

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 758 376**

51 Int. Cl.:

<b>F01K 27/00</b>	(2006.01)
<b>F01K 25/04</b>	(2006.01)
<b>F01K 25/08</b>	(2006.01)
<b>F25B 29/00</b>	(2006.01)
<b>F01K 7/00</b>	(2006.01)
<b>F25B 1/00</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.03.2009 PCT/FR2009/000365**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.12.2009 WO09144402**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2009 E 09754052 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2019 EP 2283210**

54 Título: **Instalación para la producción de frío, de calor y/o de trabajo**

30 Prioridad:

**01.04.2008 FR 0801786**

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

**05.05.2020**

73 Titular/es:

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE (100.0%)  
3, rue Michel-Ange  
75016 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**MAURAN, SYLVAIN;  
MAZET, NATHALIE;  
NEVEU, PIERRE y  
STITOU, DRISS**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

**Observaciones:**

**Véase nota informativa (Remarks, Remarques o  
Bemerkungen) en el folleto original publicado por  
la Oficina Europea de Patentes**

**ES 2 758 376 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

Instalación para la producción de frío, de calor y/o de trabajo

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere a una instalación para la producción de frío, de calor y/o de trabajo.

## ANTECEDENTES TECNOLÓGICOS

- 10 **[0002]** Las máquinas termodinámicas utilizadas para la producción de frío, de calor o de energía hacen todas referencia a una máquina ideal designada como "máquina de Carnot". Una máquina de Carnot ideal requiere una fuente de calor y un disipador de calor con dos niveles diferentes de temperatura. Se trata, por lo tanto, de una máquina "ditérmica". Se llama máquina de Carnot motriz cuando funciona proporcionando trabajo, y máquina de Carnot receptora (también llamada bomba de calor de Carnot) cuando funciona consumiendo trabajo. En modo motor, el calor  $Q_h$  es proporcionado a un fluido de trabajo  $G_T$  a partir de una fuente caliente a la temperatura  $T_h$ , el calor  $Q_b$  es cedido por el fluido de trabajo  $G_T$  a un disipador de frío a la temperatura  $T_b$  y el trabajo neto  $W$  es entregado por la máquina. Por el contrario, en modo bomba de calor, el calor  $Q_b$  es tomado por el fluido de trabajo  $G_T$  en la fuente de frío  $T_b$ , el calor  $Q_h$  es cedido por el fluido de trabajo al disipador de calor a la temperatura  $T_h$  y el trabajo neto  $W$  es consumido por la máquina.
- 15 **[0003]** Según el 2º principio de la termodinámica, la eficacia de una máquina ditérmica (motriz o receptora), es decir una máquina real que funciona o no según el ciclo de Carnot, es a lo sumo igual a la de la máquina de Carnot ideal y depende exclusivamente de las temperaturas de la fuente y del disipador. Sin embargo, la realización práctica del ciclo de Carnot, constituido por dos etapas isotérmicas (a las temperaturas  $T_h$  y  $T_b$ ) y dos etapas adiabáticas reversibles se enfrenta a varias dificultades que no han sido completamente resueltas hasta el momento. En el curso del ciclo, el fluido de trabajo puede permanecer siempre en estado gaseoso o experimentar un cambio de estado líquido/vapor durante las transformaciones isotérmicas a  $T_h$  y  $T_b$ . Cuando se produce un cambio de estado líquido/vapor, las transferencias de calor entre la máquina y el entorno se efectúan con una mayor eficacia que cuando el fluido de trabajo permanece en el estado gaseoso. En el primer caso y para las mismas potencias térmicas intercambiadas al nivel de la fuente y del disipador de calor, las superficies de intercambio son inferiores (por lo tanto menos costosas). Sin embargo, cuando hay un cambio de estado líquido/vapor, las etapas adiabáticas reversibles consisten en comprimir y en expandir una mezcla bifásica líquido/vapor. Las técnicas de la técnica anterior no permiten efectuar compresiones o expansiones de mezclas bifásicas. Según la técnica anterior actual, no se sabe realizar correctamente estas transformaciones.
- 20 **[0004]** Para resolver este problema, se consideró aproximarse al ciclo de Carnot comprimiendo isoentrópicamente un líquido y expandiendo isoentrópicamente un vapor sobrecalentado (para un ciclo motor) y comprimiendo el vapor sobrecalentado y expandiendo isoentálpicamente el líquido (para un ciclo receptor). Sin embargo, tales modificaciones inducen irreversibilidades en el ciclo y disminuyen de manera muy significativa su eficacia, es decir, el rendimiento del motor o el coeficiente de rendimiento o de amplificación de la bomba de calor.
- 25 **[0005]** El documento WO97/16629 describe, por ejemplo, un dispositivo de generación eléctrica por el desplazamiento de un líquido a través de un motor hidráulico. El desplazamiento del líquido se obtiene presurizando una cámara a otra cámara despresurizada a menor presión.

## 45 DEFINICIÓN GENERAL DE LA INVENCION

- [0006]** El objetivo de la presente invención es proporcionar una máquina termodinámica que funciona según un ciclo próximo a los ciclos de Carnot, mejorada con respecto a las máquinas de la técnica anterior, es decir, una máquina que funciona con un cambio de estado líquido/vapor de los fluidos de trabajo para conservar la ventaja de las pequeñas superficies de contacto requeridas, limitando al mismo tiempo de manera sustancial las irreversibilidades en el ciclo en el curso de las etapas adiabáticas.
- [0007]** Un objeto de la presente invención está constituido por una instalación para la producción de frío, de calor y/o de trabajo, comprendiendo al menos una máquina de Carnot modificada. Otro objeto de la invención está constituido por un procedimiento de producción de frío, de calor y/o de trabajo, con ayuda de una instalación que comprende al menos una máquina de Carnot modificada.
- 50 **[0008]** Una instalación para la producción de frío, de calor o de trabajo, según la presente invención comprende al menos una máquina de Carnot modificada constituida por:
- 60 a) Un 1º conjunto que comprende un evaporador Evap asociado a una fuente de calor, un condensador Cond asociado a un disipador de calor, un dispositivo DPD de presurización o de expansión de un fluido de trabajo  $G_T$ , medios de transferencia del fluido de trabajo  $G_T$  entre el condensador Cond y DPD, y entre el evaporador Evap y DPD;
- 65 b) Un 2º conjunto que comprende dos cámaras de transferencia CT y CT' que contienen un líquido de transferencia

$L_T$  y el fluido de trabajo  $G_T$  en forma de líquido y/o de vapor, siendo el líquido de transferencia  $L_T$  y el fluido de trabajo dos fluidos diferentes;

c) medios de transferencia selectiva del fluido de trabajo  $G_T$  entre el condensador Cond y cada una de las cámaras de transferencia CT y CT', por una parte, y entre el evaporador Evap y cada una de las cámaras de transferencia CT y CT', por otra parte;

d) medios de transferencia selectiva del líquido  $L_T$  entre las cámaras de transferencia CT y CT' y el dispositivo de compresión o de expansión DPD, comprendiendo dichos medios al menos un convertidor hidráulico.

**[0009]** En el presente texto:

10 "ciclo de Carnot modificado" significa un ciclo termodinámico que comprende las etapas del ciclo de Carnot teórico o etapas similares con un grado de reversibilidad inferior a 100 %;

- "máquina de Carnot modificada", designa una máquina que presenta las características a), b), c) y d) anteriores;

- "convertidor hidráulico" designa bien una bomba hidráulica o bien un motor hidráulico;

15 - "bomba hidráulica" designa un dispositivo que utiliza energía mecánica proporcionada por el entorno a la "máquina de Carnot modificada" para bombear un fluido hidráulico de transferencia  $L_T$  a baja presión y devolverlo con mayor presión;

- "bomba hidráulica auxiliar" designa un dispositivo que utiliza energía mecánica proporcionada por el entorno a la "máquina de Carnot modificada" o tomada del trabajo entregado al entorno por la "máquina de Carnot modificada"

20 para presurizar el líquido de transferencia  $L_T$  o el líquido de trabajo  $G_T$  en estado líquido;

- "motor hidráulico" designa un dispositivo que suministra al entorno la energía mecánica generada por la máquina de Carnot modificada despresurizando el líquido de transferencia  $L_T$  a alta presión y devolviéndolo a una menor presión;

- "entorno" designa cualquier elemento exterior a la máquina de Carnot modificada, incluyendo las fuentes y disipadores de calor y cualquier elemento de la instalación al que esté conectada la máquina de Carnot modificada;

25 - "transformación reversible" significa una transformación reversible en el sentido estricto, así como una transformación casi reversible. La suma de las variaciones de entropía del fluido que sufre la transformación y del entorno es nula durante una transformación estrictamente reversible correspondiente al caso ideal, y ligeramente positiva durante una transformación real, casi reversible. El grado de reversibilidad de un ciclo puede cuantificarse por la relación entre el rendimiento (o el coeficiente de rendimiento COP) del ciclo y el del ciclo de Carnot que funciona entre las mismas

30 temperaturas extremas. Cuanto mayor es la reversibilidad del ciclo, más próxima es esta relación (por valor inferior) a 1,  
- "transformación isotérmica" significa una transformación estrictamente isotérmica o en condiciones próximas a la naturaleza isotérmica teórica, sabiendo que, en condiciones de implementación reales, durante una transformación considerada como isotérmica efectuada de manera cíclica, la temperatura T sufre ligeras variaciones, tales como  $\Delta T/T$

35 de  $\pm 10\%$ ;  
- "transformación adiabática" significa una transformación sin ningún intercambio de calor con el entorno o con intercambios de calor que se busca minimizar aislando térmicamente el fluido que sufre la transformación y el entorno.

**[0010]** El procedimiento de producción de frío, de calor y/o de trabajo según la invención consiste en someter un fluido de trabajo  $G_T$  a una sucesión de ciclos de Carnot modificados en una instalación según la invención que comprende al menos una máquina de Carnot modificada. Un ciclo de Carnot modificado comprende las siguientes transformaciones:

- una transformación isotérmica con intercambio de calor entre  $G_T$  y la fuente, respectivamente el disipador de calor;

45 una transformación adiabática con disminución de la presión del fluido de trabajo  $G_T$ ;

- una transformación isotérmica con intercambio de calor entre  $G_T$  y el disipador, respectivamente la fuente de calor;

- una transformación adiabática con aumento de la presión del fluido de trabajo  $G_T$ .

**[0011]** El procedimiento se caracteriza porque:

50 - el fluido de trabajo está en forma bifásica líquido-gas al menos durante las dos transformaciones isotérmicas de un ciclo,

55 - las dos transformaciones isotérmicas producen o son producidas por un cambio en el volumen de  $G_T$  concomitante con el desplazamiento de un líquido de transferencia  $L_T$  que acciona o es accionado por un convertidor hidráulico y, en consecuencia, el trabajo es proporcionado o recibido por la instalación por medio de un fluido hidráulico que pasa a través de un convertidor hidráulico durante al menos las dos transformaciones isotérmicas.

**[0012]** En una realización, el trabajo es recibido o suministrado por la instalación por medio de un fluido hidráulico que pasa a través de un convertidor hidráulico durante una sola de las transformaciones adiabáticas. En esta realización, el ciclo de Carnot modificado y la máquina de Carnot modificada se denominan "de 1<sup>er</sup> tipo".

**[0013]** En una realización, el trabajo es recibido o suministrado por la instalación por medio de un fluido hidráulico que pasa a través de un convertidor hidráulico durante las dos transformaciones adiabáticas. En esta

65 realización, el ciclo de Carnot modificado y la máquina de Carnot modificada se denominan "de 2<sup>o</sup> tipo".

**DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

**[0014]**

- 5 La figura 1 representa las curvas de equilibrio líquido/vapor para diversos fluidos que pueden utilizarse como fluido de trabajo  $G_T$ . La presión de vapor de saturación  $P$  (en bar) se da en la ordenada, en una escala logarítmica, en función de la temperatura  $T$  (en °C) dada en la abscisa.
- 10 La figura 2 representa una vista esquemática de una máquina de Carnot modificada del 2º tipo.
- La figura 3 representa en el diagrama de Mollier de refrigerantes un ciclo de Carnot modificado motor seguido por un fluido de trabajo  $G_T$ . La presión  $P$  se da en una escala logarítmica, en función de la entalpía másica  $h$  del fluido de trabajo.
- 15 La figura 4 representa en un diagrama de Mollier tres ciclos de Carnot modificados motores de 2º tipo que tienen una misma temperatura  $T_b$  del fluido de trabajo durante el intercambio de calor con el dissipador de frío y las temperaturas crecientes  $T''_h$ ,  $T'_h$  y  $T_h$  del fluido de trabajo durante el intercambio de calor con la fuente caliente.
- 20 La figura 5 es una representación esquemática de una máquina de Carnot modificada motriz del 1º tipo.
- La figura 6 representa en el diagrama de Mollier un ciclo de Carnot modificado motor del 1º seguido por un fluido de trabajo  $G_T$ . La presión  $P$  se da en una escala logarítmica, en función de la entalpía másica  $h$  del fluido de trabajo.
- 25 La figura 7 representa una vista esquemática de una máquina de Carnot modificada receptora del 2º tipo.
- La figura 8 representa en el diagrama de Mollier un ciclo de Carnot modificado receptor del 2º seguido por un fluido de trabajo  $G_T$ . La presión  $P$  se da en una escala logarítmica, en función de la entalpía másica  $h$  del fluido de trabajo.
- 30 La figura 9 representa una vista esquemática de una máquina de Carnot modificada receptora del 1º tipo.
- La figura 10 representa en el diagrama de Mollier un ciclo de Carnot modificado receptor del 1º seguido por un fluido de trabajo  $G_T$ . La presión  $P$  se da en una escala logarítmica, en función de la entalpía másica  $h$  del fluido de trabajo.
- 35 La figura 11 representa una vista esquemática de una máquina de Carnot modificada que puede funcionar según la elección del usuario según el modo motor de 1º tipo o receptor de 1º tipo.
- 40 Las figuras 12a y 12b ilustran esquemáticamente dos realizaciones de máquinas de Carnot modificadas motrices que funcionan entre las mismas temperaturas extremas  $T_h$  y  $T_b$  e indican la dirección de los intercambios de calor y de trabajo entre estas máquinas y el entorno. La figura 12a representa una realización de un acoplamiento térmico a un nivel de temperatura intermedio entre dos máquinas de Carnot modificadas motrices. La figura 12b representa otra realización con una sola máquina de Carnot modificada motriz.
- 45 La figura 13 representa esquemáticamente los niveles de temperatura de las fuentes y dissipadores de calor y la dirección de los intercambios de calor y de trabajo, en una instalación que comprende una máquina de Carnot modificada motriz a alta temperatura acoplada mecánicamente a una máquina de Carnot modificada receptora a baja temperatura.
- 50 La figura 14 representa esquemáticamente los niveles de temperatura de las fuentes y dissipadores de calor y la dirección de los intercambios de calor y de trabajo, en una instalación que comprende una máquina de Carnot modificada motriz a baja temperatura acoplada mecánicamente a una máquina de Carnot modificada receptora a alta temperatura.
- 55 Las figuras 15a a 15h representan esquemáticamente los intercambios de calor y de trabajo entre una máquina (o combinaciones de máquinas) de Carnot modificada(s) y el entorno, así como las temperaturas de las fuentes y dissipadores de calor, para 8 ejemplos que implican diferentes fluidos de trabajo.
- 60 Las figuras 16, 17 y 18 representan, respectivamente, en los diagramas de Mollier de agua, n-butano y 1,1,1,2-tetrafluoroetano los diferentes ciclos de Carnot modificados que intervienen en los 8 ejemplos de la figura 15.

**DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

**[0015]** En una instalación según la presente invención, una máquina de Carnot modificada puede tener una configuración de máquina motriz o de máquina receptora. En los dos casos, la máquina puede ser del 1º tipo

(intercambio de trabajo entre el líquido de transferencia y el entorno durante una de las transformaciones adiabáticas) o del 2º tipo (intercambio de trabajo entre el líquido de transferencia y el entorno durante las dos transformaciones adiabáticas). Una máquina de Carnot modificada también puede tener una configuración que permite, a elección del usuario, un funcionamiento en modo motor (1<sup>er</sup> o 2º tipo) o en modo receptor (1<sup>er</sup> o 2º tipo).

5

**[0016]** El procedimiento de gestión de una máquina motriz comprende al menos una etapa durante la cual se suministra calor a la instalación, para recuperar el trabajo durante al menos una de las transformaciones del ciclo de Carnot modificado. El procedimiento de gestión de una máquina receptora comprende al menos una etapa durante la cual se suministra trabajo a la instalación, para recuperar el calor del disipador de calor con  $T_h$  o extraer el calor de la fuente de frío con  $T_b$  durante al menos una de las transformaciones isotérmicas del ciclo de Carnot modificado.

10

**[0017]** El procedimiento según la presente invención consiste en someter un fluido de trabajo  $G_T$  a una sucesión de ciclos entre una fuente de calor y un disipador de calor. Tras lo cual, en aras de la simplificación y porque no afecta al principio de funcionamiento de la máquina de Carnot modificada, no se distingue la temperatura de la fuente o del disipador de calor del de la del fluido de trabajo que se intercambia con esa fuente o disipador, siendo estas temperaturas designadas como  $T_h$ . Del mismo modo, la temperatura de la fuente o del disipador de frío no se distingue de la del fluido de trabajo que se intercambia con esa fuente o disipador, siendo estas temperaturas designadas como  $T_b$ . Así es como se considera que los intercambiadores de calor son perfectos.

15

**[0018]** El fluido de trabajo  $G_T$  y el líquido de transferencia  $L_T$  se eligen preferentemente de manera que  $G_T$  sea ligeramente soluble, preferentemente insoluble en  $L_T$ , que  $G_T$  no reaccione con  $L_T$  y que  $G_T$  en estado líquido sea menos denso que  $L_T$ . Cuando la solubilidad de  $G_T$  en  $L_T$  es demasiado importante o si  $G_T$  en estado líquido es más denso que  $L_T$ , es necesario aislarlos entre sí por un medio que no impida el intercambio de trabajo. Dicho medio puede consistir por ejemplo en una membrana flexible interpuesta entre  $G_T$  y  $L_T$ , creando dicha membrana una barrera impermeable entre los dos fluidos pero no oponiendo más que una resistencia muy pequeña al desplazamiento del líquido de transferencia así como una baja resistencia a la transferencia térmica. Otra solución está constituida por un flotador que tiene una densidad intermedia entre la del fluido de trabajo  $G_T$  en estado líquido y la del líquido de transferencia  $L_T$ . Un flotador puede constituir una barrera material grande, pero es difícil hacerle perfectamente eficaz si no se quieren fricciones sobre la pared lateral de las cámaras CT y CT'. Por el contrario, el flotador puede constituir una resistencia térmica muy eficaz. Las dos soluciones (membrana y flotador) pueden ser combinadas.

