular el caudal (por ejemplo, válvula de tres vías motorizada o neumática).
6. Sistema de control.
- 25 7. Transmisor de presión.
8. Sonda de temperatura.
9. Transmisor de caudal (caudalímetro o variador de frecuencia).

La Fig. 5 se centra en la invención utilizando líquido como fluido secundario, para disipar el calor del condensador y del sub-enfriador. En este caso el actuador se sitúa tanto en el condensador como en el sub-enfriador. El esquema se compone de las siguientes partes:

1. Condensador.
2. Depósito.
3. Sub-enfriador.
- 35 4. Bomba.
5. Actuador para regular el caudal (por ejemplo, válvula de tres vías motorizada o

neumática). Uno para el condensador y otro para el sub-enfriador.

6. Sistema de control.

7. Transmisor de presión.

8. Sonda de temperatura.

5 9. Transmisor de caudal (caudalímetro o variador de frecuencia).

## REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

10 La invención puede llevarse a cabo en cualquier aplicación con ORC, seleccionando el esquema utilizado en función de si el fluido secundario, para disipar el calor del condensador y el sub-enfriador, es aire o líquido. La realización de la invención se puede describir como sigue:

- 15 • Sonda de temperatura (8). Debe colocarse a la aspiración de la bomba, para conocer la temperatura instantánea. Esta temperatura la utilizará el sistema de control para obtener la presión de saturación correspondiente al fluido orgánico de trabajo utilizado.
- 20 • Transmisor de presión (7). Debe colocarse a la aspiración de la bomba, para conocer la presión instantánea. La presión medida será comparada, por el sistema de control, con la presión de saturación correspondiente a la temperatura medida en la aspiración, obteniéndose el NPSH disponible.
- 25 • Medición de las condiciones de trabajo de la bomba (9). Para obtener el NPSH requerido por la bomba hay diferentes alternativas: medir el caudal trasegado por la bomba mediante un caudalímetro, conocer la velocidad de giro utilizando un variador de frecuencia (midiendo los hercios y conociendo la velocidad nominal del motor de la bomba) o por medio de la potencia consumida por la bomba u otros. En todos los casos deberá implementarse la curva “NPSH-condiciones de la bomba” en el sistema de control.
- 30 • Sistema de control (6). Este sistema debe llevar implementada la curva de NPSH requerido de la bomba concreta utilizada. Esta curva puede ir en función de los parámetros medidos de funcionamiento de la bomba (caudal, revoluciones, etc.). También debe llevar implementada una ecuación o curva para obtener la presión de saturación del fluido orgánico de trabajo a la temperatura medida a la aspiración de la bomba. Debe realizar la comparación entre los requerimientos de la bomba (NPSH requerido) y las condiciones instantáneas de trabajo (NPSH disponible) y actuar de modo que se cumpla que el NPSH disponible sea ligeramente mayor al NPSH requerido.
- 35

- Variador de frecuencia (5). Los variadores permiten controlar la velocidad de los ventiladores en función de la salida del sistema de control.
- Válvula de tres vías u otro tipo de actuadores automáticos (5) para regular el caudal de fluido secundario en función de la salida del sistema de control.

## **REIVINDICACIONES**

1. Sistema de anti-cavitación eficiente de bombas para ciclos de potencia Rankine orgánicos. Constituido por los siguientes componentes:

- 5           (1) Condensador. Es el intercambiador de calor encargado de ceder el calor latente del fluido orgánico. Se posiciona a la salida del expansor y entrada del depósito (2). Como fluido secundario puede utilizar tanto aire como líquido.
- (2) Depósito. Recipiente cerrado situado a la salida del condensador (1) y entrada del sub-enfriador (3).
- 10       (3) Sub-enfriador. Es el intercambiador de calor encargado de ceder el calor sensible del fluido orgánico, obteniendo líquido sub-enfriado. Se posiciona a la salida del depósito (2) y la entrada de la bomba (4). Como fluido secundario puede utilizar tanto aire como líquido.
- (4) Bomba. Es el elemento encargado de proporcionar la presión y caudal requerido por el sistema. Se posiciona a la salida del sub-enfriador (3) y entrada del evaporador.
- 15       (5) Variadores de frecuencia que controlen los motores de los ventiladores del condensador (1) y del sub-enfriador (3) por aire. O en el caso de líquido como fluido secundario, (Fig. 5) válvulas de tres vías motorizadas eléctricamente o de forma neumática.
- 20       (6) Sistema de control. Sistema que utilice las entradas o mediciones del sistema (temperatura, presión, caudal, frecuencia, potencia, etc.) (7)(8)(9) junto con los algoritmos implementados (curva NPSH de la bomba, presión de saturación del fluido orgánico de trabajo, diferencia entre NPSH disponible y requerido) para optimizar el control de las salidas (alimentación a los variadores de frecuencia y a las válvulas de tres vías o actuadores de caudal de líquido) (5).
- 25       (7) Transmisor de presión. Colocado a la aspiración de la bomba (4).
- (8) Sonda de temperatura. Colocado a la aspiración de la bomba (4).
- (9) Transmisor del funcionamiento de la bomba (4). Algunas de las alternativas son:
- 30       medición del caudal trasegado, medición de la velocidad de giro de la bomba utilizando un variador de frecuencia, medición de la presión diferencial, medición de la potencia consumida, u otros.

