

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 796 099**

51 Int. Cl.:

F25B 30/04 (2006.01)

F25B 49/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.11.2015 PCT/EP2015/075920**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.06.2016 WO16083097**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2015 E 15794514 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2020 EP 3224553**

54 Título: **Un sistema que incluye una máquina de absorción y un circuito de control**

30 Prioridad:

25.11.2014 FR 1461412

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

25.11.2020

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
25, Rue Leblanc, Bâtiment, "Le Ponant D"
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

BONNOT, SYLVAIN

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 796 099 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

Un sistema que incluye una máquina de absorción y un circuito de control

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de las máquinas de absorción y, más particularmente, al control de estas.

Estado de la técnica

10 Una bomba de calor es un dispositivo termodinámico que permite transferir calor desde un medio a baja temperatura, hacia un medio a una temperatura superior. La bomba puede funcionar en tanto que máquina frigorífica si el objetivo es refrigerar el medio a baja temperatura, por ejemplo un refrigerador o una unidad de climatización o como un sistema de calefacción si el objetivo es calentar el medio a más alta temperatura, por ejemplo una bomba de calor para calefacción doméstica. El principio de funcionamiento de la bomba de calor se basa en el cambio de estado a diferentes presiones (evaporación y condensación) de un fluido frigorígeno que circula entre el medio más frío y el medio más caliente. Este fluido frigorígeno se pone en movimiento y se comprime al estado de vapor mediante un compresor.

20 Una máquina de absorción es una bomba de calor en la que la función del compresor se realiza mediante un ciclo termodinámico motor que utiliza una fuente de calor a más alta temperatura, por ejemplo procedente de captadores solares térmicos, o de un quemador de gas. Este ciclo motor utiliza una bomba (sistema de aspiración y escape a más alta presión de un líquido) para realizar la compresión y la puesta en movimiento del fluido. La compresión en el estado líquido mediante una bomba consume mucha menos energía que la compresión en el estado de vapor. Se hablará de fuente fría para el medio a baja temperatura que se refrigera, de fuente intermedia para el medio a temperatura media que se calienta y de fuente caliente para la energía a alta temperatura utilizada para la función de compresión.

30 El interés de la máquina de absorción es tener un consumo de electricidad mucho más reducido que una bomba de calor de compresión de vapor. En efecto, la máquina de absorción consume, en lugar de una potencia eléctrica que alimenta el compresor, una potencia eléctrica reducida para la bomba así como una potencia térmica suministrada por una fuente de calor a alta temperatura (55-200 °C) que puede proceder de energías renovables o de calor residual procedente de procesos industriales. Esta fuente de calor puede ser así de energía solar, de cogeneración, de biomasa, de geotermia, etc.

35 Uno de los desafíos que se refieren a las máquinas de absorción es llegar a rendimientos similares a las de las bombas de calor de compresión eléctrica en términos de rendimiento energético y de regulación de la potencia útil que proporcionan. Particularmente, la adición de una fuente de calor complica grandemente el ciclo termodinámico del fluido frigorígeno y multiplica los parámetros que influyen en estos rendimientos.

40 De ese modo las máquinas de absorción normalmente comercializadas no disponen de un sistema de regulación de su potencia útil. A lo sumo, el control de la potencia útil de una máquina de absorción se realiza mediante una técnica de "todo o nada", es decir alternando los ciclos de funcionamiento y de parada de la máquina. Debido a los largos tiempos de arranque y estabilización, un control de ese tipo consume mucha energía, lo que induce un reducido rendimiento energético. Además, un control así no permite ajustar correctamente la potencia de la máquina a la potencia solicitada por el usuario. Por ejemplo, para una máquina que funcione en tanto que calefacción doméstica, la temperatura de una estancia a calentar por la máquina varía grandemente alrededor de la temperatura solicitada por el usuario. Para paliar estos problemas, se han estudiado diferentes controles para una máquina de absorción.

50 Por ejemplo el documento de J. Fernández Seara et al. ("*Study and control of the optimal generation temperature in NH₃-H₂O absorption refrigeration systems*", Applied Thermal Engineering 21, páginas 343-357, 2001) describe un control de la temperatura del generador de la máquina de absorción para ajustar el coeficiente COP_t de rendimiento térmico de la máquina. Sin embargo, este control no permite controlar de manera correcta la potencia útil proporcionada por la máquina. El documento de J. Labus et al. ("*Inverse neural network based control strategy for absorption chillers*". Renewable Energy, n.º 39, páginas 471-482, 2012) describe por su parte un control de la potencia frigorífica de una máquina de absorción mediante variación de la temperatura en el generador y/o del caudal y de la temperatura en el evaporador. Sin embargo, este control provoca un rendimiento energético degradado.

El documento WO 82/03265 A1 desvela un sistema según el preámbulo de las reivindicaciones independientes 1 y 5.

60 De manera general, los diferentes controles del estado de la técnica permiten o bien controlar el coeficiente de rendimiento térmico, pero sin poder controlar la potencia útil suministrada, o bien controlar la potencia útil, pero con una máquina de absorción que funciona con un rendimiento energético degradado.

Exposición de la invención

65 El objeto de la presente invención es resolver el problema anteriormente mencionado proponiendo una máquina de absorción controlada, cuyo control permita controlar el rendimiento de la máquina y que permita suministrar la potencia

útil demandada por el usuario.