20

25

30

**[0019]** El líquido de transferencia  $L_T$  es elegido entre los líquidos que tienen una pequeña presión de vapor de saturación a la temperatura de funcionamiento de la instalación, a fin de evitar, en ausencia de membrana separadora tal como se ha descrito anteriormente, las limitaciones debidas a la difusión de los vapores de  $G_T$  a través del vapor de  $L_T$  al nivel del condensador o del evaporador. Sujeto a las compatibilidades con  $G_T$  mencionadas anteriormente y a título de ejemplos no exhaustivos,  $L_T$  puede ser agua, o un aceite mineral o sintético, que tiene preferentemente una pequeña viscosidad.

35

**[0020]** El fluido de trabajo  $G_T$  sufre transformaciones en el dominio termodinámico de temperatura y presión preferentemente compatible con el equilibrio líquido - vapor, es decir entre la temperatura de fusión y la temperatura crítica. Sin embargo, durante el ciclo de Carnot modificado, algunas de estas transformaciones pueden intervenir en la totalidad o en parte en el dominio del líquido subenfriado o del vapor sobrecalentado, o el dominio supercrítico. Un fluido de trabajo es elegido preferentemente entre los cuerpos puros y las mezclas azeotrópicas, para tener una relación monovariante entre la temperatura y la presión en el equilibrio líquido-vapor. Sin embargo, una máquina de Carnot modificada según la invención también puede funcionar con una solución no azeotrópica como fluido de trabajo.

40

45

**[0021]** El fluido de trabajo  $G_T$  puede ser por ejemplo agua,  $CO_2$ , o  $NH_3$ . El fluido de trabajo puede además ser elegido entre los alcoholes que tienen de 1 a 6 átomos de carbono, los alcanos que tienen de 1 a 18 (más particularmente de 1 a 8) átomos de carbono, los clorofluoroalcanos que tienen preferentemente de 1 a 15 (más particularmente de 1 a 10) átomos de carbono, y los arcanos parcial o totalmente fluorados o clorados que tienen preferentemente de 1 a 15 (más particularmente de 1 a 10) átomos de carbono. Se puede citar en particular 1,1,1,2-tetrafluoroetano, propano, isobutano, n-butano, ciclobutano, o n-pentano. La figura 1 representa las curvas de equilibrio líquido/vapor para algunos de los fluidos  $G_T$  antes citados. La presión de vapor de saturación P (en bar) se da en la ordenada, en una escala logarítmica, en función de la temperatura T (en °C) dada en la abscisa.

50

**[0022]** Un fluido que puede utilizarse como fluido de trabajo puede actuar como fluido motor o como fluido receptor, en función de la instalación en la que se utilice, de las fuentes de calor disponibles y de la finalidad prevista.

**[0023]** De manera general, los fluidos de trabajo y los líquidos de transferencia son elegidos en primer lugar en función de las temperaturas de las fuentes de calor y de los disipadores de calor disponibles, así como de las presiones de vapor de saturación máximas o mínimas deseadas en la máquina, entonces en función de otros criterios tales como en particular la toxicidad, la influencia para entorno, la estabilidad química, y el costo.

60

**[0024]** El fluido  $G_T$  puede estar en las cámaras CT o CT' en el estado de mezcla bifásica líquido/vapor al final de la etapa de expansión adiabática para el ciclo motor o de compresión adiabática para el ciclo receptor. En este

65

caso, la fase líquida de  $G_T$  se acumula en la interfaz entre  $G_T$  y  $L_T$ . Cuando el contenido de vapor de  $G_T$  es grande (normalmente comprendido entre 0,95 y 1) en las cámaras CT o CT' antes de la conexión de dichas cámaras con el condensador, se puede considerar eliminar totalmente la fase líquida de  $G_T$  en estas cámaras. Esta eliminación puede ser efectuada manteniendo la temperatura del fluido de trabajo  $G_T$  en las cámaras CT o CT' al final de las etapas de  
 5 puesta en comunicación de las cámaras CT o CT' y del condensador, a un valor superior al del fluido de trabajo  $G_T$ , en el estado líquido en el condensador, de manera que no haya  $G_T$  líquido en CT o CT' en este instante.

**[0025]** En una realización, la instalación comprende medios de intercambio de calor entre, por una parte, la fuente y el disipador de calor que están a temperaturas diferentes, y por otra parte, el evaporador Evap, el condensador  
 10 Cond y posiblemente el fluido de trabajo  $G_T$  en las cámaras de transferencia CT y CT'.

**[0026]** Cuando el convertidor hidráulico de la máquina de Carnot modificada es un motor hidráulico y la temperatura de la fuente es superior a la temperatura del disipador, la máquina de Carnot modificada es motriz. Una instalación según la presente invención puede comprender una máquina de Carnot modificada motriz sola, o acoplada a un dispositivo complementario, en función de la finalidad prevista. El acoplamiento puede ser efectuado por vía  
 15 térmica o por vía mecánica.

**[0027]** En una máquina de Carnot modificada de 1<sup>er</sup> tipo, el dispositivo DPD consiste en un dispositivo que presuriza el fluido de trabajo  $G_T$  en estado de líquido saturado o de líquido subenfriado, por ejemplo una bomba  
 20 hidráulica auxiliar PHA<sub>1</sub>.

**[0028]** En una máquina de Carnot modificada motriz de 2<sup>o</sup> tipo, el dispositivo DPD de presurización o de expansión comprende, por una parte, una cámara de compresión/expansión ABCD y los medios de transferencia asociados y, por otra parte, una bomba hidráulica auxiliar PHA<sub>2</sub> que presuriza el fluido hidráulico de transferencia  $L_T$ .  
 25

**[0029]** En un procedimiento según la invención implementada según un ciclo de Carnot modificado, el ciclo comprende las siguientes transformaciones:

- una transformación isotérmica durante la cual se suministra calor a  $G_T$  a partir de la fuente de calor a la temperatura  
 30  $T_h$ ;

- una transformación adiabática con disminución de la presión del fluido de trabajo  $G_T$ ;

- una transformación isotérmica durante la cual el calor es proporcionado por  $G_T$  al disipador de calor a una temperatura  
 35  $T_b$  inferior a la temperatura  $T_h$ ;

- una transformación adiabática con aumento de la presión del fluido de trabajo  $G_T$ .

**[0030]** Cuando el procedimiento de invención es una sucesión de ciclos de Carnot modificados motores, la fuente de calor se encuentra a una temperatura superior a la temperatura del disipador de calor. Cada ciclo está  
 40 constituido por una sucesión de etapas durante las cuales hay un cambio en el volumen del fluido de trabajo  $G_T$ . Esta variación de volumen provoca un desplazamiento del líquido  $L_T$  que acciona un motor hidráulico o es provocada por un desplazamiento del líquido  $L_T$  que es accionado por una bomba hidráulica auxiliar. Así, la instalación consume trabajo en algunas etapas y lo restablece en otras etapas, mientras que a lo largo de todo el ciclo se produce una  
 45 producción neta de trabajo hacia el entorno. El entorno puede ser un dispositivo auxiliar que transforma el trabajo proporcionado por la instalación en electricidad, calor o frío. Un procedimiento de funcionamiento de una máquina de Carnot modificada motriz se describe con más detalle a partir de una máquina representada de manera esquemática en la figura 2.

**[0031]** La figura 2 representa una vista esquemática de una máquina de Carnot modificada de 2<sup>o</sup> tipo, que comprende un evaporador Evap, un condensador Cond, una cámara de compresión/expansión isoentrópica ABCD, un motor hidráulico MH, una bomba hidráulica auxiliar PHA<sub>2</sub> y dos cámaras de transferencia CT y CT'. Estos diferentes  
 50 elementos están conectados entre sí por un primer circuito que contiene exclusivamente el fluido de trabajo  $G_T$ , y un segundo circuito que contiene exclusivamente el líquido de transferencia  $L_T$ . Dichos circuitos comprenden diferentes ramas que pueden obturarse mediante válvulas controladas.  
 55

**[0032]** El evaporador Evap y el condensador Cond contienen exclusivamente el fluido  $G_T$ , que generalmente se encuentra en estado de mezcla líquido/vapor. Sin embargo, dependiendo del fluido de trabajo  $G_T$  y de la temperatura de la fuente caliente  $T_h$ , dicho fluido de trabajo  $G_T$  puede encontrarse en el dominio supercrítico a dicha temperatura  
 60  $T_h$  y bajo estas condiciones el evaporador Evap contiene sólo  $G_T$  en estado gaseoso. El motor MH y la bomba PHA<sub>2</sub> son atravesados exclusivamente por el líquido  $L_T$ . Los elementos ABCD, CT y CT' constituyen las interfaces entre los dos circuitos ( $G_T$  y  $L_T$ ) y contienen el fluido hidráulico de transferencia  $L_T$  en la parte inferior y/o el fluido de trabajo  $G_T$  en estado líquido, vapor o mezcla líquido-vapor en la parte superior.

**[0033]** ABCD se conecta a Cond y Evap mediante circuitos que contienen  $G_T$  y pueden obturarse mediante

- electroválvulas  $EV_3$  y  $EV_4$  respectivamente. Evap se conecta a CT y CT' por circuitos que contienen  $G_T$  y pueden obturarse mediante electroválvulas  $EV_1$  y  $EV_1'$  respectivamente. Cond se conecta a CT y CT' por circuitos que contienen  $G_T$  y pueden obturarse mediante electroválvulas  $EV_2$  y  $EV_2'$  respectivamente. En la realización representada en la figura 2, los medios de obturación son electroválvulas de dos vías. Sin embargo, se pueden utilizar otros tipos de válvulas, controladas o no, como las válvulas neumáticas, las válvulas de compuerta o las válvulas de retención. Algunos pares de válvulas de dos vías (es decir, con una entrada y una salida) pueden sustituirse con válvulas de tres vías (una entrada, dos salidas o dos entradas y una salida). Otras combinaciones posibles de válvulas están al alcance del experto en la materia.
- 10 **[0034]** En la realización representada en la figura 2, el líquido que pasa a través del motor hidráulico siempre fluye en la misma dirección. En esta realización, que es la más común para un motor hidráulico, el líquido de transferencia  $L_T$  a alta presión siempre está conectado al motor MH en la misma entrada (a la derecha en la figura 2) y el líquido de transferencia  $L_T$  a baja presión siempre está conectado al motor MH en la misma salida (a la izquierda en la figura 2). Dado que las cámaras CT y CT' están alternativamente a alta presión y a baja presión, un conjunto de electroválvulas permite conectarlas a las entradas/salidas adecuadas del motor MH. Así, el motor hidráulico MH se conecta a la entrada (o aguas arriba) al CT y CT' por un circuito que contiene  $L_T$  a alta presión y puede ser obturado por las electroválvulas  $EV_h$  y  $EV_h'$ , respectivamente, a la salida (o aguas abajo) al CT y CT' por un circuito que contiene  $L_T$  a baja presión y puede ser obturado por las electroválvulas  $EV_b$  y  $EV_b'$ , respectivamente. Por ejemplo, en la etapa del ciclo que representada en la figura 2, la alta presión se encuentra en la cámara CT' y la baja presión en CT; las electroválvulas  $EV_h'$  y  $EV_b$  están abiertas y las electroválvulas  $EV_h$  y  $EV_b'$  están cerradas; el líquido de transferencia fluye a través de MH de derecha a izquierda. Durante la otra mitad del ciclo, la alta presión está en CT y la baja presión en CT', las electroválvulas  $EV_h'$  y  $EV_b$  están cerradas y las electroválvulas  $EV_h$  y  $EV_b'$  están abiertas, pero el líquido de transferencia fluye a través del motor hidráulico en la misma dirección (de derecha a izquierda).
- 25 **[0035]** ABCD está conectado en su parte inferior aguas abajo de MH por un circuito que contiene el líquido de transferencia  $L_T$  y que comprende en dos ramas en paralelo la bomba hidráulica auxiliar  $PHA_2$  y la electroválvula  $EV_r$ . Cuando  $L_T$  circula de MH a ABCD, es presurizado por  $PHA_2$  y  $EV_r$  se cierra. Cuando  $L_T$  circula de ABCD a MH, fluye por gravedad,  $EV_r$  está abierto y  $PHA_2$  se detiene. Como el líquido de transferencia  $L_T$  finalmente se transfiere a CT o CT', es necesario que ABCD se encuentre por encima de las cámaras CT y CT'.
- 30 **[0036]** En la figura 2, el eje AX del motor hidráulico MH está conectado a un receptor (es decir, un elemento que consume trabajo), ya sea directamente o a través de un acoplamiento convencional. El receptor es un alternador ALT, acoplado directamente al eje del motor hidráulico, y la bomba hidráulica auxiliar  $PHA_2$  está conectada mediante un embrague magnético EM. Se pueden utilizar otros modos de acoplamiento, como un cardán, una correa, un embrague magnético o mecánico. Del mismo modo, se pueden conectar otros receptores en el mismo eje, por ejemplo una bomba de agua, una máquina de Carnot modificada receptora, una bomba de calor convencional (con compresión mecánica de vapor). Si es necesario, también se puede montar un volante de inercia en este eje para facilitar la secuencia de las etapas receptoras y motrices del ciclo.
- 40 **[0037]** Un ciclo de Carnot modificado puede describirse en el diagrama de Mollier de refrigerantes, que da la presión P, en escala logarítmica, en función de la entalpía másica h del fluido de trabajo. La figura 3 representa el diagrama de Mollier del ciclo de Carnot modificado motor seguido por el fluido de trabajo  $G_T$ .
- 45 **[0038]** Dependiendo del fluido  $G_T$  retenido, la etapa de expansión isoentrópica del vapor saturado a la salida del evaporador puede llevar a una mezcla bifásica o a un vapor sobrecalentado. En la figura 3, el caso de la mezcla bifásica está representado por la trayectoria entre los puntos "c" y "d" discontinuos y el caso del vapor sobrecalentado está representado por la trayectoria entre los puntos "c" y "d<sub>vs</sub>" continuos. Además, independientemente de  $G_T$ , el vapor a la salida del evaporador puede sobrecalentarse, de modo que después de la expansión isoentrópica sólo hay vapor sobrecalentado o vapor en el límite saturado. Este 3<sup>er</sup> caso está representado en la figura 3 por la trayectoria entre los puntos "c<sub>vs</sub>" y "d<sub>vs</sub>" de trazo mixto. Cualquier incursión al principio o al final de la expansión isoentrópica en el dominio del vapor sobrecalentado genera irreversibilidades y por lo tanto induce una disminución en el rendimiento del ciclo. Sin embargo, cuando la posición del punto "d" es muy cercana al estado de vapor saturado, es preferible eliminar cualquier presencia de  $G_T$  líquido en las cámaras CT o CT' mediante el sobrecalentamiento de  $G_T$  a la salida de la expansión isoentrópica. La elección del medio para suministrar calor a  $G_T$  en CT y CT' está al alcance del experto en la materia. El aporte térmico puede realizarse, por ejemplo, mediante una resistencia eléctrica o por intercambio con la fuente de calor a  $T_h$ . El intercambio de calor se puede hacer en un intercambiador integrado en el circuito  $L_T$ , intercambiándose dicho  $L_T$  a su vez con  $G_T$  en su interfaz en CT y CT'. El intercambio también se puede efectuar en la pared lateral de CT y CT'. Es esta última posibilidad la que se representa en la figura 2, en la que se suministra calor a temperatura  $T_i$  a  $C_T$ .
- 60 **[0039]** El ciclo de Carnot modificado motor está constituido por 4 fases sucesivas que comienzan respectivamente en los instantes  $t_a$ ,  $t_y$ ,  $t_b$  y  $t_x$ . Se describe a continuación con referencia al ciclo a-b-c-d<sub>vs</sub>-e-a del diagrama de Mollier representado en la figura 3. El principio es idéntico para el ciclo a-b-c<sub>vs</sub>-d<sub>vs</sub>-e-a.
- 65 Fase  $\alpha\beta$  (entre los instantes  $t_a$  y  $t_y$ ):

**[0040]** En el instante inmediatamente anterior  $t_a$ , el nivel de  $L_T$  es bajo (indicado B) en ABCD y en el cilindro CT, y alto (indicado II) en el cilindro CT'. En el mismo instante, la presión de vapor de saturación  $G_T$  tiene un valor bajo  $P_b$  en ABCD y CT, y un valor alto  $P_h$  en Evap y CT'. Es en este instante del ciclo que corresponde a la configuración de la instalación representada esquemáticamente en la figura 2.

**[0041]** En el instante  $t_a$ , la abertura de las electroválvulas  $EV_1'$ ,  $EV_2$ ,  $EV_h'$  y  $EV_b$  y el embrague de PHA<sub>2</sub> provocan los siguientes fenómenos:

- 10 - El vapor saturado de  $G_T$  que sale del evaporador en  $P_h$ , penetra en CT' y descarga el líquido de transferencia  $L_T$  en un nivel intermedio (indicado J).  $L_T$  pasa a través del motor MH a medida que se expande, produciendo trabajo, parte del cual es recuperado por la bomba PHA<sub>2</sub>.  
 - Después de ser expandido por MH, una parte del líquido de transferencia  $L_T$  se transfiere a CT y la otra parte del líquido  $L_T$  se transfiere a ABCD. En CT,  $L_T$  pasa del nivel bajo al nivel intermedio (indicado I), descarga los vapores de  $G_T$  al condensador en el que se condensan y acumulan en la parte inferior (estando las válvulas  $EV_2$  abiertas y  $EV_3$  cerrada). La otra parte de  $L_T$  es aspirada por la bomba PHA<sub>2</sub> y descargada a mayor presión a ABCD, lo que permite que la mezcla líquida/vapor de  $G_T$  contenida en esta cámara sea comprimida isoentrópicamente.

**[0042]** En el diagrama de Mollier (figura 3), esta etapa corresponde a las siguientes transformaciones simultáneas:

- \* a → b en la cámara ABCD;
- \* b → c en la cámara Evap-CT';
- \*  $d_{vs}$  → e en el conjunto CT-Cond.

**[0043]** La presurización de  $G_T$  a partir de la baja presión  $P_b$  hasta la alta presión  $P_h$  en ABCD debe realizarse antes de su introducción en el evaporador, que siempre está a alta presión  $P_h$ . Por lo tanto, sólo en el instante  $t\beta$  se abre la electroválvula  $EV_4$  (que puede ser sustituida con una válvula de retención) entre ABCD y Evap. Esto requiere tener una reserva de  $G_T$  en estado líquido en el evaporador al principio de esta fase, reserva que se recompone al final de esta etapa.

**[0044]** Desde el punto de vista energético, durante esta fase  $\alpha\beta\gamma$ , el calor  $Q_h$  fue consumido en el evaporador a  $T_h$ , el calor  $Q_{de}$  fue liberado en el condensador a  $T_b$  ( $T_b < T_h$ ) y un trabajo neto  $W_{\alpha\beta\gamma}$  neto también fue suministrado en el exterior.

