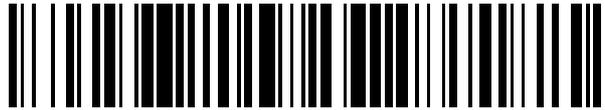


19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



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

21 Número de solicitud: 201530204

51 Int. Cl.:

F04D 29/66 (2006.01)

F04D 15/00 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

19.02.2015

43 Fecha de publicación de la solicitud:

14.10.2016

88 Fecha de publicación diferida del informe sobre el estado de la técnica:

29.08.2017

Fecha de concesión:

01.06.2018

45 Fecha de publicación de la concesión:

08.06.2018

73 Titular/es:

**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.

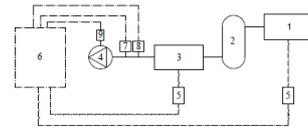


Fig. 3 Sistema de anti-cavitación eficiente controlando el caudal de aire que entra en el condensador y en el sub-enfriador.

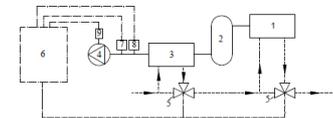


Fig. 5 Sistema de anti-cavitación eficiente controlando el caudal de líquido que entra en el condensador y en el sub-enfriador.

ES 2 586 425 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP 11/1986.

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.

15 (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.

(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).

(7) Transmisor de presión. Colocado a la aspiración de la bomba (4).

(8) Sonda de temperatura. Colocado a la aspiración de la bomba (4).

30 (9) Transmisor del funcionamiento de la bomba (4). Algunas de las alternativas son: 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 35 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).

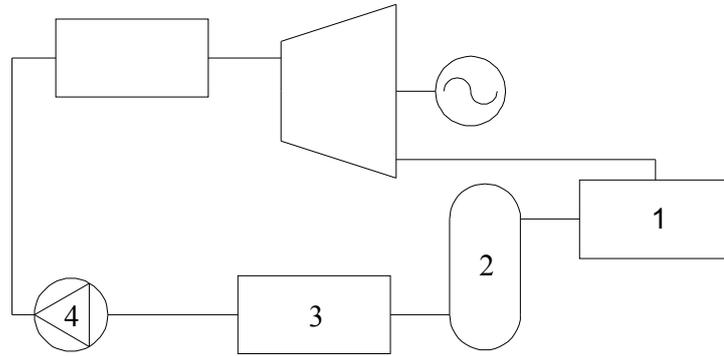


Fig. 1. Esquema básico del ciclo Rankine Orgánico

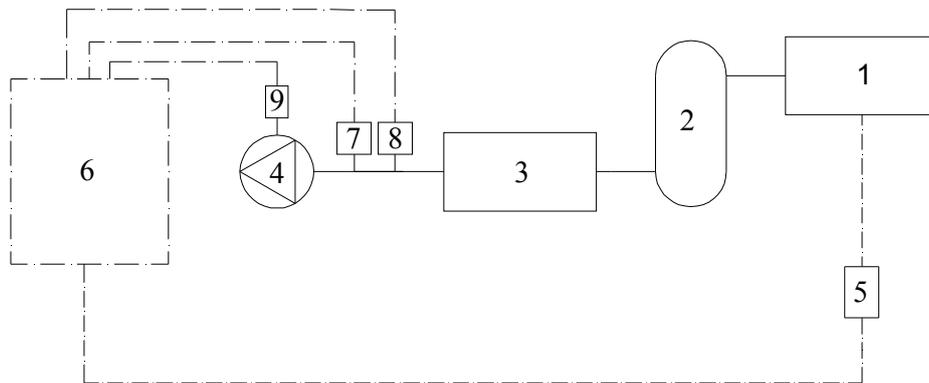


Fig. 2 Sistema de anti-cavitación eficiente controlando el caudal de aire que entra en el condensador