Con este fin la invención tiene por objeto un sistema según la reivindicación 1, comprendiendo el sistema una máquina de absorción y un circuito de control acoplado a la máquina de absorción para regular la potencia útil Q_u de esta en una potencia útil demandada Q_u^d predeterminada, incluyendo la máquina de absorción:

- un evaporador, de temperatura T_e y adecuado para intercambiar una potencia térmica Q_e con su entorno;
- un conjunto absorbedor/condensador formado por un absorbedor y un condensador, de temperatura T_{ac} y adecuado para intercambiar una potencia térmica Q_{ac} con su entorno;
- un generador, de temperatura T_g y adecuado para intercambiar una potencia térmica Q_g , pudiendo controlarse la potencia térmica Q_g mediante la temperatura T_g ; y
- una bomba rotativa de solución, dispuesta entre el absorbedor y el generador y cuya velocidad de rotación N_{bomba} es controlable;

Según la invención, el circuito de control incluye:

- un captador adecuado para producir una medida T_e^m de la temperatura T_e del evaporador y un captador adecuado para producir una medida T_{ac}^m de la temperatura T_{ac} del conjunto absorbedor/condensador;
- una unidad de cálculo adecuada para calcular una consigna T_g^c para la temperatura T_g del generador y una consigna N_{bomba}^c para la velocidad de rotación N_{bomba} de la bomba rotativa de solución en función de la potencia útil demandada Q_u^d y de las medidas de temperatura T_e^m y T_{ac}^m de manera que satisfaga la relación:

$$(COP_t^{m\acute{a}x}, Q_u^d) = f_{abso}(T_e^m, T_{ac}^m, T_g^c, N_{bomba}^c)$$

expresión en la que $COP_t^{m\acute{a}x}$ es un valor deseado de un coeficiente de rendimiento COP_t de la máquina de absorción, y f_{abso} es un modelo de la máquina de absorción que predice el coeficiente COP_t y la potencia útil Q_u en función de las temperaturas T_e , T_{ac} y T_g y de la velocidad de rotación N_{bomba} ;

- y un circuito de control para aplicar la consigna de velocidad N_{bomba}^c a la bomba rotativa de solución y para aplicar la consigna de temperatura T_g^c al generador.

En otros términos, controlando conjuntamente la velocidad de la bomba rotativa de solución y la temperatura del generador, y únicamente estas dos magnitudes, es posible controlar, particularmente optimizar, los rendimientos energéticos de la máquina de absorción mientras se controla correctamente la potencia útil que proporciona. Particularmente, el coeficiente es el coeficiente de rendimiento térmico del que es posible controlar el valor gracias a la invención, por ejemplo maximizar este. Por otro lado, la temperatura del evaporador y la temperatura del conjunto absorbedor/condensador, que son normalmente unos parámetros fijados por el entorno de la máquina, se tienen directamente en cuenta. Actualizando las consignas de la velocidad de rotación de la bomba y de la temperatura del generador, es posible rechazar las perturbaciones inducidas por una variación de estas temperaturas desde el último cálculo de las consignas.

Según un modo de realización, la unidad de cálculo incluye:

- una memoria que memoriza el modelo f_{abso} según la relación:

$$(COP_t, Q_u) = f_{abso}(T_e, T_{ac}, T_g, N_{bomba})$$

- y un circuito de cálculo adecuado para buscar las consignas de valores T_g^c y N_{bomba}^c planteando en el modelo $T_e = T_e^m$ y $T_{ac} = T_{ac}^m$ y haciendo variar las variables del modelo T_g y N_{bomba} hasta obtener el par de salidas del modelo $(COP_t, Q_u) = (COP_t^{m\acute{a}x}, Q_u^d)$.

En otros términos, el circuito de control integra un modelo y utiliza directamente este último para el cálculo de las consignas, lo que permite un control más preciso.

Según un modo de realización, la unidad de cálculo incluye:

- una memoria que memoriza unos pares $\left(\begin{matrix} T_g^c \\ N_{bomba}^c \end{matrix} \right)$ de consignas T_g^c de temperatura para el generador y de consigna N_{bomba}^c de velocidad de rotación para la bomba rotativa de solución en función de tripletes $\left(\begin{matrix} T_e \\ T_{ac} \\ Q_u \end{matrix} \right)$ de temperatura del evaporador T_e , de temperatura del conjunto absorbedor/condensador T_{ac} y de potencia útil Q_u ; y
- un circuito de cálculo adecuado para seleccionar un par de consignas $\left(\begin{matrix} T_g^c \\ N_{bomba}^c \end{matrix} \right)$ entre los pares de consignas

memorizados en función del triplete $\begin{pmatrix} T_e^m \\ T_{ac}^m \\ Q_u^d \end{pmatrix}$.

En otros términos, el circuito de control integra cartografías, tablas o ábacos que se fundamentan en el modelo de predicción, lo que permite un cálculo más rápido de las consignas.

5 Según un modo de realización, el circuito de control incluye un captador adecuado para producir una medida T_g^m de la temperatura T_g del generador y el circuito de control incluye un regulador adecuado para controlar la temperatura T_g del generador de manera que se regule la medida de temperatura T_g^m en la consigna de temperatura T_g^c .

10 En otros términos, se implementa una regulación de la temperatura del generador. Esto permite rechazar las perturbaciones en la máquina, particularmente en la temperatura del evaporador y la temperatura del conjunto absorbedor/condensador, entre dos instantes de cálculo de las consignas de la velocidad de rotación de la bomba y la temperatura del generador.

15 La invención tiene igualmente por objeto un sistema según la reivindicación 5, comprendiendo el sistema una máquina de absorción y un circuito de control acoplado a la máquina de absorción para regular la potencia útil Q_u de esta en una potencia útil demandada Q_u^d predeterminada, incluyendo la máquina de absorción:

- un evaporador, de temperatura T_e y adecuado para intercambiar una potencia térmica Q_e con su entorno;
- 20 - un conjunto absorbedor/condensador formado por un absorbedor y un condensador, de temperatura T_{ac} y adecuado para intercambiar una potencia térmica Q_{ac} con su entorno;
- un generador, de temperatura T_g y adecuado para intercambiar una potencia térmica Q_g , pudiendo controlarse la potencia térmica Q_g mediante la temperatura T_g ; y
- 25 - una bomba rotativa de solución, dispuesta entre el absorbedor y el generador y cuya velocidad de rotación N_{bomba} es controlable.

Según la invención, el circuito de control incluye:

- un captador adecuado para producir una medida T_e^m de la temperatura T_e del evaporador y un captador adecuado para producir una medida T_{ac}^m de la temperatura T_{ac} del conjunto absorbedor/condensador;
- 30 - una unidad de cálculo adecuada para calcular una consigna T_g^c para la temperatura T_g del generador y una consigna N_{bomba}^c para la velocidad de rotación N_{bomba} de la bomba rotativa de solución en función de la potencia útil demandada Q_u^d y de las medidas de temperatura T_e^m y T_{ac}^m ;
- 35 - y un circuito de control para aplicar la consigna de velocidad N_{bomba}^c a la bomba rotativa de solución y para aplicar la consigna de temperatura T_g^c al generador.