Fase  $\gamma\delta$  (entre los instantes  $t_\gamma$  y  $t_\delta$ )

**[0045]** En el instante  $t_\gamma$ , es decir, cuando el nivel de  $L_T$  ha alcanzado los valores predefinidos (I en CT, J en CT' y H en ABCD),  $EV_2$ ,  $EV_b$  y  $EV_h'$  se dejan abiertos y se abren las electroválvulas  $EV_3$  y  $EV_r$ . Como resultado:

- 40 - El vapor de  $G_T$  contenido en CT' continúa expandiéndose, pero de una manera casi adiabática (transformación  $c \rightarrow d \rightarrow d_{vs}$  en el diagrama de Mollier, figura 3) y siempre descarga el líquido de transferencia  $L_T$  a través del motor MH al cilindro CT.  
 De hecho, esta transformación puede descomponerse en una expansión estrictamente adiabática ( $c \rightarrow d$ ) que termina según el fluido  $G_T$  en el dominio bifásico o en el vapor sobrecalentado, seguido de un ligero sobrecalentamiento ( $d \rightarrow d_{vs}$ ) por las paredes de CT' mantenidas a una temperatura suficiente para permitirlo (comprendida entre  $T_b$  y  $T_h$ ). La transformación  $d \rightarrow d_{vs}$  no es obligatoria; si al final de la expansión estrictamente adiabática ( $c \rightarrow d$ ) el fluido  $G_T$  se encuentra en el dominio bifásico, el líquido  $G_T$  será descargado parcialmente al final de esta fase  $\gamma\delta$  en el condensador.  
 - La cámara ABCD en comunicación con el condensador es llevada a baja presión y el líquido de transferencia  $L_T$  que contiene en su parte inferior fluye por gravedad hacia CT, que por lo tanto debe estar preferentemente por debajo de ABCD. Sin embargo, si la electroválvula  $EV_r$  se abre un poco antes que la electroválvula  $EV_3$  y si todavía hay un poco de  $G_T$  en estado líquido saturado en la parte superior de ABCD, entonces la despresurización de  $L_T$  cuando se comunica con CT induce una vaporización parcial o total de dicho resto de  $G_T$  líquido inicialmente a alta presión  $P_h$ . En estas condiciones, la presión aguas arriba de  $EV_r$  puede ser suficiente durante toda la duración de la transferencia de  $L_T$  para compensar la altura de la columna de líquido y la cámara ABCD no está necesariamente por encima de las cámaras CT y CT'.  
 - Debido al aumento del nivel de  $L_T$  (de I a H) en CT, el resto de los vapores de  $G_T$  en CT se condensa en Cond (transformación  $e \rightarrow a$ ).  
 - Todos los condensados (los acumulados en la fase anterior y los de la presente fase) se encuentran en ABCD.

**[0046]** Desde el punto de vista energético, durante esta fase  $\gamma\delta$ , el calor  $Q_{ea}$  se libera en el condensador a  $T_b$ , un poco de calor (tomado de la fuente caliente a  $T_h$ ) se consume posiblemente a nivel de CT' para asegurar el sobrecalentamiento  $d \rightarrow d_{vs}$  y un trabajo  $W_{\beta\gamma}$  también se suministra al exterior.

**[0047]** La segunda parte del ciclo es simétrica: el evaporador, el condensador y ABCD son el asiento de las

mismas transformaciones sucesivas, mientras que las funciones de las cámaras CT y CT' están invertidas.

Fase  $\delta\epsilon\lambda$  (entre los instantes  $t_\delta$  y  $t_\lambda$ ):

5 **[0048]** Es equivalente a la fase  $\alpha\beta\gamma$  pero con inversión de las cámaras de transferencia CT y CT'.

Fase  $\lambda\alpha$  (entre los instantes  $t_\lambda$  y  $t_\alpha$ ):

10 **[0049]** Es equivalente a la fase  $\gamma\delta$  pero con inversión de las cámaras de transferencia CT y CT'.

**[0050]** Al final de la fase  $\lambda\alpha$ , la máquina de Carnot modificada motriz de 2º tipo se encuentra en el estado  $\alpha$  del ciclo descrito anteriormente. Las diversas transformaciones termodinámicas seguidas por el fluido  $G_T$  (con la transformación  $d \rightarrow d_{vs}$  considerada como opcional) y los niveles del líquido de transferencia  $L_T$  se resumen en la tabla 1. El estado de los accionadores (electroválvulas y embrague de la bomba PHA<sub>2</sub>) se resume en la tabla 2, en la que x  
15 significa que la electroválvula correspondiente está abierta o que la bomba PHA<sub>2</sub> está embragada.

**Tabla 1**

Etapa	Transformación	Lugar	Nivel de LT		
			CT	CT'	ABCD
$\alpha\beta\gamma$	$a \rightarrow b$	ABCD	B → I	H → J	B → H
	$b \rightarrow c$	Evap + CT'			
	$d \text{ o } d_{vs} \rightarrow e$	CT + Cond			
$\gamma\delta$	$c \rightarrow d \text{ o } d_{vs}$	CT'	I → H	J → B	H → B
	$e \rightarrow a$	CT + Cond + ABCD			
$\delta\epsilon\lambda$	$a \rightarrow b$	ABCD	H → J	B → I	B → H
	$b \rightarrow c$	Evap + CT			
	$d \text{ o } d_{vs} \rightarrow e$	CT' + Cond			
$\lambda\alpha$	$c \rightarrow d \text{ o } d_{vs}$	CT	J → B	I → H	H → B
	$e \rightarrow a$	CT + Cond + ABCD			

20

**Tabla 2**

Etapa	EV <sub>1</sub>	EV <sub>1'</sub>	EV <sub>2</sub>	EV <sub>2'</sub>	EV <sub>3</sub>	EV <sub>4</sub>	EV <sub>b</sub>	EV <sub>h</sub>	EV <sub>b'</sub>	EV <sub>h'</sub>	EV <sub>r</sub>	PHA <sub>2</sub>
$\alpha\beta\gamma$		x	x			x (en $t_\beta$ )	x			x		x
$\gamma\delta$			x		x		x			x	x	
$\delta\epsilon\lambda$	x			x	x	x (en $t_\epsilon$ )		x	x			x
$\lambda\alpha$				x	x			x	x		x	

**[0051]** La producción de trabajo es continua durante toda la duración del ciclo, pero no con potencia constante, ya sea porque la diferencia de presión a través del motor hidráulico varía, o porque una parte, variable en el tiempo, de este trabajo es recuperada por la bomba hidráulica auxiliar PHA<sub>2</sub>. Esto no supone un problema si el trabajo proporcionado en el exterior sirve directamente para una máquina receptora que no necesita ser constante en el interior del ciclo, tal como una bomba de agua o una máquina de Carnot modificada receptora. Por supuesto, la potencia media de un ciclo permanece constante de un ciclo a otro, cuando se alcanza un régimen permanente de funcionamiento y si las temperaturas  $T_h$  y  $T_b$  permanecen constantes.

30 **[0052]** Además, el evaporador está aislado del resto del circuito durante las fases  $\gamma\delta$  y  $\lambda\alpha$ , mientras que el aporte térmico de la fuente caliente a  $T_h$  es *a priori* continuo. En estas condiciones, durante estas fases de aislamiento se producirá un aumento de la temperatura y, por tanto, de la presión en el evaporador y, a continuación, una caída repentina en los instantes  $t_\alpha$  y  $t_\delta$  de reapertura de las válvulas EV<sub>1</sub> o EV<sub>1'</sub>.

35 **[0053]** En una implementación preferida del procedimiento de invención, se tiene en cuenta que el líquido de transferencia  $L_T$  es incompresible, y que las variaciones de nivel que ocurren simultáneamente en las tres cámaras ABCD, CT y CT' no son, por tanto, independientes. Además, estas variaciones en el nivel de  $L_T$  son el resultado o implican variaciones concomitantes en el volumen del fluido  $G_T$ . Esto se traduce por la siguiente ecuación entre los

volúmenes máxicos de  $G_T$  en diferentes puntos del ciclo:

$$V_e - V_a = V_{dvs} - V_c \quad (\text{ec. 1})$$

5 siendo  $v_i$  el volumen máxico de  $G_T$  en el estado termodinámico del punto "i", siendo "i" respectivamente e, a,  $d_{vs}$  y c.

**[0054]** La figura 4 representa los diagramas de Mollier para tres ciclos de Carnot modificados motores del 2º tipo, a saber, los ciclos a"-b"-c"- $d_{vs}$ -e"-a", a'-b'-c'- $d_{vs}$ -e'-a' et a-b-c- $d_{vs}$ -a. Estos tres ciclos tienen la misma temperatura  $T_b$  de  $G_T$  en el condensador y temperaturas crecientes de  $G_T$  en el evaporador, respectivamente a  $T''_h$ ,  $T'_h$  y  $T_h$ . En esta figura, las curvas de trazo mixto son curvas con volumen máxico constante.

**[0055]** Cuando las temperaturas del condensador y del evaporador están muy cerca (o incluso fusionan), el punto -e- en el diagrama de Mollier está cerca del punto -a- (o incluso fusiona con) como se representa esquemáticamente con el ciclo a"-b"-c"- $d_{vs}$ -e"-a". A medida que aumenta la diferencia de temperatura entre el disipador y la fuente de calor, el punto -e- se aleja del punto -a- y se acerca al punto - $d_{vs}$ -. El ciclo a'-b'-c'- $d_{vs}$ -e'-a' representa un caso intermedio y el ciclo a-b-c- $d_{vs}$ -a representa el caso extremo en el que se fusionan los puntos -e- y - $d_{vs}$ -. Como el rendimiento del ciclo de Carnot modificado aumenta con la diferencia de temperatura entre el disipador y la fuente de calor, el ciclo a-b-c- $d_{vs}$ -a es preferible siempre que se disponga de una fuente de calor a la temperatura  $T_h$  suficiente para una temperatura del disipador  $T_b$  fija.

15  
20

**[0056]** En este caso preferido (en el que  $v_e = v_{dvs}$ ), la ecuación (ec. 1) se reduce a  $v_c = v_a$  como se representa en la figura 4. Además, las etapas descritas en la configuración general del procedimiento de implementación de la máquina de Carnot modificada del 2º tipo se simplifican ya que la transformación  $d_{vs}$ (o d)  $\rightarrow$  e ha dejado de ser válida.

25 **[0057]** Así, la diferencia de temperatura ( $T_h - T_b$ ) entre las dos transformaciones isotérmicas del ciclo de Carnot modificado motor no puede superar un determinado valor  $AT_{m\acute{a}x}$ , en función de una de las temperaturas ( $T_h$  o  $T_b$ ) y del fluido de trabajo elegido  $G_T$ . Sin embargo, los rendimientos de la máquina de Carnot modificada dependen en particular de este valor  $AT_{m\acute{a}x}$ . Para obtener el máximo rendimiento con un fluido  $G_T$  dado y una temperatura  $T_h$  o  $T_b$  determinada, es necesario elegir las otras condiciones de funcionamiento de forma que la relación  $v_a/v_c$  sea lo más cercana posible a 1 (por valor inferior), o de manera preferente  $0,9 \leq v_a/v_c \leq 1$  y más concretamente  $0,95 \leq v_a/v_c \leq 1$ .

30

**[0058]** Las diversas transformaciones termodinámicas de esta realización preferida se resumen en la tabla 3, y el estado de los accionadores (electroválvulas y embrague de la bomba PHA<sub>2</sub>) está resumido en la tabla 4, en la que x significa que la electroválvula correspondiente está abierta o que la bomba PHA<sub>2</sub> está embragada.

35

**Tabla 3**

Etapas	Transformación	Lugar	Nivel de LT		
			CT	CT'	ABCD
$\alpha\beta\gamma$	a $\rightarrow$ b	ABCD	B	H $\rightarrow$ J	B $\rightarrow$ H
	b $\rightarrow$ c	Evap + CT'			
$\gamma\delta$	c $\rightarrow$ d o $d_{vs}$	CT'	B $\rightarrow$ H	J $\rightarrow$ B	H $\rightarrow$ B
	d o $d_{vs}$ $\rightarrow$ a	CT + Cond + ABCD			
$\delta\epsilon\lambda$	a $\rightarrow$ b	ABCD	H $\rightarrow$ J	B	B $\rightarrow$ H
	b $\rightarrow$ c	Evap + CT			
$\lambda\alpha$	c $\rightarrow$ d o $d_{vs}$	CT	J $\rightarrow$ B	B $\rightarrow$ H	H $\rightarrow$ B
	d o $d_{vs}$ $\rightarrow$ a	CT + Cond + ABCD			

**Tabla 4**

Etapas	EV <sub>1</sub>	EV <sub>1'</sub>	EV <sub>2</sub>	EV <sub>2'</sub>	EV <sub>3</sub>	EV <sub>4</sub>	EV <sub>b</sub>	EV <sub>h</sub>	EV <sub>b'</sub>	EV <sub>h'</sub>	EV <sub>r</sub>	PHA2
$\alpha\beta\gamma$		x				x (en t $\beta$ )				x		x
$\gamma\delta$			x		x		x			x	x	
$\delta\epsilon\lambda$	x					x (en t $\epsilon$ )		x				x
$\lambda\alpha$				x	x			x	x		x	

40

**[0059]** Las etapas del ciclo de Carnot modificado motor de 2º tipo en la configuración preferida se detallan a continuación, en la medida que difieren de las descritas anteriormente para la configuración general.

**[0060]** A partir de un estado inicial en el que, por una parte, el fluido de trabajo  $G_T$  se mantiene en el evaporador  
5 Evap a alta temperatura y en el condensador Cond a baja temperatura por intercambio de calor respectivamente con la fuente caliente a  $T_h$  y el disipador de frío a  $T_b < T_h$  y, por otra parte, se obturan todos los circuitos de comunicación de  $G_T$  y del líquido de transferencia  $L_T$ , el fluido de trabajo  $G_T$  se somete a una sucesión de ciclos que comprenden las siguientes etapas:

10 Fase  $\alpha\beta\gamma$  (entre los instantes  $t_\alpha$  y  $t_\gamma$ ):

**[0061]** En el instante  $t_\alpha$ , la abertura de las electroválvulas  $EV_{1'}$ , y  $EV_{h'b}$  y el embrague de PHA<sub>2</sub> provocan los siguientes fenómenos:

15 - El vapor saturado de  $G_T$  que sale del evaporador en  $P_h$ , penetra en CT' y descarga el líquido de transferencia  $L_T$  en un nivel intermedio (indicado J).  $L_T$  pasa a través del motor MH a medida que se expande, produciendo trabajo, parte del cual es recuperado por la bomba PHA<sub>2</sub>.  
- Después de ser expandido por MH, el líquido de transferencia  $L_T$  es aspirado por la bomba PHA<sub>2</sub> y descargado a una presión más alta a ABCD, lo que permite que la mezcla líquida/vapor de  $G_T$  contenida en esta cámara sea comprimida  
20 de forma isoentrópica.

**[0062]** En el diagrama de Mollier (figura 4), esta etapa corresponde con las siguientes transformaciones simultáneas:

25 a  $\rightarrow$  b en la cámara ABCD;  
b  $\rightarrow$  c en la cámara Evap-CT'.

**[0063]** La presurización de  $P_b$  a  $P_h$  de  $G_T$  en ABCD debe realizarse antes de su introducción en el evaporador que está siempre a alta presión  $P_h$ . Por lo tanto, sólo en el instante  $t_\beta$  se abre la electroválvula  $EV_4$  (que puede ser  
30 sustituida con una válvula de retención) entre ABCD y Evap.

**[0064]** Desde el punto de vista energético, durante esta fase  $\alpha\beta\gamma$ , el calor  $Q_h$  fue consumido en el evaporador en  $\dot{a} T_h$  y un trabajo  $W_{\alpha\beta\gamma}$  neto también se suministra al exterior.

35 Fase  $\gamma\delta$  (entre los instantes  $t_\gamma$  y  $t_\delta$ ):

**[0065]** En el instante  $t_\gamma$ , es decir, cuando el nivel de  $L_T$  ha alcanzado los valores predefinidos (J en CT' y H en ABCD),  $EV_{1'}$  y  $EV_4$  se cierran, se deja abierta  $EV_{h'}$  y se abren las electroválvulas  $EV_2$ ,  $EV_3$ ,  $EV_b$  y  $EV_r$ . Como resultado:

40 - El vapor de  $G_T$  contenido en CT' continúa expandiéndose, pero de una manera adiabática o casi adiabática, es decir, según la transformación c  $\rightarrow$  d (seguido posiblemente de d  $\rightarrow$   $d_{vs}$ ) y descarga el líquido de transferencia  $L_T$  a través del motor MH al cilindro CT.

Esta transformación puede descomponerse en una expansión estrictamente adiabática (c  $\rightarrow$  d) que termina según el fluido  $G_T$  en el dominio bifásico o en el vapor sobrecalentado, seguido de un ligero sobrecalentamiento (d  $\rightarrow$   $d_{vs}$ ) por  
45 las paredes de CT' mantenidas a una temperatura suficiente para permitirlo (comprendida entre  $T_b$  y  $T_h$ ).

- La cámara ABCD en comunicación con el condensador es llevada a baja presión y el líquido de transferencia  $L_T$  que contiene en su parte inferior fluye por gravedad hacia CT, que por lo tanto debe estar preferentemente por debajo de ABCD. Sin embargo, si la electroválvula  $EV_r$  se abre un poco antes que la electroválvula  $EV_3$  y si todavía hay un poco de  $G_T$  en estado líquido saturado en la parte superior de ABCD, entonces la despresurización de  $L_T$  cuando se  
50 comunica con CT induce una vaporización parcial o total de dicho resto de  $G_T$  líquido inicialmente a alta presión  $P_h$ . En estas condiciones, la presión aguas arriba de  $EV_r$  puede ser suficiente para toda la duración de la transferencia de  $L_T$  para compensar la altura de la columna de líquido y la cámara ABCD no está necesariamente por encima de las cámaras CT y CT'.

- Debido al aumento del nivel de  $L_T$  (de B H) en CT, los vapores de  $G_T$  contenidos en CT se condensan en el  
55 condensador Cond (transformación d o  $d_{vs} \rightarrow$  a).

- Los condensados no se acumula en Cond puesto que fluyen por gravedad hacia la cámara ABCD.

**[0066]** Desde el punto de vista energético, durante esta fase  $\gamma\delta$ , el calor  $Q_{da}$  se libera en el condensador a  $T_b$ , un poco de calor (tomado de la fuente caliente a  $T_h$ ) se consume posiblemente a nivel de CT' para asegurar el  
60 sobrecalentamiento d  $\rightarrow$   $d_{vs}$  y un trabajo  $W_{\gamma\delta}$  también se suministra al exterior.