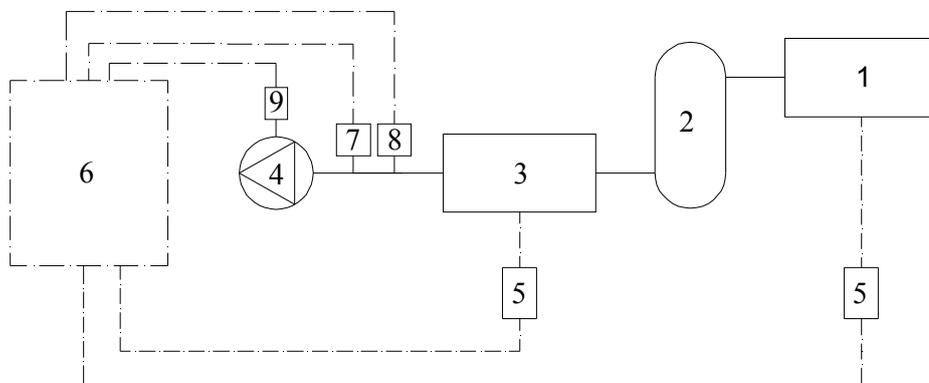


Fig. 3 Sistema de anti-cavitación eficiente controlando el caudal de aire que entra en el condensador y en el sub-enfriador.

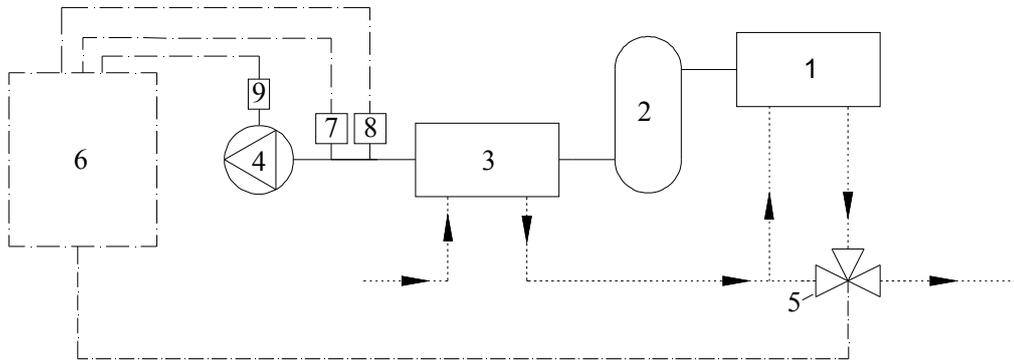


Fig. 4 Sistema de anti-cavitación eficiente controlando el caudal de líquido que entra en el condensador.

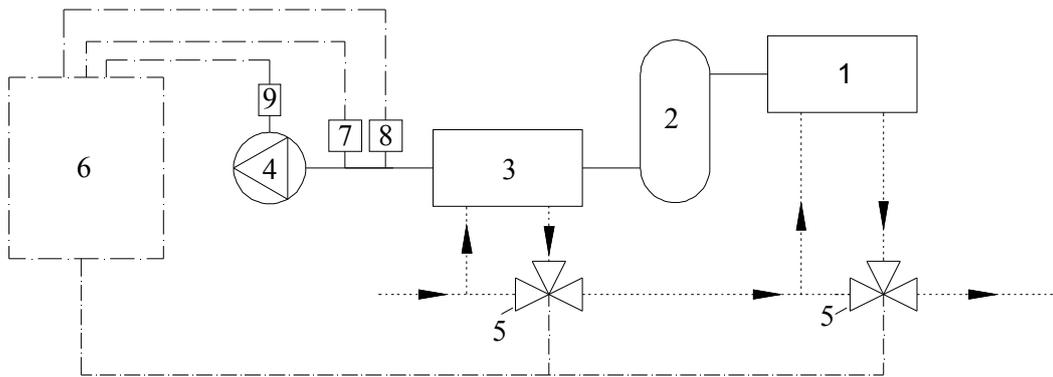


Fig. 5 Sistema de anti-cavitación eficiente controlando el caudal de líquido que entra en el condensador y en el sub-enfriador.



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201530204

②② Fecha de presentación de la solicitud: 19.02.2015

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **F04D29/66** (2006.01)
F04D15/00 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 2012227404 A1 (SCHUSTER ANDREAS et al.) 13/09/2012, Todo el documento.	1,2
A	EP 2837829 A1 (ORCAN ENERGY GMBH) 18/02/2015, Todo el documento.	1,2
A	JP S61235796 A (HITACHI LTD et al.) 21/10/1986, Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE.	1,2
A	JP 2010084697 A (SAYAMA SEISAKUSHO KK) 15/04/2010, Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE; figuras.	1,2
A	US 6663349 B1 (DISCENZO FREDERICK M et al.) 16/12/2003, Todo el documento.	1,2
A	US 5213477 A (WATANABE MICHIO et al.) 25/05/1993, Todo el documento.	1,2