Además, el cálculo implementado mediante la unidad de cálculo (46) se selecciona de manera que:

- la aplicación de las consignas N_{bomba}^c y T_g^c para una temperatura $T_e = T_e^m$ y una temperatura $T_{ac} = T_{ac}^m$ conduce, en régimen permanente, a una potencia útil Q_u de la máquina de absorción igual a la potencia útil demandada Q_u^d y a un valor $COP_t^{máx}$ del coeficiente de rendimiento térmico COP_t de la máquina de absorción;
- 40 y

- a partir del régimen permanente establecido para un valor $\begin{pmatrix} T_e^m \\ T_{ac}^m \\ T_g^c \\ N_{bomba}^c \end{pmatrix}$ del vector $P_F = \begin{pmatrix} T_e \\ T_{ac} \\ T_g \\ N_{bomba} \end{pmatrix}$, una variación del vector P_F implica, una vez alcanzado un régimen permanente y para una potencia útil Q_u mantenida constante e igual a Q_u^d , un valor del coeficiente de rendimiento térmico COP_t de la máquina de absorción inferior o igual al valor $COP_t^{máx}$.
- 45

Breve descripción de las figuras

50 La invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción que sigue, dada únicamente a título de ejemplo, y realizada en relación con los dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1 es un esquema de una máquina de absorción según la invención;
- la figura 2 es una vista esquemática de un circuito de control según la invención de la máquina de absorción;
- 55 - la figura 3 es una vista que ilustra un algoritmo de cálculo según la invención de consignas de temperatura de generador y de velocidad de rotación de bomba rotativa de solución; y
- las figuras 4A y 4B son unos trazados de la potencia útil y del coeficiente de rendimiento térmico en función de la temperatura del generador y de la velocidad de rotación de la bomba rotativa de solución de la máquina de

absorción.

Descripción detallada de la invención

5 La figura 1 representa de manera esquemática un ejemplo de máquina de absorción 10, cuyos elementos descritos a continuación se disponen en función del ciclo termodinámico del fluido frigorígeno. En la práctica, el absorbedor y el condensador intercambian con el mismo fluido de manera paralela o en serie y tienen la misma temperatura en régimen permanente.

10 La máquina de absorción 10 incluye:

- a. un evaporador 12. El evaporador 12 recibe un fluido frigorígeno líquido a baja presión, por ejemplo amoníaco (NH_3) y evapora este extrayendo una potencia térmica Q_e en su entorno (normalmente llamado "fuente fría") que presenta una temperatura T_e . El evaporador 12 produce de ese modo un vapor de fluido frigorígeno a baja presión.
- 15 b. un absorbedor 14. El absorbedor 14, que recibe el vapor de fluido frigorígeno producido por el evaporador 12, contiene una solución que incluye un absorbente del fluido frigorígeno, por ejemplo agua (H_2O) para el amoníaco. El vapor del fluido frigorígeno es absorbido entonces por esta solución desprendiendo una potencia Q_{ac}^1 hacia su entorno (normalmente llamada "fuente intermedia") que presenta una temperatura $T_{ac} > T_e$. El absorbedor 14 produce así una solución de absorbente enriquecida en fluido frigorígeno a baja presión;
- 20 c. una bomba eléctrica 16, llamada "bomba de solución" 16, que bombea la solución enriquecida del absorbedor 14 mientras la comprime a alta presión;
- d. un generador 18, dispuesto a la salida de la bomba 16. El generador 18 recibe la solución enriquecida a alta presión y caliente esta última a una temperatura $T_g > T_{ac}$ extrayendo una potencia térmica Q_g hacia su entorno (normalmente llamado "fuente caliente"), lo que tiene como efecto evaporar el fluido frigorígeno contenido en la solución enriquecida. El generador 18 genera de ese modo una solución de absorbente empobrecida en fluido frigorígeno y un vapor de fluido frigorígeno, estando esta solución y este vapor a alta presión;
- 25 e. una válvula de expansión 20. La válvula de expansión 20 recibe del absorbedor 18 la solución empobrecida a alta presión, expande esta para llevarla a la presión de la solución contenida en el absorbedor 14 y suministra la solución expandida a este último;
- 30 f. un condensador 22. El condensador 22 recibe del absorbedor 18 el vapor de fluido frigorígeno a alta presión y lo condensa extrayendo una potencia térmica Q_{ac}^2 , hacia la fuente intermedia. El condensador 22 genera de ese modo un fluido frigorígeno líquido a alta presión; y
- g. una válvula de expansión 24. La válvula de expansión 24 recibe el fluido frigorígeno líquido del condensador 22 y la expande hasta la presión del evaporador 12 al que suministra el fluido expandido.

35 Los elementos descritos anteriormente son clásicos y no se detallarán con más detalle en lo que sigue. Forman en conjunto los elementos mínimos constitutivos de una máquina de absorción, pudiendo añadirse elementos suplementarios (rectificador, economizador, subenfriador, etc.) para mejorar el funcionamiento de la máquina, sin embargo, en el marco de la invención tal como se define en las reivindicaciones.

40 Como es conocido por sí mismo, el evaporador 12, el condensador 22 y la válvula de expansión 24 implementan en conjunto el ciclo llamado "frigorígeno". Mediante el cambio de estado que sufre el fluido frigorígeno, el ciclo frigorígeno extrae calor por medio del evaporador y suministra calor por medio del condensador y del absorbedor. Cuando la máquina de absorción se utiliza en tanto que unidad de refrigeración, el evaporador se dispone entonces en la estancia que se desea refrigerar. La potencia útil Q_u de la máquina es entonces la potencia térmica Q_e del evaporador. Cuando la máquina de absorción se utiliza en tanto que calefacción, el condensador y el absorbedor se disponen entonces en la estancia que se desea calentar. La potencia útil Q_u de la máquina es entonces la potencia térmica $Q_{ac} = Q_{ac}^1 + Q_{ac}^2$ del conjunto absorbedor/condensador.