**[0067]** Como en el caso general de implementación del procedimiento de la invención en una máquina de Carnot modificada motriz del 2º tipo, la otra mitad del ciclo es simétrica:

65 - la fase  $\delta\epsilon\lambda$  (entre los instantes  $t_\delta$  y  $t_\lambda$ ) es equivalente a la fase  $\alpha\beta\gamma$  pero con inversión de las cámaras de transferencia

CT y CT'.

- la fase  $\lambda\alpha$  (entre los instantes  $t_\lambda$  y  $t_\alpha$ ) es equivalente a la fase  $\gamma\delta$  pero con inversión de las cámaras de transferencia CT y CT'.

5 **[0068]** Más particularmente:

- en el instante  $t_\delta$ , se cierran todos los circuitos abiertos en el instante  $t_\gamma$ , se abre el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT (por  $EV_1$ ), se abre el circuito de  $L_T$  entre CT y aguas arriba del motor hidráulico MH (por  $EV_h$ ), y se acciona la bomba auxiliar PHA<sub>2</sub>, de modo que:

10

\* el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a presión elevada  $P_h$ , penetra en CT y descarga  $L_T$  en un nivel intermedio J;

\*  $L_T$  pasa a través de MH mientras se expande, luego  $L_T$  es aspirado por PHA<sub>2</sub> y descargado en ABCD.

15 - en el instante  $t_\epsilon$ , se abre el circuito de  $G_T$  entre ABCD y Evap (por  $EV_4$ ) para que el fluido de trabajo  $G_T$  sea introducido en el evaporador en estado líquido;

- en el instante  $t_\lambda$ , se cierra el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT, por una parte, entre ABCD y Evap por otra parte, se detiene la bomba auxiliar PHA<sub>2</sub>, se abre el circuito de  $G_T$  entre Cond y ABCD (por  $EV_3$ ) por una parte, entre CT' y Cond (por  $EV_2'$  por otra parte, y se abre el circuito de  $L_T$  entre CT' y ABCD (por  $EV_r$  et  $EV_b'$ ), de manera que:

20

\* El vapor de  $G_T$  contenido en CT continúa expandiéndose, adiabáticamente, y descarga  $L_T$  en el nivel bajo en CT y luego a través de MH a CT'.

\* la cámara ABCD en comunicación con Cond se proporciona a baja presión y  $L_T$ , contenida en su parte inferior, fluye hacia CT';

25

\* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT' se condensan en Cond.

**[0069]** Después de varios ciclos, la instalación funciona en un régimen permanente en el que la fuente caliente suministra continuamente calor a la temperatura  $T_h$  en el evaporador Evap, el calor es suministrado continuamente por el condensador Cond al disipador de frío a la temperatura  $T_b$ , y el trabajo es suministrado continuamente por la máquina.

30

**[0070]** En este caso preferido del ciclo de Carnot modificado motor de 2º tipo, existe, para un fluido de trabajo dado y para cualquier temperatura del condensador  $T_b$ , un valor máximo de la temperatura  $T_{h-m\acute{a}x}$  del evaporador de tal manera que se verifica la igualdad de los volúmenes máscicos  $v_c$  y  $v_a$ . Sin embargo, si se dispone de una fuente de calor a una temperatura  $T_h$  muy superior a  $T_{h-m\acute{a}x}$ , es posible a priori tener un mejor rendimiento de la máquina, ya sea conectando en cascada dos máquinas de Carnot modificadas motrices en la instalación de la invención, o utilizando en la instalación una máquina de Carnot modificada motriz del 1º tipo.

35

**[0071]** En una máquina de Carnot modificada motriz del 1º tipo, el dispositivo de presurización/expansión situado entre el condensador Cond y el evaporador Evap comprende una bomba hidráulica auxiliar PHA<sub>1</sub> y una electroválvula  $EV_3$  en serie. La figura 5 es una representación esquemática del dispositivo. Los elementos idénticos a los de la máquina motriz del 2º tipo se designan con la misma referencia. La electroválvula  $EV_3$  puede ser sustituida con una simple válvula de retención, que a su vez, puede ser integrada en la bomba PHA<sub>1</sub>. El fluido de trabajo  $G_T$  en estado líquido saturado a la salida del condensador Cond es presurizado directamente por la bomba PHA<sub>1</sub> e introducido en el evaporador Evap.

40

45

**[0072]** En la figura 5 no se representa la posibilidad de aporte térmico a la temperatura  $T_i$  a los niveles de las cámaras CT y CT', pero sigue siendo posible como en la figura 2.

50

**[0073]** Las diferentes etapas del ciclo y el estado de los accionadores (electroválvulas y bomba PHA<sub>1</sub>) se detallan a continuación y se resumen en las tablas 5 y 6.

**Tabla 5**

Etapa	Transformación	Lugar	Nivel de LT	
			CT	CT'
$\alpha\beta$	$a \rightarrow b$	Entre Cond y Evap	B $\rightarrow$ I	H $\rightarrow$ J
	$b \rightarrow b_l \rightarrow c$	Evap + CT'		
	$d_{vs} \rightarrow e$	CT + Cond		
$\beta\gamma$	$c \rightarrow d_{vs}$	CT'	I $\rightarrow$ H	J $\rightarrow$ B
	$e \rightarrow a$	CT + Cond		

(continuación)

$\gamma\delta$	a → b	Entre Cond y Evap	H → J	B → I
	b → b <sub>l</sub> → c	Evap + CT		
	d <sub>vs</sub> → e	CT' + Cond		
$\delta\alpha$	c — d <sub>vs</sub>	CT	J → B	I → H
	e → a	CT' + Cond		

Tabla 6

Electroválvulas abiertas o bomba PHA <sub>1</sub> en marcha										
Etapa	EV <sub>1</sub>	EV <sub>1</sub> '	EV <sub>2</sub>	EV <sub>2</sub> '	EV <sub>3</sub>	EV <sub>b</sub>	EV <sub>b</sub>	EV <sub>b</sub> '	EV <sub>h</sub>	PHA <sub>1</sub>
$\alpha\beta$		x	x		x	x			x	x
$\beta\gamma$			x		x	x			x	x
$\gamma\delta$	x			X	x		x	x		x
$\delta\alpha$				X	x		x	x		x

5

**[0074]** Las etapas del ciclo de Carnot modificado motor del 1<sup>er</sup> tipo se describen a continuación para los puntos que difieren de lo que se ha descrito anteriormente para el ciclo de Carnot modificado motor del 2<sup>o</sup> tipo en su configuración general. El primer ciclo se realiza a partir de un estado inicial en el que el fluido de trabajo G<sub>T</sub> se mantiene en el evaporador Evap a alta temperatura y en el condensador Cond a baja temperatura por intercambio de calor respectivamente con la fuente caliente a T<sub>h</sub> y el disipador de frío a T<sub>b</sub>, y todos los circuitos de comunicación del fluido de trabajo G<sub>T</sub> y del líquido de transferencia L<sub>T</sub> están obturados. En el instante t<sub>0</sub> se activa la bomba hidráulica auxiliar PHA<sub>1</sub> y se abre (por EV<sub>3</sub>) el circuito de G<sub>T</sub> entre Cond y Evap, de manera que una parte de G<sub>T</sub>, en estado de líquido saturado o subenfriado es aspirado por PHA<sub>1</sub> en la parte inferior del condensador Cond, y descargado en el estado de líquido subenfriado en Evap, en el que se calienta, acto seguido G<sub>T</sub> es sometido a una sucesión de ciclos de Carnot modificados, cada uno de los cuales comprende las siguientes etapas:

Fase  $\alpha\beta$  (entre los instantes  $\alpha$  y t<sub>0</sub>):

**[0075]** En el instante inmediatamente anterior t<sub>α</sub>, el nivel de L<sub>T</sub> es bajo (indicado B) en el cilindro CT, y alto (indicado H) en el cilindro CT'. En el mismo instante, la presión de vapor de saturación G<sub>T</sub> tiene un valor bajo P<sub>b</sub> en CT, y un valor alto P<sub>h</sub> en Evap y CT'. Es este instante del ciclo el que se representa esquemáticamente en la figura 5.

**[0076]** En el instante t<sub>α</sub>, la abertura de las electroválvulas EV<sub>1</sub>', EV<sub>2</sub>, EV<sub>3</sub> EV<sub>h</sub>' y EV<sub>b</sub> y la puesta en marcha de PHA<sub>1</sub> provocan los siguientes fenómenos:

25

- El vapor saturado de G<sub>T</sub> que sale del evaporador en P<sub>h</sub>, penetra en CT' y descarga el líquido de transferencia L<sub>T</sub> en un nivel intermedio (indicado J). L<sub>T</sub> pasa a través del motor MH mientras se expande, lo que produce trabajo El trabajo requerido para PHA<sub>1</sub> es proporcionado por un motor eléctrico independiente, no representado.

30 **[0077]**

En una variante, la bomba PHA<sub>1</sub> puede conectarse al eje del motor hidráulico a través del embrague magnético EM, de modo que, durante esta etapa, una parte del trabajo suministrado por el motor hidráulico es recuperado por la bomba PHA<sub>1</sub>.

35

- Después de ser expandido por MH, el líquido de transferencia L<sub>T</sub> es descargado en CT. En CT, L<sub>T</sub> pasa del nivel bajo al nivel intermedio (indicado I), descarga los vapores de G<sub>T</sub> al condensador en el que se condensan. El fluido de trabajo G<sub>T</sub> en el estado líquido saturado es aspirado por la bomba PHA<sub>1</sub> y descargado a mayor presión a Evap, en el que entra en el estado líquido subenfriado.

40 **[0078]**

En el diagrama de Mollier (figura 6), esta etapa corresponde con las siguientes transformaciones simultáneas:

- a → b entre el condensador y el evaporador;
- b → b<sub>l</sub> → c en el conjunto Evap-CT';
- d<sub>vs</sub> → e en el conjunto CT-Cond.

45

**[0079]** Es preferible que la bomba hidráulica auxiliar PHA<sub>1</sub> no funcione y que la electroválvula EV<sub>3</sub> no se abra si no hay líquido G<sub>T</sub> aguas arriba de esta bomba. Como elemento de seguridad se puede instalar un sensor de nivel de líquido para detener la bomba y cerrar la electroválvula si es necesario. La evaporación de G<sub>T</sub> en Evap es continuamente compensada por los aportes de G<sub>T</sub> líquido procedente del condensador, de modo que el nivel de G<sub>T</sub> líquido en el evaporador es aproximadamente constante.

50

**[0080]** Desde el punto de vista energético, durante esta fase  $\alpha\beta$ , se consumió calor  $Q_h$  en el evaporador a  $T_h$ , se liberó calor  $Q_{de}$  en el condensador a  $T_b$  ( $T_b < T_h$ ) y también se suministró un trabajo  $W_{\alpha\beta}$  neto en el exterior, siendo dicho trabajo  $W_{\alpha\beta}$  la diferencia entre el trabajo proporcionado por el motor hidráulico MH y el consumido por la bomba 5 hidráulica auxiliar PHA<sub>1</sub>.

Fase  $\beta\gamma$  (entre los instantes  $t_\beta$  y  $t_\gamma$ ):

**[0081]** En el instante  $t_\beta$ , es decir, cuando el nivel de  $L_T$  ha alcanzado los valores predefinidos (I en CT, J en 10 CT'), se cierra la electroválvula  $EV_1'$ , se dejan abiertas las válvulas  $EV_2$ ,  $EV_3$ ,  $EV_b$  y  $EV_h'$  y la bomba PHA<sub>1</sub> en marcha (si  $G_T$  líquido está presente aguas arriba). Como resultado:

- El vapor de  $G_T$  contenido en CT' continúa expandiéndose, pero de una manera adiabática (transformación  $c \rightarrow d_{vs}$  en el diagrama de Mollier, figura 6) y siempre descarga el líquido de transferencia  $L_T$  a través del motor MH al cilindro 15 CT. En cuanto a la realización ilustrada por la figura 3, esta transformación puede descomponerse en una expansión estrictamente adiabática ( $c \rightarrow d$ ) que termina según el fluido  $G_T$  utilizado en el dominio bifásico o en el vapor sobrecalentado, seguido de un ligero sobrecalentamiento ( $d \rightarrow d_{vs}$ ) por las paredes de CT' mantenidas a una temperatura suficiente para permitirlo (comprendida entre  $T_b$  y  $T_h$ ).

- Debido al aumento del nivel de  $L_T$  (de I a H) en CT, el resto de los vapores de  $G_T$  en CT se condensa en Cond 20 (transformación  $e \rightarrow a$ ).

- Como en la etapa anterior, los condensados son aspirados por PHA<sub>1</sub> a medida que se acumulan en el fondo del condensador.

**[0082]** Desde el punto de vista energético, durante esta fase  $\beta\gamma$ , el calor  $Q_{ea}$  se libera en el condensador a  $T_b$ , 25 un poco de calor (tomado de la fuente caliente a  $T_h$ ) se consume posiblemente a nivel de CT' para asegurar el sobrecalentamiento  $d \rightarrow d_{vs}$  y un trabajo neto  $W_{\beta\gamma}$  también se suministra al exterior.

**[0083]** La otra mitad es simétrica: el evaporador y el condensador son el asiento de las mismas 30 transformaciones sucesivas, mientras que las funciones de las cámaras CT y CT' están invertidas.

Fases  $\gamma\delta$  (entre los instantes  $t_\gamma$  y  $t_\delta$ ) y  $\delta\alpha$  (entre los instantes  $t_\delta$  y  $t_\alpha$ ):

**[0084]** Son equivalentes respectivamente a la fase  $\alpha\beta$  y a la fase  $\beta\gamma$ , pero con inversión de las cámaras de 35 transferencia CT y CT'.

**[0085]** Más particularmente:

- en el instante  $t_\gamma$ , se cierran los circuitos abiertos en el instante  $t_\beta$ , excepto el que permite la transferencia de  $G_T$  entre 40 Cond y Evap (por  $EV_3$ ), se abre el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT (por  $EV_1$ ) por una parte, entre CT' y Cond (por  $EV_2'$ ) por otra parte, y se abre el circuito que permite la transferencia de  $L_T$  de CT a CT' pasando por el motor hidráulico MH (por  $EV_h$  et  $EV_b$ ), de modo que:

\*  $G_T$  se calienta y se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a presión elevada  $P_h$ , penetra en CT y descarga  $L_T$  en un nivel intermedio J;

45 \*  $L_T$  pasa a través de MH mientras se expande, luego  $L_T$  es descargado en CT' hasta el nivel intermedio I;

\* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT' y descargados por el líquido  $L_T$  se condensan en Cond;

\*  $G_T$  en el estado líquido saturado o subenfriado llega a la parte inferior del condensador Cond en el que es aspirado gradualmente por PHA<sub>1</sub>, luego descargado en el estado líquido subenfriado en Evap;

50 - en este instante  $t_\delta$ , se cierra el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT (es decir, cierre de  $EV_1$ ) de modo que:

\* El vapor de  $G_T$  contenido en CT continúa expandiéndose, adiabáticamente, y descarga  $L_T$  hasta un nivel bajo en CT y luego a través de MH a CT', en el que se alcanza el nivel alto;

\* el resto de los vapores de  $G_T$  contenidos en CT' y descargados por el líquido  $L_T$  se condensan en Cond;

55 \*  $G_T$  en el estado líquido saturado o subenfriado llega a la parte inferior del condensador Cond en el que es aspirado gradualmente por PHA<sub>1</sub>, y finalmente descargado en el estado líquido subenfriado en Evap.

**[0086]** Después de varios ciclos, la instalación funciona en un régimen permanente en el que la fuente caliente 60 suministra continuamente calor a alta temperatura  $T_h$  en el evaporador Evap, el calor es suministrado continuamente por el condensador Cond al disipador de frío a  $T_b$ , y el trabajo es suministrado continuamente por la máquina.

**[0087]** En esta configuración (llamada 1<sup>er</sup> tipo), la ecuación (1) que vincula los volúmenes máxicos de  $G_T$  en las diferentes etapas del ciclo es siempre válida, ya sea:

$$V_e - V_a = V_{dvs} - V_c \quad (\text{ec. 1})$$

**[0088]** Sin embargo, el volumen másico de  $G_T$  a la salida del condensador, es decir, en el estado líquido saturado (punto "a" en el diagrama de Mollier) es siempre muy inferior al de  $G_T$  a la salida del evaporador, es decir, en el estado de vapor saturado o sobrecalentado (punto "c" o "c<sub>vs</sub>" en el diagrama de Mollier) cualquiera que sea la diferencia de temperatura entre  $T_h$  y  $T_b$ . Por lo tanto, siempre se comprueba la siguiente doble desigualdad:

$$V_a < V_e < V_{dvs} \quad (\text{inec. 1})$$

10 **[0089]** El punto "e" está siempre comprendido entre los puntos "a" y "d<sub>vs</sub>" en el diagrama de Mollier y las temperaturas  $T_b$  y  $T_h$  pueden ajustarse de forma completamente independiente sin afectar por ello al funcionamiento de la máquina de Carnot modificada motriz del 1<sup>er</sup> tipo.

**[0090]** La máquina de Carnot modificada motriz de 1<sup>er</sup> tipo es más sencilla en su funcionamiento y comprende menos elementos constitutivos. Sin embargo, al igual que con el ciclo de Rankine, la transformación  $b \rightarrow b_1$  genera irreversibilidades significativas, lo que tiene un efecto adverso en el rendimiento del ciclo. Sin embargo, dado que el aumento de la diferencia ( $T_h - T_b$ ) tiene, por el contrario, un efecto positivo sobre este rendimiento, es posible, dependiendo de las condiciones termodinámicas y del fluido  $G_T$  elegidos, que el rendimiento de la máquina de Carnot modificada motriz de 1<sup>er</sup> tipo sea eventualmente superior al de la máquina de Carnot modificada motriz de 2<sup>o</sup> tipo, incluso en su configuración preferida.

**[0091]** Cuando el procedimiento de invención es una sucesión de ciclos de Carnot modificados receptores, la fuente de calor se encuentra a una temperatura  $T_b$  inferior a la temperatura  $T_h$  del disipador de calor. Cada ciclo está constituido por una sucesión de etapas durante las cuales hay un cambio en el volumen del fluido de trabajo  $G_T$ . Esta variación de volumen causa o es causada por un desplazamiento del líquido  $L_T$ . Así, durante algunas etapas, la instalación consume trabajo y lo restablece durante otras etapas, pero en el ciclo completo, hay un consumo neto de trabajo proporcionado por el entorno a través de una bomba hidráulica PH.