2. Procedimiento de funcionamiento del sistema de anti-cavitación eficiente bombas para ciclos de potencia Rankine orgánicos, definido según la reivindicación 1. Realiza los siguientes pasos:



Obtención del NPSH disponible:

Medición de la presión de aspiración de la bomba (4) utilizando un transmisor de presión (7).

5 Medición de la temperatura de aspiración de la bomba (4) utilizando una sonda de temperatura (8).

Cálculo de la presión de saturación a partir de la temperatura de aspiración, en función de las propiedades del fluido orgánico de trabajo, utilizando un algoritmo implementado en el sistema de control (6).

Obtención del NPSH requerido:

10 Medición de las condiciones de trabajo de la bomba (4) utilizando un transmisor de funcionamiento de la misma (9). Algunas alternativas son: medición del caudal trasegado, medición de la velocidad de giro de la bomba utilizando un variador de frecuencia, medición de presión diferencial, medición de la potencia consumida u otros.

15 Cálculo del NPSH requerido por la bomba (4) a partir de las condiciones de funcionamiento de la bomba (4) (caudal, vueltas o potencia) utilizando un algoritmo implementado en el sistema de control (6).

Control y optimización de los parámetros de interés:

20 Comparar el NPSH requerido calculado y el NPSH disponible calculado mediante un sistema de control PID (Proporcional Integral y Derivativo).

Optimizar las consignas de funcionamiento de los variadores de frecuencia y válvulas con motor eléctrico o neumático (u actuadores para regular el caudal de líquido) (5) para evitar los fenómenos de cavitación y operar con alta eficiencia.

25 Actuar sobre los variadores de frecuencia (que alimentan los motores del condensador y sub-enfriador por aire) o actuadores tipo válvulas de tres vías (5).

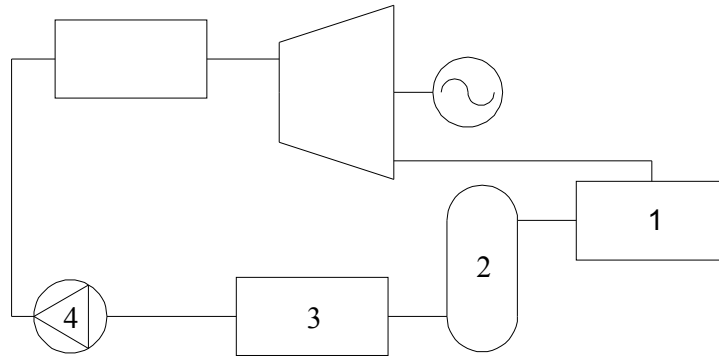


Fig. 1. Esquema básico del ciclo Rankine Orgánico

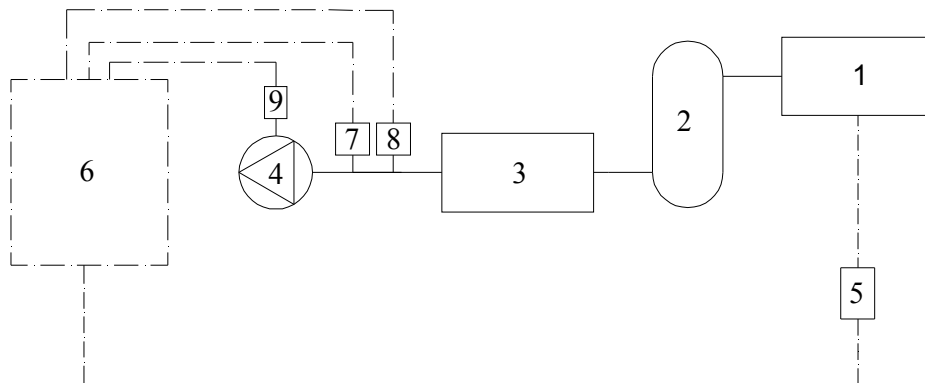


Fig. 2 Sistema de anti-cavitación eficiente controlando el caudal de aire que entra en el condensador