50 El absorbedor 14, la bomba 16, el generador 18 y la válvula de expansión 20 implementan conjuntamente un ciclo llamado "motor", que modifica el fluido frigorígeno con el fin de situarlo en su estado necesario para el ciclo frigorígeno. La potencia consumida Q_{consu} para el ciclo motor es por tanto el total de la potencia eléctrica W consumida por la bomba 16 y la potencia térmica Q_g consumida por el generador 18. Al estar concebidas por naturaleza las máquinas de absorción para que $W \ll Q_g$, la potencia consumida es por tanto sustancialmente igual a Q_g . El coeficiente

55 $COP_t = \frac{Q_{consu}}{Q_u}$ de rendimiento térmico de la máquina de absorción es por ello sustancialmente igual a $\frac{Q_g}{Q_u}$.

Según la invención, la temperatura T_g del generador 18 y la velocidad de rotación N_{bomba} de la bomba 16, y por tanto la presión de la solución a la salida de la bomba 16, son controlables. El control de la temperatura T_g es clásico. Por ejemplo, el generador 18 es recorrido por unas canalizaciones en serpentin en las que circula agua caliente, perteneciendo esta canalización al circuito secundario 26 conectado por ejemplo a una energía renovable (solar, biomasa, geotermia, etc.) para calentar el agua. Este circuito secundario 26, que forma parte de la máquina de absorción, incluye una válvula de tres vías de recirculación que permite reinyectar una parte del agua que sale del generador hacia la entrada, permitiendo de ese modo bajar la temperatura. Esta válvula es controlable por ejemplo en función de una temperatura demandada T_g^d para el generador 18. Por supuesto es conveniente cualquier tipo de

dispositivo controlado que regule la temperatura del generador 18.

La bomba de solución 16 es arrastrada por un motor eléctrico alimentado por un variador de frecuencia, lo que permite controlar su velocidad de rotación N_{bomba}^d . Este tipo de bomba es clásica y no se describirá por tanto con más detalle.

5 Siempre según la invención, se prevén tres captadores de temperatura 28, 30, 32, por ejemplo unos termopares, para medir respectivamente la temperatura T_e de la fuente fría, es decir del fluido que entra en el evaporador 12, la temperatura T_{ac} de la fuente intermedia, es decir del fluido que entra en el absorbedor 14 y el condensador 22, y la temperatura T_g de la fuente caliente, es decir del fluido que entra en el generador 18. Los termopares se insertan por ejemplo en las tuberías respectivas del evaporador, del condensador o del generador o como variante adheridas sobre la pared de estas tuberías. Como variante, estos termopares se localizan en el flujo de aire, si la máquina funciona en aire.

15 Con referencia a la figura 2, se detalla ahora un circuito de control 40 de la máquina de absorción que se acaba de describir. En esta figura, la máquina de absorción se representa por el bloque 42 que reagrupa los elementos 12 a 26 descritos anteriormente. El circuito de control 40 incluye los captadores 28, 30, 32 que proporcionan las medidas T_e^m , T_{ac}^m y T_g^m de las temperaturas T_e , T_{ac} y T_g respectivamente y un controlador 44.

20 El controlador 44 recibe las medidas T_e^m , T_{ac}^m y T_g^m , así como una demanda de potencia útil Q_u^d por parte del usuario de la máquina de absorción y, si es necesario, digitaliza estas entradas por medio de un convertidor analógico/digital (CAD) si están en forma analógica. El controlador 44 calcula entonces las señales de control T_g^d y N_{bomba}^d del generador 18 y de la bomba rotativa 16 en función de las entradas recibidas y proporciona estas señales, si es necesario después de su conversión a forma analógica por medio de un convertidor digital/analógico (CDA), al generador 18 y a la bomba 16.

25 Más particularmente, el controlador 44 incluye una unidad de cálculo 46 que:

- memoriza el modelo f_{abso} de la máquina de absorción que predice el coeficiente COP_t y la potencia útil Q_u en función de las temperaturas T_e , T_{ac} y T_g y de la velocidad de rotación N_{bomba} cuando la máquina de absorción está en régimen permanente, a saber un modelo según la relación:

$$(COP_t, Q_u) = f_{abso}(T_e, T_{ac}, T_g, N_{bomba})$$

- implementa un algoritmo de búsqueda, sobre la base del modelo f_{abso} memorizado, de una consigna de temperatura T_g^c para la temperatura T_g del generador 18 y de una consigna de velocidad N_{bomba}^c para la velocidad de rotación N_{bomba} que satisfaga $Q_u = Q_u^d$ con un coeficiente COP_t máximo.

40 El controlador 44 incluye igualmente un circuito controlador 48 que aplica los valores calculados T_g^c y N_{bomba}^c en tanto que consignas para la máquina de absorción. Particularmente, cuando la bomba rotativa 16 es auto-regulada, la consigna N_{bomba}^c se aplica directamente en tanto que señal de control N_{bomba}^d . En una variante, el circuito de control 48 incluye un regulador 50, 52 que regula la temperatura del generador T_g a su valor de consigna T_g^c . Por ejemplo, un regulador 50, 52 incluye un restador 52 que forma la diferencia $T_g^c - T_g^m$ entre la consigna de temperatura T_g^c y la medida de temperatura T_g^m y un corrector 52, por ejemplo un PID, que produce la señal de control T_g^d de manera que se anule la diferencia $T_g^c - T_g^m$. La regulación implementada por el regulador 50, 52 es analógica o digital, siendo superior la frecuencia del regulador en la variante digital a la frecuencia de actualización de las consignas T_g^c y N_{bomba}^c . La determinación y la implementación de una ley de regulación de ese tipo son clásicas y no se detallará por tanto con más detalle.