**[0092]** En una máquina de Carnot modificada receptora del 1<sup>er</sup> tipo, la etapa de expansión adiabática es isentálpica en lugar de isoentrópica. De hecho, el trabajo que probablemente se recuperará durante la expansión isoentrópica es bajo comparado con el trabajo involucrado durante las otras etapas del ciclo. La expansión isentálpica sólo requiere un simple dispositivo de expansión adiabática irreversible, el dispositivo de presurización o expansión puede ser un capilar o una válvula de expansión. En una máquina de Carnot modificada receptora del 2<sup>o</sup> tipo, es necesario que el dispositivo de presurización y expansión sea una botella de compresión/expansión adiabática ABCD y los medios de transferencia asociados. Así, en esta configuración preferida del 1<sup>er</sup> tipo, el coeficiente de rendimiento o amplificación de la máquina de Carnot modificada receptora se reducirá ligeramente (siendo superior a las máquinas equivalentes de la técnica anterior) pero con una simplificación significativa del procedimiento y un menor coste.

**[0093]** Cuando el procedimiento de invención es una sucesión de ciclos de Carnot modificados receptores, la fuente de calor se encuentra a una temperatura  $T_b$  inferior a la temperatura  $T_h$  del disipador de calor. Cada ciclo está constituido por una sucesión de etapas durante las cuales hay un cambio en el volumen del fluido de trabajo  $G_T$ . Esta variación de volumen causa o es causada por un desplazamiento del líquido  $L_T$ . Así, durante algunas etapas, la instalación consume trabajo y lo restablece durante otras etapas, pero en el ciclo completo, hay un consumo neto de trabajo proporcionado por el entorno a través de una bomba hidráulica PH.

**[0094]** La figura 7 representa una vista esquemática de una máquina de Carnot modificada receptora de 2<sup>o</sup> tipo, que comprende un evaporador Evap, un condensador Cond, una cámara de compresión/expansión isoentrópica ABCD, una bomba hidráulica PH y dos cámaras de transferencia CT y CT'. Estos diferentes elementos están conectados entre sí por un primer circuito que contiene exclusivamente el fluido de trabajo  $G_T$ , y un segundo circuito que contiene exclusivamente el líquido de transferencia  $L_T$ . Dichos circuitos comprenden diferentes ramas que pueden obtenerse mediante medios controlados o no. En la realización representada en la figura 7, las válvulas controladas son electroválvulas de dos vías. Sin embargo, se pueden utilizar otros tipos de válvulas controladas, como las válvulas neumáticas, las válvulas de compuerta o las válvulas de retención. Algunos pares de válvulas de dos vías (es decir, con una entrada y una salida) pueden sustituirse con válvulas de tres vías (una entrada, dos salidas o dos entradas y una salida). Otras combinaciones posibles de válvulas están al alcance del experto en la materia.

**[0095]** El evaporador Evap y el condensador Cond contienen exclusivamente el fluido  $G_T$ , que generalmente se encuentra en estado de mezcla líquido/vapor. Sin embargo, dependiendo del fluido de trabajo  $G_T$  y de la temperatura  $T_h$  del disipador de calor, dicho fluido de trabajo  $G_T$  puede encontrarse en el dominio supercrítico a  $T_h$  y bajo estas condiciones el condensador Cond contiene sólo  $G_T$  en estado gaseoso.

- [0096]** La bomba PH pasa exclusivamente por el líquido  $L_T$ . Los elementos ABCD, CT y CT' son las interfaces entre los dos circuitos ( $G_T$  y  $L_T$ ). Contienen el fluido hidráulico de transferencia  $L_T$  en la parte inferior y/o el fluido de trabajo  $G_T$  en estado líquido, vapor o mezcla líquido-vapor en la parte superior. ABCD se conecta a Cond y Evap mediante circuitos que contienen  $G_T$  y pueden obturarse mediante electroválvulas  $EV_3$  y  $EV_4$  respectivamente. Evap se conecta a CT y CT' por circuitos que contienen  $G_T$  y pueden obturarse mediante electroválvulas  $EV_1$  y  $EV_1'$  respectivamente. Cond se conecta a CT y CT' por circuitos que contienen  $G_T$  y pueden obturarse mediante electroválvulas  $EV_2$  y  $EV_2'$  respectivamente.
- [0097]** Generalmente, el líquido que pasa a través de una bomba hidráulica siempre fluye en la misma dirección. Es la opción más común que se representa en la figura 7. Esto implica que el líquido de transferencia  $L_T$  a baja presión siempre está conectado a la bomba PH en la misma entrada (a la izquierda en la figura 7) y que el líquido de transferencia  $L_T$  a alta presión siempre está conectado a la bomba PH en la misma salida (a la derecha en la figura 7). Dado que las cámaras CT y CT' están alternativamente a alta presión y a baja presión, un conjunto de electroválvulas permite conectarlas a las entradas/salidas adecuadas de la bomba PH. Así, la bomba PH se conecta a la entrada (o aguas arriba) al CT y CT' por un circuito que contiene  $L_T$  a baja presión y puede ser obturada por las electroválvulas  $EV_b$  y  $EV_b'$ , respectivamente, a la salida (o aguas abajo) al CT y CT' por un circuito que contiene  $L_T$  a alta presión y puede ser obturado por las electroválvulas  $EV_h$  y  $EV_h'$ , respectivamente. Por ejemplo, si la alta presión se encuentra en la cámara CT' y la baja presión en CT; las electroválvulas  $EV_h'$  y  $EV_b$  están abiertas y las electroválvulas  $EV_h$  y  $EV_b'$  están cerradas; el líquido de transferencia fluye a través de PH de izquierda a derecha. Durante la otra mitad del ciclo, la alta presión está en CT y la baja presión en CT', y las electroválvulas  $EV_h'$  y  $EV_b$  están cerradas y las electroválvulas  $EV_h$  y  $EV_b'$  están abiertas, pero el líquido de transferencia atraviesa la bomba hidráulica en la misma dirección (de izquierda a derecha).
- [0098]** ABCD está conectado en su parte inferior por dos ramas paralelas del circuito que contiene el líquido de transferencia  $L_T$ . La rama que puede obturarse con la electroválvula  $EV_i$  se conecta al circuito a alta presión de  $L_T$ , y la rama que puede obturarse con la electroválvula  $EV_r$  se conecta al circuito a baja presión. Cuando  $L_T$  circula de ABCD a la cámara de transferencia CT o CT', fluye por gravedad y, por lo tanto, es necesario que ABCD se encuentre por encima de las cámaras CT y CT'.
- [0099]** El eje de la bomba hidráulica PH debe estar conectado a uno o varios dispositivos de motor (es decir, que proporcionen trabajo) directamente o a través de un acoplamiento convencional, como por ejemplo un cardán, una correa o un embrague (magnético o mecánico). Por ejemplo, en la figura 7, el eje AX está conectado a un motor eléctrico ME a través de un embrague magnético  $EM_1$ , mientras que otro embrague magnético  $EM_2$  permite el acoplamiento a otros motores como una turbina hidráulica, un motor de gasolina o diésel, un motor de gas o una máquina de Carnot modificada motriz. Finalmente, si es necesario, también se puede montar un volante de inercia en este eje para facilitar la secuencia de las etapas receptoras y motrices del ciclo.
- [0100]** El ciclo de Carnot modificado receptor seguido del fluido motor  $G_T$  se describe en el diagrama de Mollier representado en la Figura 8.
- [0101]** Dependiendo del fluido  $G_T$  retenido, la etapa de compresión isoentrópica del vapor saturado a la salida del evaporador puede llevar a una mezcla bifásica o a un vapor sobrecalentado. En la figura 8, el 1<sup>er</sup> caso (mezcla bifásica, bastante rara) está representado por la trayectoria entre los puntos "1" y "2" discontinuos y el 2<sup>o</sup> caso (vapor sobrecalentado) está representado por la trayectoria entre los puntos "1" y "2<sub>vs</sub>" continuos. Además, independientemente de  $G_T$ , el vapor a la salida del evaporador puede sobrecalentarse ligeramente, de modo que después de la compresión isoentrópica sólo hay vapor sobrecalentado o vapor en el límite saturado. Este 3<sup>er</sup> caso está representado en la figura 8 por la trayectoria entre los puntos "1<sub>vs</sub>" y "2<sub>vs</sub>" de trazo mixto. Cualquier incursión al principio o al final de la compresión isoentrópica en el dominio del vapor sobrecalentado genera irreversibilidades y por lo tanto induce una ligera disminución en los coeficientes de rendimiento o de amplificación del ciclo. En cuanto a la máquina de Carnot modificada motriz, es posible realizar un sobrecalentamiento de  $G_T$  a la entrada de la compresión isoentrópica, pero esto es de poco interés (evitar cualquier presencia de  $G_T$  líquido en las cámaras CT o CT') y sólo en el caso de que dicha compresión isoentrópica termine en el dominio bifásico. Las soluciones técnicas para lograr este sobrecalentamiento son las mismas que para la máquina motriz (resistencia eléctrica, intercambio con la fuente de calor a  $T_h, \dots$ ) y no se representan en la figura 7.
- [0102]** El dispositivo de introducción del fluido de trabajo  $G_T$  en el evaporador se adapta para que  $G_T$  se introduzca en el estado líquido en el evaporador pero después de que el líquido saturado (punto 3 del diagrama de Mollier, figura 8) se haya expandido, ocupando así más volumen y con un cielo gaseoso sobre el líquido restante (punto 4 del diagrama de Mollier, figura 8). Una solución, entre otras posibles, consiste en introducir un tubo de aspiración flexible con su extremo de succión fijado a un flotador en ABCD y justo debajo de la línea de flotación. La cámara ABCD debe colocarse por encima del nivel de líquido de  $G_T$  en el evaporador (como se representa en la figura 7) y por encima de CT y CT' de modo que la evacuación, ya sea de  $G_T$  líquido como de  $L_T$  en un depósito u otro pueda realizarse por gravedad.
- [0103]** El ciclo de Carnot modificado receptor está constituido por 4 fases sucesivas que comienzan

respectivamente en los instantes  $t_\alpha$ ,  $t_\gamma$ ,  $t_\beta$  y  $t_\lambda$ . Sólo se describe a continuación el ciclo 1-2<sub>vs</sub>-3-4-5-1 ya que la variante con el punto "1<sub>vs</sub>" no realiza ninguna modificación de principio.

- [0104]** A partir de un estado inicial en el que todos los circuitos de comunicación del fluido de trabajo  $G_T$  y del líquido de transferencia  $L_T$  están obturados, se acciona la bomba hidráulica PH, y luego el  $G_T$  es sometido a una sucesión de ciclos de Carnot modificados, cada uno de los cuales comprende las siguientes etapas:

Fase  $\alpha\beta\gamma$

- 10 **[0105]** En el instante inmediatamente anterior  $t_\alpha$ , el nivel de  $L_T$  es alto (indicado H) en ABCD y en el cilindro CT, y bajo (indicado B) en el cilindro CT'. En el mismo instante, la presión de vapor de saturación  $G_T$  tiene un valor alto  $P_h$  en ABCD, Cond y CT, y un valor bajo  $P_b$  en Evap y CT'. Es este instante del ciclo el que se representa esquemáticamente en la configuración de la figura 7.

- 15 **[0106]** En el instante  $t_\alpha$ , las electroválvulas  $EV_r$ ,  $EV_b$  y  $EV_h'$  están abiertas. La expansión isoentrópica de  $G_T$  en el estado de mezcla líquido/vapor (pero casi sin contenido másico de vapor) en ABCD descarga  $L_T$  a través de PH. Al mismo tiempo, la cantidad muy pequeña de vapor saturado y el líquido de transferencia  $L_T$  contenidos en CT siguen la misma evolución de presión que, dada la pequeña cantidad de vapor, no se acompaña de una variación significativa en el nivel de  $L_T$  en CT. El líquido de transferencia  $L_T$  aguas debajo de PH comprime isoentrópicamente los vapores de  $G_T$  contenidos en CT'. Las presiones aguas arriba y aguas abajo de la bomba PH están equilibradas en el instante  $t_\beta$ . Entre  $t_\alpha$  y  $t_\beta$  no existe teóricamente ningún consumo neto de trabajo proporcionado por la bomba PH. La duración  $t_\beta - t_\alpha$  es corta puesto que no hay transferencia de calor durante esta etapa.

- 25 **[0107]** En el instante  $t_\beta$ , las electroválvulas  $EV_1$  y  $EV_4$  están abiertas. Las consecuencias son:  
 - después de la abertura de  $EV_1$ , el vapor saturado de  $G_T$  que sale del evaporador a  $P_h$ , penetra en CT y descarga el líquido de transferencia  $L_T$  en un nivel intermedio (indicado J). Este líquido es aspirado y presurizado por la bomba PH, que consume el trabajo neto proporcionado por el exterior. A la salida de la bomba,  $L_T$  es descargado al cilindro CT' (hasta el nivel I), lo que permite terminar la compresión isoentrópica de  $G_T$  hasta la presión  $P_h$ .  
 30 - después de la abertura de  $EV_4$ , el fluido de trabajo  $G_T$  en el estado de líquido saturado y a baja presión  $P_b$  fluye por gravedad hacia el evaporador Evap, lo que compensa con creces en masa la salida de  $G_T$  gaseoso a CT.

**[0108]** Durante esta fase  $\alpha\beta\gamma$  se llevaron a cabo las siguientes transformaciones:

- 35 - la transformación 3  $\rightarrow$  4 en ABCD;  
 - la transformación 4  $\rightarrow$  5 en el conjunto Evap-CT;  
 - la transformación 1  $\rightarrow$  2<sub>vs</sub> en CT'. La compresión es isoentrópica y se asume que con el fluido  $G_T$  utilizado termina en el dominio de vapor sobrecalentado.

- 40 **[0109]** Desde el punto de vista energético, durante esta fase  $\alpha\beta\gamma$ , el calor  $Q_{45}$  fue bombeado al nivel del evaporador a  $T_b$  y un trabajo  $W_{\alpha\beta\gamma}$  también fue consumido por la bomba PH. Este trabajo se llevó a cabo desde el exterior con una potencia creciente a partir de  $t_\beta$ , ya que la presión aguas arriba de la bomba permanece casi constante ( $=P_b$ ) a partir de ese instante, mientras que la presión aguas abajo aumenta hasta  $P_h$ .

45 Fase  $\gamma\delta$

- [0110]** En el instante  $t_\gamma$ , es decir, cuando el nivel de  $L_T$  ha alcanzado los valores predefinidos (B en ABCD, J en CT e I en CT'),  $EV_1$ ,  $EV_b$  y  $EV_h'$  se dejan abiertas y se abren de manera simultánea las electroválvulas  $EV_2'$ ,  $EV_3$  y  $EV_i$ . Como resultado, el vapor de  $G_T$  sigue produciéndose en el evaporador, para expandirse en CT (transformación 5  $\rightarrow$  1), descargando siempre el líquido de transferencia aspirado por la bomba en el cilindro CT', esta vez conectado al condensador. Los vapores de  $G_T$  contenidos en CT' se desrecalientan (en parte en CT') y se condensan completamente en el condensador (transformación 2<sub>vs</sub>  $\rightarrow$  3) en el que no se acumulan ya que son evacuados por gravedad a ABCD. Mientras tanto, una parte del líquido de transferencia  $L_T$  a la salida de la bomba se descarga a ABCD para restablecer el alto nivel de  $L_T$ .

- 55 **[0111]** Desde el punto de vista energético, durante esta fase  $\alpha\beta$ , el calor  $Q_{51}$  es bombeado al nivel del evaporador a  $T_b$ , el calor  $Q_{23}$  es liberado al nivel del condensador a  $T_h$  (con  $T_h > T_b$ ), lo que requiere un trabajo  $W_{\gamma\delta}$  proporcionado por el exterior. Este trabajo tiene una potencia casi constante, ya que las presiones aguas arriba y aguas abajo de la bomba también son prácticamente constantes (con intercambiadores de calor no limitantes al nivel del condensador y del evaporador).  
 60

**[0112]** En el instante  $t_\delta$  se encuentra a la mitad del ciclo. La otra mitad es simétrica: el evaporador, el condensador y la cámara ABCD son el asiento de las mismas transformaciones sucesivas, mientras que las funciones de las cámaras CT y CT' están invertidas.

65

Fase  $\delta\epsilon\lambda$  (entre los instantes  $t_\delta$  y  $t_\lambda$ ) y fase  $\lambda\alpha$  (entre los instantes  $t_\lambda$  y  $t_\alpha$ )

**[0113]** Son equivalentes respectivamente a la fase  $\alpha\beta\gamma$  y a la fase  $\gamma\delta$ , pero con inversión de las cámaras de transferencia CT y CT'.

5

**[0114]** Más particularmente:

- en el instante  $t_\delta$ , se cierran todos los circuitos abiertos en el instante  $t_\gamma$ , se abren los circuitos de  $L_T$  que permiten la transferencia de  $L_T$  (por  $EV_r$ ) por una parte, desde la cámara ABCD aguas arriba de la bomba hidráulica PH, y por otra parte desde CT' a CT pasando por la bomba hidráulica PH (por  $EV_b'$  y  $EV_h$ ), de modo que:

10

\*  $G_T$  en el estado de equilibrio líquido/vapor en ABCD y en CT' se expande de presión alta  $P_h$  a la presión baja  $P_b$  y descarga  $L_T$  a través de PH en CT;

\* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT se comprimen adiabáticamente.

15

- en el instante  $t_\epsilon$ , el circuito de  $G_T$  se abre entre Evap y CT' (por  $EV_1'$ ), por una parte, y entre ABCD y Evap (por  $EV_4$ ) por otra parte, de modo que:

\*  $L_T$  es aspirado por la bomba PH que lo presuriza y lo descarga en CT;

20

\* los niveles de  $L_T$  en ABCD, CT y CT' pasan respectivamente de alto a bajo, de bajo a un nivel intermedio I, y de alto a un nivel intermedio J;

\* debido a que el volumen ocupado por los vapores de  $G_T$  en CT' aumenta,  $G_T$  se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a baja presión  $P_b$  penetra en CT';

\* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT siguen comprimiéndose adiabáticamente a alta presión  $P_h$ ;

25

\*  $G_T$  en el estado líquido saturado a baja presión  $P_b$  fluye por gravedad de ABCD a Evap;

- en el instante  $t_\lambda$ , el circuito de  $G_T$  entre ABCD y Evap (por  $EV_4$ ) está cerrado, el circuito de  $L_T$  entre ABCD y aguas arriba de la bomba PH (por  $EV_r$ ), está cerrado, se abre el circuito de  $G_T$  entre CT y Cond (por  $EV_2$ ) por una parte, entre Cond y ABCD (por  $EV_3$ ) por otra parte, y se abre el circuito de  $L_T$  aguas abajo de la bomba PH y ABCD por ( $EV_1$ ), de modo que:

30

\*  $L_T$  de nuevo es aspirado por la bomba PH que lo presuriza y lo descarga en CT;

\* los niveles de  $L_T$  en ABCD, CT y CT' pasan respectivamente de bajo a alto, del nivel intermedio I a alto, y del nivel intermedio J a bajo;

35

\* debido a que el volumen ocupado por los vapores de  $G_T$  en CT' continúa aumentando,  $G_T$  se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a baja presión  $P_b$  penetra en CT';

\* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT, a alta presión  $P_h$ , son descargados por  $L_T$  y condensados en Cond;

\*  $G_T$  en el estado líquido saturado fluye por gravedad de Cond a ABCD.