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
19.01.2017

Examinador
E. García Lozano

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

F01K, F04D

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 19.01.2017

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1,2	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1,2	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 2012227404 A1 (SCHUSTER ANDREAS et al.)	13.09.2012
D02	EP 2837829 A1 (ORCAN ENERGY GMBH)	18.02.2015
D03	JP S61235796 A (HITACHI LTD et al.)	21.10.1986
D04	JP 2010084697 A (SAYAMA SEISAKUSHO KK)	15.04.2010
D05	US 6663349 B1 (DISCENZO FREDERICK M et al.)	16.12.2003
D06	US 5213477 A (WATANABE MICHIO et al.)	25.05.1993

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

La presente solicitud se refiere a un sistema de anti cavitación de bombas para ciclos de potencia Rankine orgánicos y a su procedimiento de funcionamiento.

El documento D01 divulga un sistema que trabaja con un ciclo Rankine Orgánico junto con su método de funcionamiento. Este sistema comprende al menos un condensador (6), una bomba (8), un intercambiador de calor (3), una turbina (5) y un depósito (11) (ver figura 1). En dicho sistema, en la línea de fluido antes de entrar en la bomba, se puede incrementar parcialmente la presión para evitar la cavitación de la bomba mediante un gas auxiliar no condensable (20). La cantidad de gas auxiliar a introducir en el sistema será función de la presión deseada, de modo que sea mayor que la presión de saturación en la aspiración de la bomba, evitando así la cavitación.

Algunas de las diferencias entre el documento D01 y el documento de la solicitud son las siguientes:

- En la solicitud, el sistema está implementado en un ciclo que incluye también variadores de frecuencia y/o válvulas de tres vías para regular el ciclo, es decir, el ciclo es regulado mediante elementos en el mismo, no mediante la adición de un gas externo.
- En D01 no se ha indicado la existencia de los mismos transmisores o sensores que indiquen el estado del sistema que se indican en la solicitud.

Estas diferencias se deben a que el sistema de control funciona de diferente manera. Si bien el control propuesto en D01 incluye el cálculo del NPSH para evitar la cavitación de la bomba, no necesita las mismas variables de entrada ni optimiza el control de la salida de la misma forma ya que el control se realiza de una forma totalmente diferente.

No existe ningún indicio en D01 que pudiera llevar al experto en la materia al desarrollo de la solución propuesta en la solicitud.

El documento D02 divulga un método de control de una bomba empleada en un ciclo Rankine orgánico. Este método se basa en medir presiones de entrada y salida de la bomba, definiendo un valor de referencia para el flujo de fluido. Con estos valores, se establece la velocidad de rotación deseada para que la bomba trabaje siempre sin turbulencias.

De nuevo, en D02 se define un método de control de la bomba para un ciclo Rankine orgánico pero que actúa de diferente forma y sobre otras variables a las que propone la solicitud (ver resumen).

Se han encontrado en el Estado de la Técnica otros sistemas de control de bombas para evitar la cavitación de las mismas, no necesariamente vinculados a un sistema que opere con ciclo Rankine orgánico. Por ejemplo, en D03 se propone un sistema que obtiene el NPSH disponible a partir de variables de temperatura, flujo y presión del sistema, y el NPSH requerido a partir de datos de flujo y velocidad. Si la comparación entre ambos parámetros no es la adecuada, se para la bomba.

El documento D04 divulga un sistema que actuarían sobre el regulador de velocidad de la bomba, adecuando el funcionamiento de la misma cuando el cálculo del NPSH indique que puede producirse cavitación.

Estos documentos, al igual que el documento D01, divulgan sistemas o procedimientos para evitar la cavitación en bombas, algunos aplicables a ciclos de Rankine orgánicos.

Sin embargo, todos ellos presentan grandes diferencias con el sistema y procedimiento propuestos en la solicitud. Ninguno de los documentos citados en el Informe sobre el Estado de la Técnica o cualquier combinación relevante de ellos revela un sistema o procedimiento análogo al reivindicado.

Por lo tanto, de acuerdo a lo anterior, se considera que la solicitud es nueva y con actividad inventiva (Art. 6 y 8 Ley de Patentes).