De ese modo, en régimen permanente, establecido para los parámetros $\begin{pmatrix} T_e^m \\ T_{ac}^m \\ T_g^c \\ N_{bomba}^c \end{pmatrix}$ que definen el punto de

50 funcionamiento P_F de la máquina de absorción, la potencia útil de esta última se establece, con la aproximación de los eventuales errores de modelización, en la potencia demandada Q_u^d mientras se garantiza un coeficiente COP_t óptimo. Particularmente una variación del punto de funcionamiento P_F implica, para una potencia útil constante, una degradación del coeficiente COP_t .

55 Con referencia a la figura 3, el algoritmo de búsqueda implementado por la unidad de cálculo 44 funciona por ejemplo de la siguiente manera. Al imponerse las temperaturas de la fuente fría T_e y de la fuente intermedia T_{ac} por el entorno de la máquina de absorción, se sitúan por tanto iguales respectivamente a las medidas T_e^m y T_{ac}^m . El algoritmo de búsqueda recorre entonces un intervalo predefinido $I_g = [T_g^{min}, T_g^{max}]$ de temperaturas para el generador 18, con un paso de muestreo ΔT_g , y recorre un intervalo predefinido $I_{bomba} = [N_{bomba}^{min}, N_{bomba}^{max}]$ de velocidad de rotación de la bomba rotativa 16, con un paso de muestreo ΔN_{bomba} . Particularmente, la velocidad de la bomba 16 está limitada a

una velocidad máxima y la velocidad de rotación de la bomba 16 se expresa en porcentaje de esta velocidad. El intervalo I_{bomba} es por ejemplo igual a $[0, 100 \text{ \%}]$ y el paso ΔN_{bomba} es por ejemplo igual al 1 % de la velocidad máxima. El intervalo I_g es impuesto por su parte por las características de la máquina de absorción y/o se determina en función de la temperatura de la fuente intermedia medida T_{ac}^m . Se sabe en efecto que la temperatura T_g del generador 18 debe ser superior a la temperatura T_{ac} de la fuente intermedia para que la máquina de absorción pueda funcionar. De ese modo el intervalo de búsqueda I_g puede calcularse por la unidad de cálculo 46 tal que $T_g^{min} > T_{ac}^m$, siendo el paso ΔT_g igual a por ejemplo 1 °C.

Habiendo recorrido el espacio de búsqueda $I_g \times I_{bomba}$, la unidad de cálculo 44 retiene entonces el par (T_g^c, N_{bomba}^c) lo que implica una potencia útil predicha por el modelo, más próxima, y preferentemente igual, a la potencia útil demandada Q_u^d , y que implica el mayor valor $COP_t^{m\acute{a}x}$ predicho para el coeficiente COP_t , a saber el par que verifica:

$$(COP_t^{m\acute{a}x}, Q_u^d) = f_{abso}(T_e^m, T_{ac}^m, T_g^c, N_{bomba}^c)$$

Con referencia a las figuras 4A y 4B, que son respectivamente unos trazados de potencia útil Q_u medida y del coeficiente de rendimiento térmico COP_t medido en función de la temperatura del generador T_g y de la velocidad de rotación N_{bomba} de la bomba de una máquina de absorción de prueba, se observa la dependencia de las magnitudes Q_u y COP_t en función de las magnitudes T_g y N_{bomba} , y particularmente el comportamiento sustancialmente regular, incluso monótono, de la potencia Q_u y del coeficiente COP_t . Este tipo de comportamiento, y por tanto el modelo f_{abso} , es fácilmente modelizable mediante unas técnicas usuales en el campo de la simulación digital, por ejemplo mediante una red neuronal.

El modo de realización que se acaba de describir integra un algoritmo de búsqueda del par de consignas (T_g^c, N_{bomba}^c) óptimo en términos de potencia útil y del coeficiente de rendimiento térmico. Con el fin de acelerar la determinación

de este par, como variante, la unidad de cálculo 44 memoriza el conjunto de tripletes $\begin{pmatrix} \hat{T}_e^m \\ \hat{T}_{ac}^m \\ \hat{Q}_u^d \end{pmatrix}$, cada uno asociado a un par $\begin{pmatrix} T_g^c \\ N_{bomba}^c \end{pmatrix}$, tales que la relación $(COP_t^{m\acute{a}x}, \hat{Q}_u^d) = f_{abso}(\hat{T}_e^m, \hat{T}_{ac}^m, T_g^c, N_{bomba}^c)$ se verifique para un valor de coeficiente COP_t máximo. Estos tripletes y pares se determinan por ejemplo en fábrica y la unidad de cálculo 44 elige entre los pares memorizados $\begin{pmatrix} T_g^c \\ N_{bomba}^c \end{pmatrix}$ aquel que corresponde al triplete $\begin{pmatrix} \hat{T}_e^m \\ \hat{T}_{ac}^m \\ \hat{Q}_u^d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_e^m \\ T_{ac}^m \\ Q_u^d \end{pmatrix}$. Esto permite particularmente utilizar modelos de predicción más elaborados. Por el contrario, esto necesita una unidad de control provista de una gran memoria informática para memorizar suficientes pares y tripletes con el fin de obtener una retícula suficientemente precisa de la temperatura del generador y de la velocidad de rotación de la bomba.

En una primera variante, la unidad 44 calcula el par de consignas (T_g^c, N_{bomba}^c) en cada arranque de la máquina de absorción y con cada modificación de la potencia útil demandada. Según una segunda variante, la unidad 44 de cálculo implementa igualmente una prueba de actualización del par de consignas (T_g^c, N_{bomba}^c) . Particularmente, la unidad 44 memoriza los valores de las medidas T_e^m , T_{ac}^m y de la potencia Q_u^d que han servido para el último cálculo del par de consignas (T_g^c, N_{bomba}^c) , indicadas por $T_e^m(k)$, $T_{ac}^m(k)$ y de la potencia $Q_u^d(k)$, y supervisa las medidas de temperatura T_e^m , T_{ac}^m y de la potencia útil demandada Q_u^d recibidas a la entrada. La unidad 44 prueba particularmente si el triplete de entrada $\begin{pmatrix} T_e^m \\ T_{ac}^m \\ Q_u^d \end{pmatrix}$ se desvía, en el sentido de un criterio predeterminado, por ejemplo la distancia euclidiana, del triplete memorizado $\begin{pmatrix} T_e^m(k) \\ T_{ac}^m(k) \\ Q_u^d(k) \end{pmatrix}$, y si es ese el caso implementa un nuevo cálculo de las consignas (T_g^c, N_{bomba}^c) . Según una tercera variante, la unidad 44 actualiza regularmente estas consignas, por ejemplo cada 10 minutos.