40

**[0115]** Después de varios ciclos, la instalación funciona en un régimen permanente.

**[0116]** Para la producción de frío, en el estado inicial,  $G_T$  se mantiene en el condensador Cond a alta temperatura por intercambio de calor con el disipador de calor a  $T_h$ , y en el evaporador Evap a una temperatura inferior o igual a  $T_h$  por intercambio de calor con un medio externo a la máquina, teniendo dicho medio inicialmente una temperatura  $T_h$ . En un régimen permanente, un trabajo neto es consumido por la bomba hidráulica PH, el condensador Cond evacua continuamente el calor al disipador de calor a alta temperatura  $T_h$ , y el calor es consumido continuamente por el evaporador Evap, con producción de frío al medio externo en contacto con dicho evaporador Evap, siendo la temperatura  $T_b$  de dicho medio externo estrictamente inferior a  $T_h$ .

45

**[0117]** Para la producción de calor, en el estado inicial,  $G_T$  se mantiene en el evaporador Evap a baja temperatura por intercambio de calor con la fuente de frío a  $T_b$ ,  $G_T$  se mantiene en el condensador Cond a una temperatura  $T_h \geq T_b$  por intercambio de calor con un medio externo a la máquina, teniendo dicho medio inicialmente una temperatura  $\geq T_h$ . En un régimen permanente, un trabajo neto es consumido por la bomba hidráulica PH, la fuente de frío a  $T_b$  aporta calor continuamente al evaporador Evap, el condensador Cond evacua continuamente el calor al disipador de calor, produciendo la instalación calor al medio exterior en contacto con dicho condensador Cond, teniendo el medio exterior una temperatura  $T_h > T_b$ .

50

55

**[0118]** Al final de la fase  $\lambda\alpha$ , la máquina de Carnot modificada receptora de 2º tipo se encuentra en el estado  $\alpha$  del ciclo. Las diversas transformaciones termodinámicas seguidas por el fluido  $G_T$  y los niveles del líquido de transferencia  $L_T$  se resumen en la tabla 7. El estado de las electroválvulas se resume en la tabla 8, en la que "x" significa que la válvula correspondiente está abierta.

60

**Tabla 7**

Etapa	Transformación	Lugar	Nivel de L <sub>T</sub>		
			CT	CT'	ABCD
αβγ	3 → 4	ABCD	H → J	B → I	H → B
	4 → 5	Evap + CT			
	1 → 2 <sub>vs</sub>	CT'			
γδ	5 → 1	Evap + CT	J → B	I → H	B → H
	2 <sub>vs</sub> → 3	CT + Cond + ABCD			
δελ	3 → 4	ABCD	B → I	H → J	H → B
	4 → 5	Evap + CT'			
	1 → 2 <sub>vs</sub>	CT			
λα	5 → 1	Evap + CT'	I → H	J → B	B → H
	2 <sub>vs</sub> → 3	CT + Cond + ABCD			

**Tabla 8**

Electroválvulas abiertas												
Etapa	EV <sub>1</sub>	EV <sub>1</sub> '	EV <sub>2</sub>	EV <sub>2</sub> '	EV <sub>3</sub>	EV <sub>4</sub>	EV <sub>b</sub>	EV <sub>h</sub>	EV <sub>b</sub> '	EV <sub>h</sub> '	EV <sub>r</sub>	EV <sub>i</sub>
αβγ	x (en t <sub>β</sub> )					x (en t <sub>β</sub> )	x			x	x	
γδ	x			x	x		x			x		x
δελ		x (en t <sub>ε</sub> )				x (en t <sub>ε</sub> )		x	x		x	
λα		x	x		x			x	x			x

5

**[0119]** El consumo de trabajo es continuo durante el ciclo (excepto entre los instantes t<sub>α</sub> y t<sub>β</sub>, por una parte, t<sub>ε</sub> y t<sub>ε</sub> por otra parte), pero no siempre con potencia constante ya que la diferencia de presión a través de la bomba hidráulica puede variar. Por supuesto, la potencia media de un ciclo permanece constante de un ciclo a otro, cuando se alcanza un régimen permanente de funcionamiento y si las temperaturas T<sub>h</sub> y T<sub>b</sub> permanecen constantes. Además, el condensador está aislado del resto del circuito durante las fases αβγ y δελ, mientras que la evacuación de calor al nivel del disipador de calor a T<sub>h</sub> es *a priori* continuo. En estas condiciones, durante estas fases de aislamiento se producirá una caída de la temperatura y, por tanto, de la presión en el condensador y, a continuación, un aumento repentino en los instantes t<sub>γ</sub> y t<sub>λ</sub> de reapertura de las válvulas EV<sub>2</sub> o EV<sub>2</sub>'.

10

15

**[0120]** Como el líquido de transferencia L<sub>T</sub> es incompresible, las variaciones de nivel que se producen simultáneamente en las tres cámaras ABCD, CT y CT' no son independientes. Además, estas variaciones en el nivel de L<sub>T</sub> son el resultado o implican variaciones concomitantes en el volumen del fluido G<sub>T</sub>. Esto se traduce por la siguiente ecuación entre los volúmenes máscos de G<sub>T</sub> en diferentes puntos del ciclo representado en la Figura 8:

20

$$V_5 - V_3 = V_1 - V_{2vs} \quad (\text{ec. 2})$$

siendo v<sub>i</sub> el volumen máscico de G<sub>T</sub> en el estado termodinámico del punto "i", siendo "i" respectivamente los puntos 5, 3, 1 y 2<sub>vs</sub>. Los ejemplos de una curva de volumen máscico constante se representan como un trazo mixto en la figura 8.

25

**[0121]** A diferencia del ciclo de Carnot modificado motor de 2º tipo, no hay límite a la diferencia de temperatura entre la fuente de frío a T<sub>b</sub> y el disipador de calor a T<sub>h</sub>. Dado que el volumen máscico en el punto "3" es siempre el más bajo del ciclo, siempre se tiene, independientemente de T<sub>h</sub> y T<sub>b</sub>, la siguiente doble desigualdad:

30

$$V_4 < V_3 < V_1 \quad (\text{inec. 2})$$

**[0122]** En una máquina de Carnot modificada receptora del 1<sup>er</sup> tipo, el dispositivo de presurización/expansión se interpone en serie entre el condensador Cond y el evaporador Evap, comprende un dispositivo de expansión simple como por ejemplo una válvula de expansión VD, o un capilar y posiblemente en serie una electroválvula EV<sub>3</sub>. Tal dispositivo se representa en la figura 9, en la que las leyendas tienen el mismo significado que las otras figuras, y la asociación VD y EV<sub>3</sub> constituye el dispositivo de expansión. El fluido de trabajo G<sub>T</sub> en el estado de líquido saturado a la salida del condensador Cond es expandido directamente e introducido en el evaporador Evap. Un ejemplo de un ciclo de Carnot modificado receptor del 1<sup>er</sup> tipo es representado esquemáticamente por el ciclo 1-2<sub>vs</sub>-2<sub>g</sub>-3-4-5-1 en el diagrama de Mollier en la figura 10.

10 **[0123]** Las diferentes etapas del ciclo y el estado de las electroválvulas se detallan a continuación y se resumen en las tablas 9 y 10. La electroválvula EV<sub>3</sub> no resulta imprescindible, ya que cuando la máquina está en funcionamiento siempre está abierta. Su único interés es poder aislar el condensador del evaporador cuando la máquina se detiene.

**Tabla 9**

Etapa	Transformación	Lugar	Nivel de LT	
			CT	CT'
αβ	3 → 4	Entre Cond y Evap	H → J	B → I
	4 → 5	Evap + CT		
	1 → 2 <sub>vs</sub>	CT'		
βγ	5 → 1	Evap + CT	J → B	I → H
	2 <sub>vs</sub> → 2 <sub>g</sub> → 3	CT' + Cond		
γδ	3 → 4	Entre Cond y Evap	B → I	H → J
	4 → 5	Evap + CT'		
	1 → 2 <sub>vs</sub>	CT		
δα	5 → 1	Evap + CT'	I → H	J → B
	2 <sub>vs</sub> → 2 <sub>g</sub> → 3	CT + Cond		

15

**Tabla 10**

Electroválvulas abiertas									
Etapa	EV <sub>1</sub>	EV <sub>1'</sub>	EV <sub>2'</sub>	EV <sub>2</sub>	EV <sub>3</sub>	EV <sub>b</sub>	EV <sub>h</sub>	EV <sub>b'</sub>	EV <sub>h'</sub>
αβ	x				x	x			x
βγ	x			x	x	x			x
γδ		x			x		x	x	
δα		x	x		x		x	x	

20 **[0124]** Las etapas del ciclo de Carnot modificado receptor del 1<sup>er</sup> tipo se detallan a continuación en la medida en que difieren de las descritas anteriormente para el ciclo de Carnot modificado receptor del 2<sup>o</sup> tipo.

**[0125]** A partir de un estado inicial en el que todos los circuitos de comunicación del fluido de trabajo G<sub>T</sub> y del líquido de transferencia L<sub>T</sub> están obturados, el instante t<sub>0</sub>, se acciona la bomba hidráulica PH, y luego se abre el circuito de G<sub>T</sub> entre Cond y Evap (por EV<sub>3</sub>), y G<sub>T</sub> es sometido a una sucesión de ciclos de Carnot modificados, cada uno de los cuales comprende las siguientes etapas:

Fase αβ (entre los instantes t<sub>α</sub> y t<sub>β</sub>):

30 **[0126]** En el instante inmediatamente anterior t<sub>α</sub>, el nivel de L<sub>T</sub> es alto (indicado H) en el cilindro CT, y bajo (indicado B) en el cilindro CT'. En el mismo instante, la presión de vapor de saturación de G<sub>T</sub> tiene un valor alto P<sub>h</sub> en Cond y CT, y un valor bajo P<sub>b</sub> en Evap y CT'. Es este instante del ciclo el que se representa esquemáticamente en la figura 9.

**[0127]** En el instante  $t_\alpha$ , la apertura de las electroválvulas  $EV_1$ ,  $EV_3$ ,  $EV_b$  y  $EV_{h'}$  tiene las siguientes consecuencias:

- El vapor saturado de  $G_T$  que sale del evaporador a  $P_b$ , penetra en CT y descarga el líquido de transferencia  $L_T$  en un nivel intermedio (indicado J).  $L_T$  es aspirado por la bomba PH que lo presuriza, consumiendo trabajo.
- Después de ser presurizado por PH, el líquido de transferencia  $L_T$  es descargado en CT'. En CT',  $L_T$  pasa del nivel bajo al nivel intermedio (indicado I) y comprime isoentrópicamente los vapores de  $G_T$  contenidos en esta cámara.
- después de la apertura de  $EV_3$ , el fluido de trabajo  $G_T$  en el estado de líquido saturado y a alta presión  $P_h$  es expandido por la válvula  $V_D$  y luego introducido en el estado de mezcla bifásica en el evaporador Evap, que compensa en masa la salida de  $G_T$  gaseoso a CT.

**[0128]** En el diagrama de Mollier (figura 10), esta etapa corresponde con las siguientes transformaciones simultáneas:

- 15 - la transformación  $3 \rightarrow 4$  entre Cond y Evap;
- la transformación  $4 \rightarrow 5$  en el conjunto Evap-CT;
- la transformación  $1 \rightarrow 2_{vs}$  en CT'.

**[0129]** Como anteriormente, se supone que el fluido de trabajo  $G_T$  desemboca al final de esta transformación isoentrópica en el dominio del vapor sobrecalentado.

**[0130]** Desde el punto de vista energético, durante esta fase  $\alpha\beta$ , el calor  $Q_{45}$  fue bombeado al nivel del evaporador a  $T_b$  y un trabajo  $W_{\alpha\beta}$  también fue consumido por la bomba PH. Este trabajo se llevó a cabo por el exterior con una potencia creciente ya que la presión aguas arriba de la bomba permanece casi constante ( $=P_b$ ), mientras que la presión aguas abajo aumenta hasta  $P_h$ .

Fase  $\beta\gamma$  (entre los instantes  $t_\beta$  y  $t_\gamma$ ):

**[0131]** En el instante  $t_\beta$ , es decir, cuando el nivel de  $L_T$  ha alcanzado los valores predefinidos (J en CT e I en CT'),  $EV_1$ ,  $EV_3$ ,  $EV_b$  y  $EV_{h'}$  se dejan abiertas y se abre la electroválvula  $EV_2'$ . Como resultado, el vapor de  $G_T$  sigue produciéndose en el evaporador, para expandirse en CT (transformación  $5 \rightarrow 1$ ), descargando siempre el líquido de transferencia aspirado por la bomba en el cilindro CT', esta vez conectado al condensador. Los vapores de  $G_T$  contenidos en CT' se desrecalientan (es decir, la transformación  $2_{vs} \rightarrow 2_g$  en parte en CT') y se condensan completamente en el condensador (transformación  $2_{vs} \rightarrow 2_g \rightarrow 3$ ). El fluido  $G_T$  en estado líquido saturado es expandido por  $V_D$  e introducido en el evaporador.

**[0132]** Desde el punto de vista energético, durante esta fase  $\beta\gamma$ , el calor  $Q_{51}$  es bombeado al nivel del evaporador a  $T_b$ , el calor  $Q_{23}$  es liberado al nivel del condensador a  $T_h$  (con  $T_h > T_b$ ), lo que requiere un trabajo  $W_{\gamma\delta}$  proporcionado por el exterior. Este trabajo tiene una potencia casi constante, ya que las presiones aguas arriba y aguas abajo de la bomba también son prácticamente constantes (con intercambiadores de calor no limitantes al nivel del condensador y del evaporador).

**[0133]** En el instante  $t_\gamma$  se encuentra a la mitad del ciclo. La otra mitad es simétrica: el evaporador, el condensador son el asiento de las mismas transformaciones sucesivas, mientras que las funciones de las cámaras CT y CT' están invertidas.

Fases  $\gamma\delta$  (entre los instantes  $t_\gamma$  y  $t_\delta$  y fase  $\delta\alpha$  (entre los instantes  $t_\delta$  y  $t_\alpha$ ):

**[0134]** Son equivalentes respectivamente a la fase  $\alpha\beta$  y a la fase  $\beta\gamma$ , pero con inversión de las cámaras de transferencia CT y CT'.

**[0135]** Más particularmente:

- en el instante  $t_\gamma$ , se cierran todos los circuitos abiertos en el instante  $t_\beta$ , excepto el circuito de  $G_T$  entre Cond y Evap, se abre (por  $EV_{h'}$  y  $EV_h$ ) el circuito de  $L_T$  que permite la transferencia de  $L_T$  de CT' a CT pasando por la bomba hidráulica PH, y se abre (por  $EV_1'$ ) el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT', de modo que:

- \*  $L_T$  es aspirado por la bomba PH que lo presuriza y lo descarga en CT;
- \* el nivel de  $L_T$  en CT pasa de bajo a un nivel intermedio I, y en CT' pasa de alto a un nivel intermedio J;
- \* el volumen ocupado por los vapores de  $G_T$  en CT' aumenta, el fluido de trabajo  $G_T$  se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a baja presión  $P_b$  penetra en CT';
- \* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT siguen comprimiéndose adiabáticamente a alta presión  $P_h$ ;
- \*  $G_T$  en el estado de líquido saturado o subenfriado en Cond y a alta presión  $P_h$  se expande de forma isentálpica y se introduce en el estado de mezcla bifásica líquido/vapor y a baja presión  $P_b$  en el evaporador Evap;

- en este instante  $t_6$ , se abre el circuito de  $G_T$  entre CT y Cond (por  $EV_2$ ), de modo que:

- \*  $L_T$  de nuevo es aspirado por la bomba PH que lo presuriza y lo descarga en CT;
- \* el nivel de  $L_T$  en CT pasa del nivel intermedio I al alto, y en CT' del nivel intermedio J al bajo;
- 5 \* debido a que el volumen ocupado por los vapores de  $G_T$  en CT' continúa aumentando,  $G_T$  se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a baja presión  $P_b$  penetra en CT';
- \* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT, a alta presión  $P_h$ , son descargados por  $L_T$  y condensados en Cond;

10 **[0136]** Después de varios ciclos, la instalación funciona en un régimen permanente.

10 **[0137]** Para la producción de frío, en el estado inicial,  $G_T$  se mantiene en el condensador Cond a alta temperatura por intercambio de calor con el disipador de calor a  $T_h$ , y en el evaporador Evap a una temperatura inferior o igual a  $T_h$  por intercambio de calor con un medio externo a la máquina, teniendo dicho medio inicialmente una temperatura  $T_h$ ; y en un régimen permanente, un trabajo neto es consumido por la bomba hidráulica PH, el condensador Cond evacua continuamente el calor al disipador de calor a alta temperatura  $T_h$ , y el calor es consumido  
15 continuamente por el evaporador Evap, es decir, con producción de frío al medio externo en contacto con dicho evaporador Evap, siendo la temperatura  $T_b$  de dicho medio externo estrictamente inferior a  $T_h$ .

20 **[0138]** Para la producción de calor, en el estado inicial,  $G_T$  se mantiene en el evaporador Evap a baja temperatura por intercambio de calor con la fuente de frío a  $T_b$ , en el condensador Cond a una temperatura superior o igual a  $T_h$  por intercambio de calor con un medio externo a la instalación a una temperatura superior o igual a  $T_h$ ; y en un régimen permanente, un trabajo neto es consumido por la bomba hidráulica PH, la fuente de frío a  $T_b$  aporta calor continuamente al Evap, y Cond evacua continuamente el calor al disipador de calor, es decir, hay una producción de calor al medio exterior en contacto con Cond, siendo la temperatura  $T_h$  de dicho medio exterior superior estrictamente  
25 a  $T_b$ .

**[0139]** En esta configuración (llamada receptora de 1<sup>er</sup> tipo), la ecuación (2) y la inecuación (2) que vincula los volúmenes máxicos de  $G_T$  en las diferentes etapas del ciclo es siempre válida.