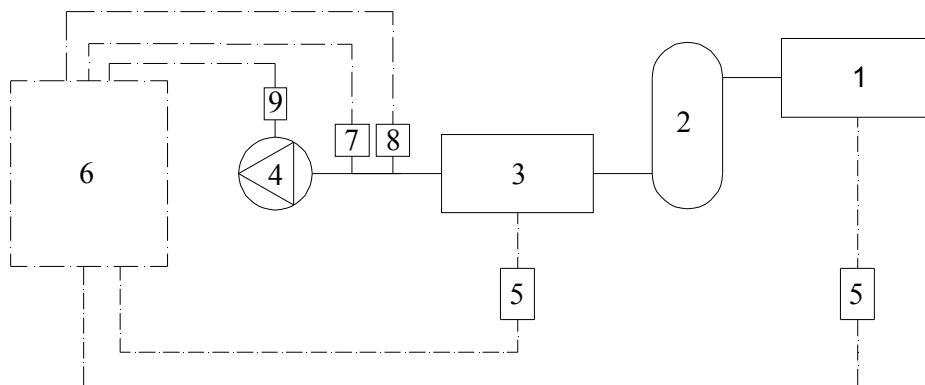


Fig. 3 Sistema de anti-cavitación eficiente controlando el caudal de aire que entra en el condensador y en el sub-enfriador.

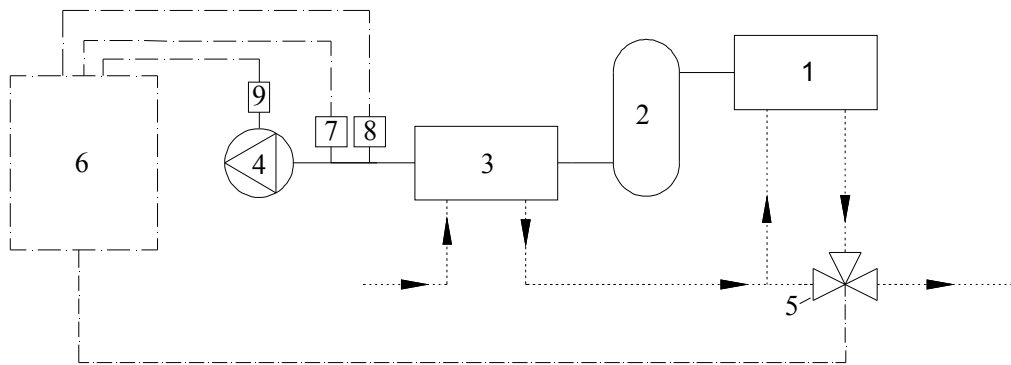


Fig. 4 Sistema de anti-cavitación eficiente controlando el caudal de líquido que entra en el condensador.

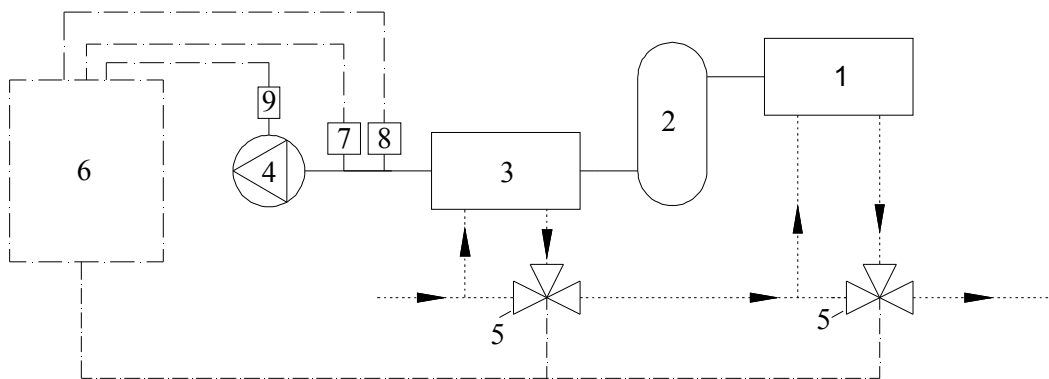


Fig. 5 Sistema de anti-cavitación eficiente controlando el caudal de líquido que entra en el condensador y en el sub-enfriador.