El controlador 44 incluye, además de eventuales CAD y CDA para la conversión de las entradas y de las salidas, puede tomar no importa qué forma material siempre que incluya unos medios de cálculo (por ejemplo microprocesador, microcontrolador, etc.) y de memorización (RAM, ROM, etc.) adaptados para la implementación de un cálculo informático.

El controlador 44 puede incluir igualmente una parte digital, por ejemplo la unidad de cálculo 46 y una parte analógica, por ejemplo el regulador 50, 52.

Se ha descrito un modo de realización en el que se busca el valor máximo del coeficiente de rendimiento térmico. Como variante, el usuario puede elegir un valor inferior a este si lo desea. El procedimiento descrito anteriormente continúa siendo entonces válido.

Igualmente, se ha descrito una modelización en régimen permanente. Por supuesto, la invención se aplica igualmente en régimen transitorio, siendo elegidas la función f_{abso} o las cartografías en este sentido.

5 Igualmente se ha descrito el control del coeficiente de rendimiento térmico COP_t . Como variante, puede elegirse otro criterio de rendimiento energético, por ejemplo la inversa del coeficiente COP_t , un coeficiente compuesto del COP_t y de otra potencia, el rendimiento energético, la relación COP_t/COP_{carnot} , etc.

10 Igualmente, se ha descrito el control de la potencia útil Q_u^d de la máquina de absorción. En el sentido de la invención, el control directo de la potencia útil tal como se ha descrito anteriormente es equivalente al control de una magnitud vinculada a la potencia útil y que permita el control indirecto de la potencia útil. Por ejemplo, la potencia útil se modeliza según la relación:

$$Q_u = m \times C_p \times (T_u^s - T_u^e)$$

15 expresión en la que m es del caudal en el intercambiador considerado (evaporador si la máquina funciona como unidad de refrigeración, conjunto absorbedor/condensador si la máquina funciona como calefacción), C_p es la capacidad calorífica del fluido, T_u^s y T_u^e son respectivamente las temperaturas del fluido a la salida y la entrada del intercambiador considerado. Al imponerse la temperatura T_u^e por ejemplo por el ambiente, el control de la temperatura de salida T_u^s
 20 permite por tanto el control de la potencia útil Q_u .

REIVINDICACIONES

1. Sistema que comprende una máquina de absorción (10) y un circuito de control (40) acoplado a la máquina de absorción (10) para regular la potencia útil Q_u de esta en una potencia útil demandada Q_u^d predeterminada, incluyendo la máquina de absorción (10):

- un evaporador (12), de temperatura T_e y adecuado para intercambiar una potencia térmica Q_e con su entorno;
- un conjunto absorbedor/condensador (14, 22) formado por un absorbedor (14) y un condensador (22), de temperatura T_{ac} y adecuado para intercambiar una potencia térmica Q_{ac} con su entorno;
- un generador (18), de temperatura T_g y adecuado para intercambiar una potencia térmica Q_g , siendo controlable la potencia térmica Q_g mediante la temperatura T_g ;
- y
- una bomba rotativa de solución (16), dispuesta entre el absorbedor (14) y el generador (18) y cuya velocidad de rotación N_{bomba} es controlable, e

incluyendo el circuito de control (40):

- un captador (28) adecuado para producir una medida T_e^m de la temperatura T_e del evaporador (12) y un captador (30) adecuado para producir una medida T_{ac}^m de la temperatura T_{ac} del conjunto absorbedor/condensador (14, 22);
- y
- un circuito de control (48),

caracterizado por que el circuito de control (40) incluye además:

- una unidad de cálculo (46) configurada para calcular una consigna T_g^c para la temperatura T_g del generador (18) y una consigna N_{bomba}^c para la velocidad de rotación N_{bomba} de la bomba rotativa de solución (16) en función de la potencia útil demandada Q_u^d y de las medidas de temperatura T_e^m y T_{ac}^m de manera que se satisfaga la relación:

$$(COP_t^{m\acute{a}x}, Q_u^d) = f_{abso}(T_e^m, T_{ac}^m, T_g^c, N_{bomba}^c)$$

expresión en la que $COP_t^{m\acute{a}x}$ es un valor deseado de un coeficiente de rendimiento COP_t medido en función de la temperatura T_g del generador (18) y de la velocidad de rotación N_{bomba} de la bomba rotativa de solución (16) de la máquina de absorción, y f_{abso} es un modelo de la máquina de absorción que predice el coeficiente COP_t y la potencia útil Q_u en función de las temperaturas T_e , T_{ac} y T_g y de la velocidad de rotación N_{bomba} , procediendo el modelo de las técnicas de simulación numérica,

porque el circuito de control (48) se configura para aplicar la consigna de velocidad N_{bomba}^c a la bomba rotativa de solución (16) y para aplicar la consigna de temperatura T_g^c al generador (18).

2. Sistema según la reivindicación 1, caracterizado por que la unidad de cálculo (46) incluye:

- una memoria que memoriza el modelo f_{abso} según la relación:

$$(COP_t, Q_u) = f_{abso}(T_e, T_{ac}, T_g, N_{bomba})$$

- y un circuito de cálculo adecuado para buscar las consignas de valores T_g^c y N_{bomba}^c planteando en el modelo $T_e = T_e^m$ y $T_{ac} = T_{ac}^m$ y haciendo variar las variables del modelo T_g y N_{bomba} hasta obtener el par de salidas del modelo $(COP_t, Q_u) = (COP_t^{m\acute{a}x}, Q_u^d)$.