30 **[0140]** La máquina de Carnot modificada receptora de 1<sup>er</sup> tipo es más sencilla en su funcionamiento y comprende menos elementos constitutivos. Sin embargo, al igual que en un ciclo convencional con compresión mecánica de vapor, las transformaciones  $3 \rightarrow 4$  y  $2_{vs} \rightarrow 2_9$  generan algunas irreversibilidades, lo que tiene un efecto adverso sobre los coeficientes de rendimiento o amplificación del ciclo. No obstante, como esta degradación es moderada, esta configuración de 1<sup>er</sup> tipo es preferible para la máquina de Carnot modificada receptora. En efecto,  
35 aunque esta máquina de Carnot modificada receptora de 1<sup>er</sup> tipo es similar a las máquinas convencionales de compresión mecánica de vapor, todavía conserva dos ventajas decisivas:

- la etapa de compresión adiabática ( $1 \rightarrow 2_{vs}$ ) tiene un rendimiento de compresión isoentrópica superior, es menos ruidosa y más fiable;
- 40 - la misma máquina, con ligeras adaptaciones, podrá funcionar en modo motor, lo que no es posible con las máquinas de la técnica anterior.

**[0141]** La elección de uno u otro tipo de máquina receptora se hará en función de los medios disponibles, en particular de la temperatura de la fuente y del disipador de calor, del fluido de trabajo  $G_T$  y del resultado deseado.

45 **[0142]** La misma máquina de Carnot modificada puede realizar alternativamente la función de motor o de receptor, dependiendo de la elección del usuario. En este caso, dicha máquina de Carnot modificada será calificada como "versátil". Esta posibilidad implica que la máquina disponga de los elementos constitutivos necesarios para satisfacer cada uno de los dos modos de funcionamiento (motor o receptor) descritos anteriormente y de componentes  
50 adicionales que permitan conmutar de un modo a otro, ya que los dos modos no pueden funcionar simultáneamente. Muchos de los elementos constitutivos requeridos para cada modo pueden ser idénticos; se trata de los elementos Cond, Evap, CT, CT', la mayoría de las válvulas controladas y determinadas partes de los circuitos de  $G_T$  y  $L_T$ . Por lo tanto, no es necesario duplicar estos elementos en la máquina de Carnot modificada versátil. Otros elementos son específicos de un modo. Por ejemplo, el dispositivo DPD que combina la cámara ABCD y las electroválvulas  $EV_3$  y  $EV_4$ , como se describe en la figura 2, permite el funcionamiento en el modo motor del 2<sup>o</sup> tipo, pero no en el modo receptor del 2<sup>o</sup> tipo, como se describe en la figura 7. Lo contrario no es cierto: el dispositivo DPD que combina la cámara ABCD y las electroválvulas  $EV_3$  y  $EV_4$ , como se describe en la figura 7, permite el funcionamiento en el modo receptor de 2<sup>o</sup> tipo o motor de 2<sup>o</sup> tipo. Un segundo ejemplo de incompatibilidad de uso en ambos modos sigue siendo el de los dispositivos DPD, pero para las máquinas de Carnot modificadas de 1<sup>er</sup> tipo: la bomba hidráulica auxiliar  
55 PHA<sub>1</sub> (figura 5) no puede realizar la función de expansión del fluido de trabajo como la válvula de expansión VD o el capilar C (figura 9) y viceversa. Del mismo modo, el convertidor hidráulico es una bomba o un motor. Sin embargo, hay convertidores que pueden realizar ambas funciones dependiendo de la dirección de circulación del fluido.

60 **[0143]** La figura 11 representa esquemáticamente una máquina de Carnot modificada versátil que puede realizar la función de máquina de Carnot modificada motor de 1<sup>er</sup> tipo o la función de máquina de Carnot modificada

receptora de 1<sup>er</sup> tipo a elección del usuario. Las otras tres combinaciones de los dos tipos también son posibles: motriz y receptora de 2<sup>o</sup> tipo, motriz de 1<sup>er</sup> tipo y receptora de 2<sup>o</sup> tipo, motriz de 2<sup>o</sup> tipo y receptora de 1<sup>er</sup> tipo. La selección del modo de funcionamiento (motor o receptor) no requiere de medios sofisticados. Por ejemplo, en la figura 11, las electroválvulas EV<sub>3M</sub> y EV<sub>3R</sub> están abiertas y cerradas (respectivamente cerradas y abiertas) si se selecciona el modo motor (respectivamente el modo receptor). Estas dos electroválvulas EV<sub>3M</sub> y EV<sub>3R</sub> pueden ser sustituidas con una válvula de tres vías. Por último, también en este ejemplo de la figura 11, la bomba hidráulica y el motor hidráulico se consideran dos convertidores hidráulicos distintos; según el modo seleccionado de funcionamiento, motor o receptor, cualquiera de los dos convertidores se activa en función de la abertura de la electroválvula de tres vías EV<sub>RM</sub>, denominada EV<sub>RM</sub>, que puede ser sustituida con dos electroválvulas de dos vías o por cualquier otro accionador en el circuito del líquido de transferencia.

**[0144]** En una realización, una máquina de Carnot modificada puede ser acoplada a un dispositivo complementario, por un acoplamiento térmico o por un acoplamiento mecánico.

15 **[0145]** Una máquina de Carnot modificada motriz o receptora según la invención, puede ser acoplada térmicamente en su condensador y/o en su evaporador a un dispositivo complementario. El acoplamiento térmico puede realizarse por medio de un fluido portador de calor o de un caloriducto, o por contacto directo o por medio de radiación.

20 **[0146]** El dispositivo adicional puede ser una máquina termodinámica motriz o receptora. Los dos casos más interesantes se refieren al acoplamiento de una máquina de Carnot modificada motriz y una máquina termodinámica motriz o al acoplamiento de una máquina de Carnot modificada receptora y una máquina termodinámica receptora. En ambos casos, la máquina termodinámica (motriz o receptora) recibe calor del condensador de la máquina de Carnot modificada (motriz o receptora respectivamente) o da calor al evaporador de la máquina de Carnot modificada (motriz o receptora respectivamente). Dichas máquinas termodinámicas motora o receptora podrán ser una 2<sup>a</sup> máquina de Carnot modificada motriz (del 1<sup>er</sup> tipo o del 2<sup>o</sup> tipo) o receptora diferente de la primera (del 1<sup>er</sup> tipo o del 2<sup>o</sup> tipo).

**[0147]** En las figuras 12a y 12b se ilustra esquemáticamente una realización de un acoplamiento térmico entre dos máquinas de Carnot modificadas. La figura 12a representa los niveles de temperatura de las fuentes y disipadores de calor y la dirección de los intercambios de calor y de trabajo entre las máquinas o con el entorno. Una primera máquina, referida de alta temperatura (HT) funciona entre una fuente de calor a temperatura  $T_h$  y un disipador de calor a temperatura intermedia  $T_{m1}$ , y contiene un fluido de trabajo  $G_{T1}$ . Una segunda máquina, referida de baja temperatura (BT) funciona entre una fuente de calor a temperatura  $T_{m2}$  y un disipador de calor a temperatura intermedia  $T_b$ , y contiene un fluido de trabajo  $G_{T2}$ . Las temperaturas son tales que  $T_h > T_{m1} > T_{m2} > T_b > T_{\text{ambiente}}$ . Si las transferencias de calor al nivel del condensador de la máquina HT y del evaporador de la máquina BT son infinitamente eficientes (debido a una superficie de intercambio y/o coeficientes de intercambio infinitos), las temperaturas  $T_{m1}$  y  $T_{m2}$  son prácticamente iguales. En todos los casos, en esta combinación denominada "en cascada térmica", la cantidad de calor  $Q_h$  se suministra a la máquina HT a la temperatura  $T_h$  para la evaporación del fluido  $G_{T1}$ , la cantidad de calor  $Q_{m1}$  liberada por la condensación de  $G_{T1}$  en el condensador de la máquina HT a la temperatura  $T_{m1}$  se transfiere completamente ( $Q_{m1} = Q_{m2}$ ) o parcialmente ( $Q_{m1} > Q_{m2}$ ) al evaporador de la máquina BT para la evaporación del fluido  $G_{T2}$  a la temperatura  $T_{m2}$  y el calor  $Q_b$  producido a la temperatura  $T_b$  por la condensación del fluido  $G_{T2}$  se transmite al entorno. Cuando sólo se busca la producción de trabajo, la transferencia de calor entre la fuente a  $T_{m1}$  y el disipador a  $T_{m2}$  es integral, es decir, hay igualdad de  $Q_{m1}$  y  $Q_{m2}$ , simplemente se observa  $Q_m$  en este caso. Cuando se busca una cogeneración de trabajo y calor a un nivel de temperatura suficiente tal como  $T_{m1}$ , entonces la transferencia de calor entre la fuente a  $T_{m1}$  y el disipador a  $T_{m2}$  es parcial, es decir,  $Q_{m1}$  es superior a  $Q_{m2}$  y la diferencia se proporciona al usuario.

**[0148]** Opcionalmente, los fluidos de trabajo  $G_{T1}$  y  $G_{T2}$  pueden ser idénticos. Al mismo tiempo, las cantidades de trabajo  $W_1$  y  $W_2$  son proporcionadas por la máquina HT y por la máquina BT, respectivamente. El rendimiento global ( $(W_1+W_2)/Q_h$ ) de la asociación en cascada de las dos máquinas modificadas motrices no es necesariamente igual, sino más bien generalmente inferior a la de una máquina de Carnot modificada motriz sola que funciona entre las mismas temperaturas extremas  $T_h$  y  $T_b$  representada esquemáticamente en la figura 12b. De hecho, estos dos rendimientos son iguales a la condición cuádruple de que las dos máquinas de Carnot modificadas sean de 2<sup>o</sup> tipo, funcionen idealmente, es decir, sin irreversibilidad, que las temperaturas  $T_{m1}$  y  $T_{m2}$  sean fusionadas y que haya una recuperación de calor completa ( $Q_{m1} = Q_{m2}$ ) a esta temperatura intermedia  $T_m$ .

**[0149]** La asociación en cascada térmica de las máquinas de Carnot modificadas motrices puede implicar máquinas del mismo tipo (1<sup>er</sup> o 2<sup>o</sup>) o de tipos diferentes.

60 **[0150]** Una 1<sup>a</sup> ventaja de la asociación en cascada de dos máquinas de Carnot modificadas motrices de 2<sup>o</sup> tipo radica en que la amplitud de temperatura  $T_h-T_b$  ya no está limitada como cuando se utiliza una sola máquina de Carnot modificada motriz de 2<sup>o</sup> tipo (debido a la condición de los volúmenes máxicos expresada por la ecuación (1)). Por lo tanto, el rendimiento global de la asociación en cascada siempre puede superior a la de la máquina sola cuando la desviación ( $T_h-T_b$ ) de dicha asociación sea superior a la desviación máxima permitida para dicha máquina sola.

65

**[0151]** Una 2ª ventaja de la asociación en cascada de dos máquinas de Carnot modificadas motrices, de 1<sup>er</sup> o de 2º tipo, es que la amplitud de presión de cada uno de los fluidos de trabajo  $G_{T1}$  y  $G_{T2}$  es menor que la del fluido de trabajo de la única máquina de Carnot modificada motriz (de 1<sup>er</sup> o de 2º tipo) que funciona entre las mismas temperaturas extremas  $T_h$  y  $T_b$ .

5

**[0152]** Un acoplamiento en cascada puede realizarse utilizando más de dos máquinas de Carnot modificadas motrices, según el mismo principio. La 1ª máquina se suministra con calor a la temperatura más alta  $T_h$  para la evaporación de un fluido de trabajo, y la última máquina de cascada libera al entorno, el calor generado por la condensación a la temperatura más baja  $T_b$ , siendo sin embargo  $T_b$  superior a la temperatura de dicho entorno. Entre estas dos máquinas extremas, cada máquina intermedia recibe el calor liberado por la condensación del fluido de trabajo de la máquina que la precede, y transfiere el calor liberado por la condensación de su propio fluido de trabajo a la máquina que la sigue. Cada máquina proporciona una cantidad de trabajo al entorno.

10

**[0153]** Dos máquinas de Carnot modificadas receptoras se pueden acoplar en cascada de forma similar a la descrita anteriormente para las máquinas motrices. Los flujos de trabajo y de calor están en la dirección opuesta a los que se representan en la figura 12a.

15

**[0154]** La asociación en cascada de dos máquinas de Carnot modificadas receptoras presenta la ventaja significativa de una reducción en la amplitud de presión de cada uno de los fluidos de trabajo  $G_{T1}$  y  $G_{T2}$  con respecto a la del fluido de trabajo observada en una máquina de Carnot modificada receptora única, ya sea del 1<sup>er</sup> o del 2º tipo, y que funciona entre las mismas temperaturas extremas  $T_b$  y  $T_h$ .

20

**[0155]** Una máquina de Carnot modificada según la invención puede ser acoplada mecánicamente a un dispositivo adicional al nivel del motor hidráulico si la máquina es motriz o a la bomba hidráulica si la máquina es receptora. El acoplamiento mecánico puede realizarse, por ejemplo, mediante una correa, un cardán, un embrague magnético o no, o directamente en el árbol del motor hidráulico o de la bomba hidráulica.

25

**[0156]** El dispositivo adicional puede ser un dispositivo motor, por ejemplo, un motor eléctrico, una turbina hidráulica, un aerogenerador, un motor de gasolina, un motor de gas, un motor diésel u otra máquina de Carnot modificada.

30

**[0157]** El dispositivo adicional puede ser un dispositivo receptor, por ejemplo una bomba hidráulica, un vehículo de transporte, un alternador, una bomba de calor de compresión mecánica de vapor, un compresor de aire u otra máquina de Carnot modificada receptora.

35

**[0158]** El dispositivo adicional puede ser también un dispositivo motor-receptor como, por ejemplo, un volante de inercia.

**[0159]** Una realización particularmente preferida de acoplamiento mecánico consiste en acoplar una máquina de Carnot modificada motriz y una máquina de Carnot modificada receptora.

40

**[0160]** Una 1ª realización de una instalación que comprende una máquina de Carnot modificada motriz acoplada mecánicamente a una máquina de Carnot modificada receptora, se representa esquemáticamente en la figura 13 con los niveles de temperatura de las fuentes y los disipadores de calor y la dirección de los intercambios de calor y de trabajo.

45

**[0161]** La máquina motriz contiene un fluido de trabajo  $G_{T1}$ . Recibe una cantidad de calor  $Q_h$  a partir de una fuente a la temperatura  $T_h$ , libera una cantidad de calor  $Q_{mM}$  a una temperatura  $T_{mM}$  y un trabajo  $W$ . La temperatura  $T_h$  de la fuente es necesariamente superior a la temperatura  $T_{mM}$  del disipador de calor.

50

**[0162]** La máquina receptora contiene un fluido de trabajo  $G_{T2}$ . Libera una cantidad de calor  $Q_{mR}$  a una temperatura  $T_{mR}$ . Recibe una cantidad de calor  $Q_b$  a partir de una fuente a la temperatura  $T_b$  y el trabajo  $W$  liberado por la máquina motriz. La temperatura  $T_b$  de la fuente es necesariamente inferior a la temperatura  $T_{mR}$  del disipador de calor.

55

**[0163]** Las dos aplicaciones principales a las que se dirige una asociación de este tipo, que sólo utiliza el calor de  $T_h$  como única fuente de energía, son:

- la producción de frío a  $T_b$ . En este caso,  $T_b < T_{\text{ambiente}} \leq T_{mR}$

60

- la producción de calor a  $T_{mR}$  y  $T_{mM}$ . Por ejemplo, para el calentamiento del hogar, es decir, cuando  $T_b$  es la temperatura ambiente en el exterior  $T_{\text{ambiente exterior}}$ , las dos temperaturas medias  $T_{mM}$  y  $T_{mR}$  son iguales y el coeficiente de amplificación  $(Q_{mR}+Q_{mM})/Q_h$  es superior a 1.

**[0164]** Una 2ª realización de una instalación que comprende una máquina de Carnot modificada motriz acoplada mecánicamente a una máquina de Carnot modificada receptora, se representa esquemáticamente en la

65

figura 14 con los niveles de temperatura de las fuentes y los disipadores de calor y la dirección de los intercambios de calor y de trabajo.

**[0165]** La máquina motriz contiene un fluido de trabajo  $G_{T2}$ . Recibe una cantidad de calor  $Q_{mM}$  a partir de una fuente a la temperatura  $T_m$ , libera una cantidad de calor  $Q_b$  a una temperatura  $T_b$  y un trabajo  $W$ . La temperatura  $T_m$  de la fuente es necesariamente superior a la temperatura  $T_b$  del disipador de calor.

**[0166]** La máquina receptora contiene un fluido de trabajo  $G_{T1}$ . Libera una cantidad de calor  $Q_h$  a una temperatura  $T_h$ . Recibe una cantidad de calor  $Q_{mR}$  a partir de la fuente a la temperatura  $T_m$  y el trabajo  $W$  liberado por la máquina motriz. La temperatura  $T_m$  de la fuente es necesariamente inferior a la temperatura  $T_h$  del disipador de calor.

**[0167]** Tal instalación según la invención hace posible obtener una cantidad de calor a una temperatura más elevada que la temperatura de la fuente de calor disponible sin consumir trabajo proporcionado por el entorno. Esta aplicación es particularmente interesante cuando el rechazo de calor no utilizado está disponible y se requiere a temperaturas más altas.

**[0168]** Una instalación según la presente invención puede ser utilizada para producir electricidad, calor o frío, a partir de una fuente de calor. Dependiendo de la aplicación prevista, la instalación comprende una máquina de Carnot modificada motriz o una máquina de Carnot modificada receptora, asociada a un entorno apropiado. El fluido de trabajo y el líquido hidráulico de transferencia se seleccionan en función de la finalidad perseguida, la temperatura de la fuente de calor disponible y la temperatura del disipador de calor disponible.

**[0169]** Una máquina de Carnot modificada receptora puede utilizarse en todo el campo de las máquinas de refrigeración y las bombas de calor: congelación, refrigeración, aire acondicionado denominado "reversible", es decir, refrigeración en verano y calefacción en invierno.

**[0170]** Se considera que las máquinas frigoríficas convencionales de compresión mecánica de vapor (CMV) tienen buenos coeficientes de rendimiento COP ( $= Q_b/W$ ) o de amplificación COA ( $= Q_m/W$ ). En realidad, estos coeficientes son mucho más bajos (alrededor de -50 %) que los de la máquina de Carnot modificada receptora y, por lo tanto, de la máquina de Carnot modificada receptora de la presente invención, en particular del 2º tipo y en menor medida del 1º tipo. La sustitución de las actuales máquinas CMV por máquinas de Carnot modificadas receptoras permitiría una reducción de la energía eléctrica necesaria para satisfacer las mismas necesidades.