3. Sistema según la reivindicación 1, caracterizado por que la unidad de cálculo (46) incluye:

- una memoria que memoriza unos pares $\left(\begin{matrix} T_g^c \\ N_{bomba}^c \end{matrix} \right)$ de consignas T_g^c de temperatura para el generador y de consigna N_{bomba}^c de velocidad de rotación para la bomba rotativa de solución en función de tripletes $\left(\begin{matrix} T_e \\ T_{ac} \\ Q_u \end{matrix} \right)$ de temperatura del evaporador T_e , de temperatura del conjunto absorbedor/condensador T_{ac} y de potencia útil Q_u ; y
- un circuito de cálculo configurado para seleccionar un par de consignas $\left(\begin{matrix} T_g^c \\ N_{bomba}^c \end{matrix} \right)$ entre los pares de consignas

memorizados en función del triplete $\left(\begin{matrix} T_e^m \\ T_{ac}^m \\ Q_u^d \end{matrix} \right)$.

4. Sistema según la reivindicación 1, 2 o 3, caracterizado por que el circuito de control (40) incluye un captador (32)

adecuado para producir una medida T_g^m de la temperatura T_g del generador (18) y por que el circuito de control (48) incluye un regulador (50, 52) adecuado para controlar la temperatura T_g del generador (18) de manera que se regule la medida de temperatura T_g^m en la consigna de temperatura T_g^c .

5 5. Sistema que comprende una máquina de absorción (10) y un circuito de control (40) acoplado a la máquina de absorción para regular la potencia útil Q_u de esta en una potencia útil demandada Q_u^d predeterminada, incluyendo la máquina de absorción (10):

- un evaporador (12), de temperatura T_e y adecuado para intercambiar una potencia térmica Q_e con su entorno;
- 10 - un conjunto absorbedor/condensador (14, 22) formado por un absorbedor (14) y un condensador (22), de temperatura T_{ac} y adecuado para intercambiar una potencia térmica Q_{ac} con su entorno;
- un generador (18), de temperatura T_g y adecuado para intercambiar una potencia térmica Q_g , siendo controlable la potencia térmica Q_g mediante la temperatura T_g ; y
- una bomba rotativa de solución (16), dispuesta entre el absorbedor y el generador y cuya velocidad de rotación
- 15 N_{bomba} es controlable, y

el circuito de control (40) incluye:

- un captador (28) adecuado para producir una medida T_e^m de la temperatura T_e del evaporador y un captador (30)
- 20 adecuado para producir una medida T_{ac}^m de la temperatura T_{ac} del conjunto absorbedor/condensador (14, 22); y
- un circuito de control (48),

caracterizado por que el circuito de control (40) incluye además:

- una unidad de cálculo (46) adecuada para calcular una consigna T_g^c para la temperatura T_g del generador (18) y una consigna N_{bomba}^c para la velocidad de rotación N_{bomba} de la bomba rotativa de solución (16) en función de la potencia útil demandada Q_u^d y de las medidas de temperatura T_e^m y T_{ac}^m ,
- por que el circuito de control (48) se configura para aplicar la consigna de velocidad N_{bomba}^c a la bomba rotativa de solución y para aplicar la consigna de temperatura T_g^c al generador,
- 30

y por que el cálculo implementado mediante la unidad de cálculo (46) se selecciona de manera que:

- la aplicación de las consignas N_{bomba}^c y T_g^c para una temperatura $T_e = T_e^m$ y una temperatura $T_{ac} = T_{ac}^m$ conduce, en régimen permanente, a una potencia útil Q_u de la máquina de absorción igual a la potencia útil demandada Q_u^d y a un valor $COP_t^{m\acute{a}x}$ del coeficiente de rendimiento térmico COP_t de la máquina de absorción; y
- 35

- a partir del régimen permanente establecido para un valor $\begin{pmatrix} T_e^m \\ T_{ac}^m \\ T_g^c \\ N_{bomba}^c \end{pmatrix}$ del vector $P_F = \begin{pmatrix} T_e \\ T_{ac} \\ T_g \\ N_{bomba} \end{pmatrix}$, una variación del vector P_F implica, una vez alcanzado un régimen permanente y para una potencia útil Q_u mantenida constante e igual a Q_u^d , un valor del coeficiente de rendimiento térmico COP_t de la máquina de absorción inferior o igual al valor $COP_t^{m\acute{a}x}$.

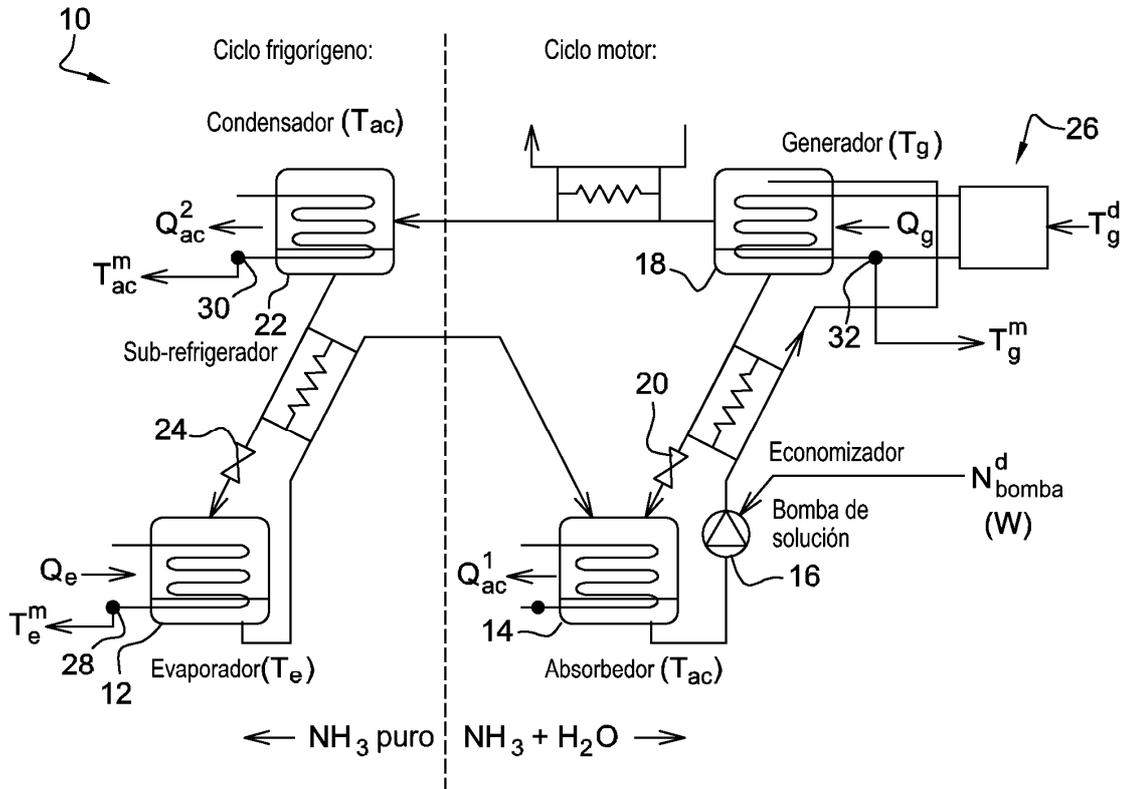


Fig. 1

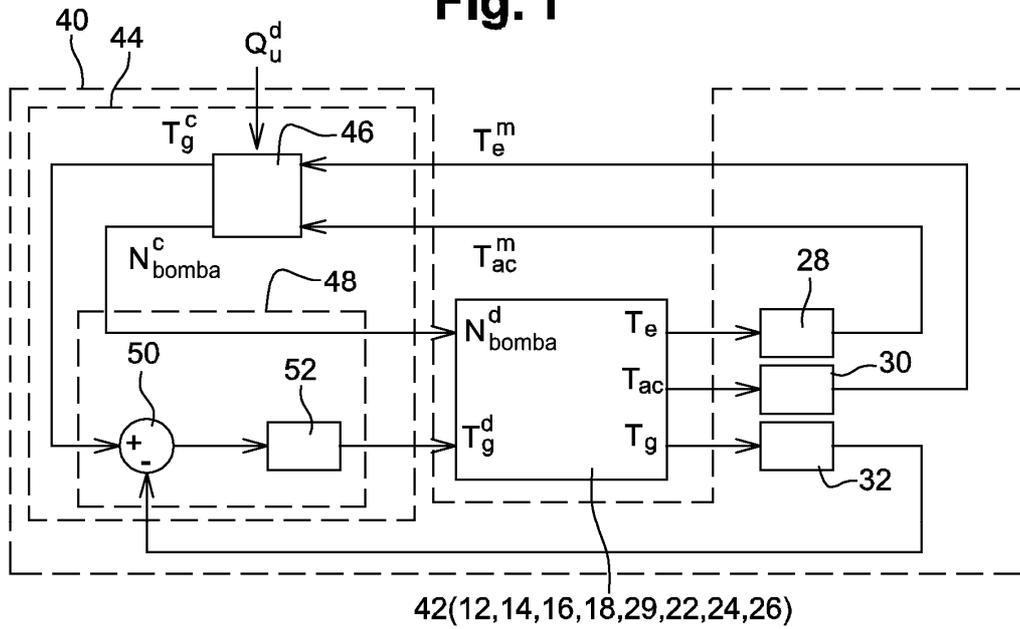


Fig. 2

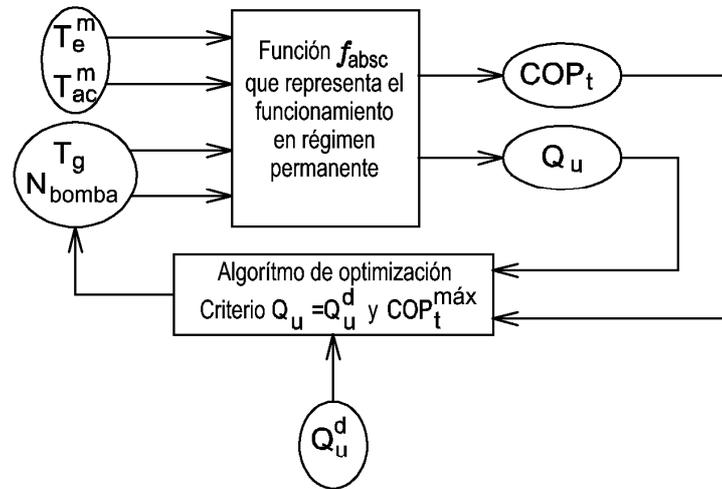


Fig. 3

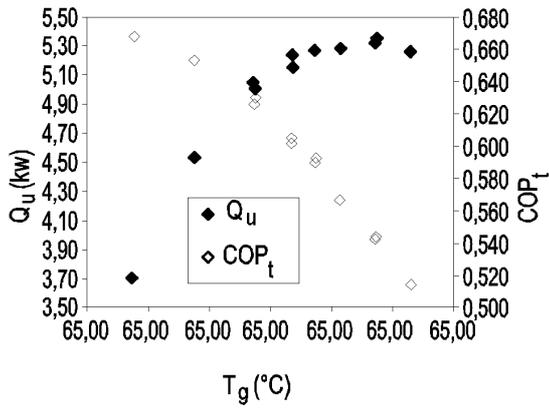


Fig. 4A

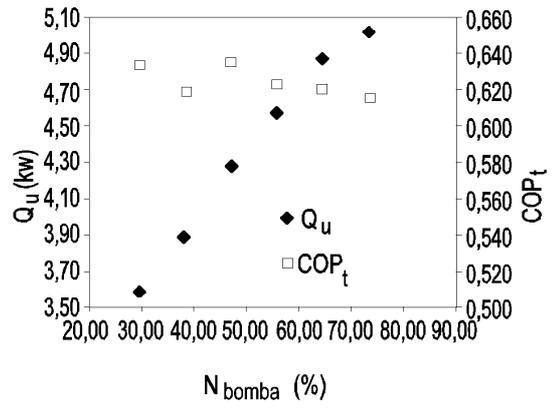


Fig. 4B