**[0171]** Al igual que con las bombas de calor convencionales de compresión mecánica de vapor, el dominio de presión razonable para el fluido de trabajo  $G_T$  de una máquina de Carnot modificada receptora se sitúa entre 0,7 bar y 10 bar aproximadamente. A presiones inferiores a 0,7 bar, el tamaño de las tuberías entre el cilindro de transferencia y el evaporador y especialmente el volumen del cilindro de transferencia en sí sería demasiado grande. Por el contrario, a presiones superiores a 10 bar existen problemas de seguridad y resistencia de los materiales. El uso de alcanos o de HFC es muy adecuado para estas aplicaciones. Por ejemplo, el isobutano ya se utiliza en los refrigeradores o congeladores actuales (ya que no tiene ningún efecto sobre la capa de ozono). El líquido de transferencia que puede asociarse con estos alcanos en una máquina de Carnot modificada receptora para aplicaciones de refrigeración es el agua. En caso de frío negativo, será necesario en este caso insertar una membrana entre  $G_T$  y  $L_T$  para evitar que las heladas obstruyan el interior del evaporador o considerar la posibilidad de utilizar dispositivos de descongelación regulares y dispositivos de retorno de  $L_T$  a las cámaras de transferencia. En lugar de agua como líquido de transferencia, también es posible considerar un aceite en el que el fluido de trabajo  $G_T$  elegido sería poco miscible.

**[0172]** Las máquinas de Carnot modificadas motrices pueden utilizarse para la generación de energía centralizada o dispersa, la producción de trabajos para el bombeo de agua, la desalinización de agua de mar, etc., la producción de trabajos para una máquina receptora ditérmica, es decir, con una finalidad de calefacción o de producción frigorífica y, en particular, una máquina de Carnot modificada receptora.

**[0173]** Las ventajas de una máquina de Carnot modificada motriz y las de una máquina de Carnot modificada receptora pueden combinarse al asociarse las dos máquinas. De hecho, la conversión mecánico-eléctrica ya no es necesaria, lo que suprime la ligera pérdida de rendimiento que implica dicha conversión.

**[0174]** Una instalación según la invención puede ser utilizada para la producción centralizada de electricidad a partir de una fuente de calor centralizada a alta temperatura, producida por ejemplo por una reacción nuclear. Una reacción nuclear produce calor a 500 °C. El uso de este calor implica el uso de un fluido motor compatible con esta temperatura elevada, o la implementación de una etapa intermedia utilizando una turbina de vapor sobrecalentada entre 500 y 300 °C, siendo el calor a 300 °C luego suministrado a una máquina de Carnot modificada motriz que funcionaría entre esta fuente caliente a 300 °C y el disipador de frío del ambiente exterior. Con tal diferencia de temperatura es necesario combinar en cascada térmica al menos dos máquinas de Carnot modificadas motrices con diferentes fluidos de trabajo. Para la máquina a temperaturas más altas, el agua es muy apropiada como fluido de trabajo. En esta configuración, la ventaja conferida por la invención es que el rendimiento global de producción eléctrica

es mejor que la de las centrales nucleares actuales.

**[0175]** Una instalación según la invención puede ser utilizada para la producción descentralizada de electricidad, utilizando como fuente de calor energía solar que es renovable, disponible en todas partes pero intermitente y bastante diluida (máximo alrededor de 1 kW/m<sup>2</sup> con buen tiempo). Los colectores solares cilindro-parabólicos actuales pueden llevar el fluido motor a unos 300 °C. Con respecto a la producción centralizada, el trabajo producido por la turbina se pierde entre 500 y 300 °C, pero únicamente se utiliza una fuente de energía renovable.

**[0176]** La energía solar térmica suministrada a temperaturas más bajas, como aproximadamente 130 °C con colectores de tubo al vacío o aproximadamente 80 °C con colectores planos, también se puede utilizar. Obviamente, cuanto menor es la temperatura de la fuente caliente, menor es el rendimiento de la máquina de Carnot modificada motriz. Sin embargo, para la temperatura más baja  $T_h$ , la suministrada por los colectores solares planos, ya no es necesaria una asociación térmica en cascada, la máquina de Carnot modificada es entonces más sencilla y, por lo tanto, menos costosa. En ausencia de luz solar, una caldera auxiliar puede proporcionar el calor necesario.

**[0177]** Una instalación según la invención puede ser utilizada para transformar el calor en trabajo, sin transformarlo necesariamente en electricidad. El trabajo mecánico se puede utilizar directamente, por ejemplo, para una bomba hidráulica o para una bomba de calor cuyo compresor no está accionado por un motor eléctrico. En este último caso, los objetivos son:

- la producción de calor a un nivel de temperatura  $T_m$  inferior al de la fuente caliente a  $T_h$  pero con un coeficiente de amplificación superior a 1 o a un nivel de temperatura  $T_h$  superior al de la fuente caliente a  $T_m$  pero con un coeficiente de amplificación inferior a 1, siendo dichos coeficientes de amplificación superiores a los de la técnica anterior mediante sistemas de adsorción o absorción.
- la producción de frío a un nivel de temperatura  $T_b$  (inferior a la temperatura ambiente) y con un coeficiente de rendimiento superior al de la técnica anterior mediante los sistemas de adsorción o absorción.

**[0178]** La presente invención está ilustrada por los siguientes ocho ejemplos, a los cuales no está limitada, sin embargo. Las figuras 15a a 15h resumen esquemáticamente, para cada uno de los ejemplos, los intercambios de calor y de trabajo entre la máquina (o las combinaciones de máquinas) de Carnot modificada(s) y el entorno, así como las temperaturas de las fuentes y los disipadores de calor.

- Ejemplo 1 (Fig. 15a): tres máquinas de Carnot modificadas motrices de 2º tipo en cascada térmica;
- Ejemplo 2 (Fig. 15b): dos máquinas de Carnot modificadas motrices de 1º tipo en cascada térmica;
- Ejemplos 3 y 4 (Fig. 15c y 15d): máquinas de Carnot modificadas receptoras de 2º o 1º tipo;
- Ejemplo 5 (Fig. 15e): dos máquinas de Carnot modificadas receptoras de 1º tipo en cascada térmica;
- Ejemplos 6 y 7 (Fig. 15f y 15g): acoplamiento mecánico de una máquina de Carnot modificada motriz a alta temperatura de 1º tipo y de una máquina de Carnot receptora de 1º tipo a baja temperatura;
- Ejemplo 8 (Fig. 15h): acoplamiento mecánico de una máquina de Carnot modificada motriz a baja temperatura de 1º tipo y de una máquina de Carnot modificada receptora de 1º tipo a alta temperatura.

**[0179]** En estos ejemplos, se utilizan tres fluidos de trabajo  $G_T$ : agua (indicado R718), n-butano (indicado R600) y 1,1,1,2-tetrafluoroetano (indicado R134a). Los diagramas de Mollier para estos tres fluidos se representan en las figuras 16, 17 y 18, respectivamente. En estos diagramas se señalan los diferentes ciclos de Carnot modificados que intervienen en los ejemplos 1 a 8 anteriores.

### Ejemplo 1

#### Asociación en cascada térmica de tres máquinas de Carnot modificadas motrices de 2º tipo

**[0180]** El objetivo es producir trabajo (convertible en electricidad) con la mayor eficiencia posible. Para una temperatura de disipador de frío dada ( $T_b = 40$  °C), cuanto mayor sea la temperatura  $T_h$  de la fuente caliente y cuanto más cerca esté el ciclo de la máquina del ciclo de Carnot ideal, mayor será el rendimiento. Por lo tanto, el ciclo de Carnot modificado motor de 2º tipo se mantiene en su configuración preferida, es decir, respetando la limitación de volúmenes de masa iguales del fluido de trabajo a la salida del condensador y del evaporador (como se describe en la figura 4).

**[0181]** Con una fuente de calor a  $T_{h3}$  igual a 85 °C, el fluido de trabajo utilizado es R600 y describe el ciclo a-b-c-d-a en la figura 17. Se observa que con este fluido la expansión adiabática c→d termina en el dominio del vapor sobrecalentado pero, sin embargo, muy cerca de la curva de saturación. La irreversibilidad es muy baja. El rendimiento  $\eta_3$  de este ciclo es de 12,49 %, frente al 12,56 % de un ciclo de Carnot perfecto entre las mismas temperaturas.

**[0182]** Con una fuente de calor a  $T_{h2}$  igual a 175 °C y en combinación en cascada térmica con el ciclo anterior, el fluido de trabajo utilizado es R718 y describe el ciclo e-f-g-h-e en la figura 16. Se observa que con este fluido la expansión adiabática g→h termina en el dominio bifásico y, por lo tanto, no induce ninguna irreversibilidad. El

rendimiento  $\eta_2$  de este ciclo se fusiona con el de Carnot y es, por tanto, del 16,7 %.

**[0183]** Finalmente, con una fuente de calor a  $T_{h1}$  igual a 275 °C y en combinación en cascada térmica con el ciclo anterior, el fluido de trabajo siempre utilizado es R718 y describe el ciclo a-b-c-d-a en la figura 16. La expansión adiabática c→d todavía termina en el dominio bifásico. El rendimiento  $\eta_1$  de este ciclo es del 16,4 %.

**[0184]** La combinación en cascada térmica de estas tres máquinas de Carnot modificadas motrices de 2º tipo (figura 15a), con diferencias de temperatura realistas en la transferencia de calor entre las diferentes máquinas, conduce al rendimiento general:

10

$$\eta = (W_1+W_2+W_3)/Q_h = \eta_1 + \eta_2 \cdot (1-\eta_1) + \eta_3 \cdot (1-\eta_2)(1-\eta_1)$$

$\eta = 39,10\%$  o 91 % del rendimiento de la máquina de Carnot que funciona entre las mismas temperaturas extremas.

15 **[0185]** Este rendimiento es mejor que el de las centrales nucleares actuales ( $\approx 34\%$ ) que trabajan, no obstante, con vapores sobrecalentados a temperaturas mucho más elevadas ( $\approx 500\text{ °C}$ ). Además, la fuente de calor a  $T_{h1}$  ( $=275\text{ °C}$ ) podría ser proporcionada por colectores solares cilindro-parabólicos.

### Ejemplo 2

20

Asociación en cascada térmica de dos máquinas de Carnot modificadas motrices de 1º tipo

**[0186]** Como en el ejemplo anterior, el objetivo es producir trabajo (convertible en electricidad) pero con una máquina más sencilla utilizando combinaciones de máquina de Carnot modificadas motrices de 1º tipo. Las diferencias de temperatura entre la fuente de calor y el disipador de calor ya no están limitadas por la limitación de volúmenes máxicos iguales del fluido de trabajo a la salida del condensador y del evaporador. Sin embargo, las diferencias de presión excesivas generan otros problemas tecnológicos; por lo tanto, al emplear la misma fuente y disipadores de calor extremos (275 °C y 40 °C), es preferible combinar dos máquinas en cascada térmica en lugar de construir una sola máquina que funcione sobre una diferencia tan grande.

30

**[0187]** La combinación en cascada térmica (figura 15b) consiste en acoplar dos máquinas de Carnot modificadas motriz de 1º tipo, la primera utiliza agua (R718) como fluido de trabajo y describe el ciclo i-j-b-c-k-i de la figura 16, la segunda utiliza n-butano (R600) como fluido de trabajo y describe el ciclo e-f-b-c-d-e en la figura 17.

35 **[0188]** Las etapas j→b y f→b de estos dos ciclos inducen irreversibilidades adicionales, pero los rendimientos de los dos ciclos siguen siendo muy satisfactorios (en comparación con los rendimientos de Carnot):  $\eta_1 = 27,47\%$  para el ciclo con R718 y  $\eta_2 = 10,82\%$  para el ciclo con R600.

**[0189]** El rendimiento global de la combinación en cascada térmica (figura 15b) de estas dos máquinas de Carnot modificadas motrices de 1º tipo es:

40

$$\eta = (W_1+W_2)/Q_h = \eta_1 + \eta_2 \cdot (1-\eta_1)$$

$\eta = 35,32\%$  (82 % del rendimiento de la máquina de Carnot que funciona entre las mismas temperaturas extremas).

45

**[0190]** Con respecto al ejemplo anterior, para una degradación relativamente baja del rendimiento (-3,78 %), la simplificación de la máquina es relativamente importante: dos máquinas en combinación en lugar de tres y especialmente el 1º tipo más simple que el 2º tipo.

### 50 Ejemplo 3

Máquinas de Carnot modificadas receptoras del 2º o 1º tipo

**[0191]** El objetivo del ejemplo 3 es la calefacción de la vivienda mediante emisores (radiadores o suelo radiante) a baja temperatura. Una máquina de Carnot modificada receptora que funciona entre 5 y 50 °C es muy adecuada para esta aplicación (Figura 15c).

**[0192]** Las dos opciones posibles que constituyen las máquinas de 2º o 1º tipo se comparan utilizando R600 como fluido de trabajo.

60

**[0193]** Con una máquina de Carnot modificada receptora de 2º tipo, el ciclo descrito es el ciclo 1-2-3-4'-9-1 de la figura 17. Con este fluido, si la etapa de compresión adiabática se hubiera realizado a partir del vapor saturado, es decir, el punto "9" de este ciclo, dicho fluido al final de esta etapa habría estado en el dominio bifásico, lo que no supone una desventaja. Para ilustrar este ejemplo, se opta por realizar un ligero sobrecalentamiento (es decir, la etapa

9→1), de manera que sólo haya vapor saturado al final de la compresión (punto "2" del ciclo). Durante esta etapa, esto implica un aporte térmico, por ejemplo, al nivel de los cilindros de transferencia como se ilustra en la figura 2 para una máquina de Carnot modificada motriz.

- 5 **[0194]** El coeficiente de amplificación de esta máquina de Carnot modificada receptora que describe este ciclo es:

$$\text{COA} = Q_h/W = 7,18$$

- 10 **[0195]** Este COA es casi igual al de la máquina de Carnot que funciona entre las mismas temperaturas extremas ya que la irreversibilidad generada por el sobrecalentamiento 9→1 es muy baja.

- [0196]** Sin embargo, la máquina de 2º tipo requiere la cámara ABCD y las conexiones asociadas, lo que tiene un coste e implica una gestión del ciclo más compleja. Con una máquina de Carnot modificada receptora de 1º tipo, el ciclo descrito es el ciclo 1-2-3-4-9-1 de la figura 17. El COA de esta máquina de 1º tipo es más bajo:  $\text{COA} = Q_h/W = 6,06$ , u 84 % del COA de la máquina de Carnot, pero todavía mucho mejor que los COA de las máquinas actuales con compresión mecánica de vapor que funcionan a las mismas temperaturas extremas.

#### Ejemplo 4

20

Máquina de Carnot modificada receptora del 1º tipo

- [0197]** El objetivo perseguido del ejemplo 4 es la refrigeración de la vivienda en verano.

- 25 **[0198]** Una máquina de Carnot modificada receptora de 1º tipo que funciona entre 15 y 40 °C es muy adecuada para esta aplicación (Figura 15d). El fluido de trabajo utilizado (R600) describe el ciclo 5-6-7-8-5 de la figura 17. Con respecto al ejemplo anterior, se opta por no sobrecalentar antes de la etapa de compresión isoentrópica. El coeficiente de rendimiento de esta máquina de Carnot modificada receptora que describe este ciclo es:

- 30  $\text{COA} = Q_b/W = 10,33$  o 90 % del COP de la máquina de Carnot y sobre todo mucho mejor que los COP de las máquinas actuales con compresión mecánica de vapor que funcionan a las mismas temperaturas extremas.

#### Ejemplo 5

Combinación en cascada térmica de dos máquinas de Carnot modificadas receptoras del 1º tipo

35

- [0199]** El objetivo perseguido del ejemplo 5 es la producción frigorífica a baja temperatura (para la congelación). Incluso si la diferencia de temperatura entre la fuente y el disipador de calor no está limitada por ninguna limitación de volúmenes máxicos iguales del fluido de trabajo, es preferible que no haya una diferencia de presión excesiva en la máquina, ya que esto genera otros problemas tecnológicos. Así, con la fuente de frío a -30 °C y el disipador de calor a 40 °C, es preferible combinar dos máquinas en cascada térmica en lugar de construir una sola máquina que funcione a una diferencia tan grande. La combinación en cascada térmica (véase la figura 15e) consiste en acoplar dos máquinas de Carnot modificadas receptoras de 1º tipo, la primera utiliza R600 como fluido de trabajo y describe el ciclo 9-6-7-10-9 de la figura 17, la segunda utiliza R134a como fluido de trabajo y describe el ciclo 1-2-3-4-1 de la figura 18.

45

- [0200]** El coeficiente de rendimiento global de la combinación en cascada térmica de estas dos máquinas de Carnot modificadas receptoras de 1º tipo es:

$$\text{COP} = Q_b/(W_1+W_2) = 1/[1/\text{COP}_2+(1+1/\text{COP}_2)/\text{COA}_1]$$

50

- [0201]**  $\text{COP} = 2,85$  u 82 % del COP de la máquina de Carnot y sobre todo mucho mejor que los COP de las máquinas actuales con dos etapas de compresión mecánica de vapor que funcionan a las mismas temperaturas extremas.

#### 55 Ejemplo 6

Acoplamiento mecánico de una máquina de Carnot modificada motriz a alta temperatura de 1º tipo y de una máquina de Carnot modificada receptora a baja temperatura de 1º tipo

- 60 **[0202]** El objetivo perseguido del ejemplo 6 (figura 15f) es la refrigeración de la vivienda en verano utilizando sólo calor como fuente de energía, por ejemplo, de colectores solares. Para ello, se acopla una primera máquina, la máquina de Carnot modificada motriz del 1º tipo utilizando el fluido de trabajo R600 y descrita en el ejemplo 2, y una segunda máquina, la máquina de Carnot modificada receptora del 1º tipo descrita en el ejemplo 4.

**[0203]** El coeficiente de rendimiento de esta combinación (figura 15f) es:  $COP = Q_b/Q_h = \eta_1 \cdot COP_2 = 1,29$  u 89 % del COP de la máquina de Carnot tritérmica y especialmente mucho mejor que los COP de los sistemas tritéricos con adsorción o absorción de la técnica anterior actual que funcionan entre las mismas fuentes y disipadores de calor.

5 **Ejemplo 7**

Acoplamiento mecánico de una máquina de Carnot modificada motriz a alta temperatura de 1<sup>er</sup> tipo y de una máquina de Carnot modificada receptora a baja temperatura de 1<sup>er</sup> tipo

10 **[0204]** Los objetivos perseguidos del ejemplo 7 (figura 15g) son múltiples:

- cogeneración de trabajo convertible en electricidad y calor útil para el calentamiento (baja temperatura) de la vivienda en invierno;
- 15 - climatización a "baja temperatura", es decir, compatible con los ventilosconvectores convencionales para edificios (oficinas o viviendas colectivas en particular),

en cualquier caso, utilizando como fuente de energía únicamente el calor a una temperatura accesible por una caldera o por colectores solares del tipo cilindro-parabólico.

20 **[0205]** Para estos objetivos prácticos, se acopla una primera máquina, la máquina de Carnot modificada motriz del 1<sup>er</sup> tipo utilizando el fluido de trabajo R718 que describe el ciclo l-m-g-n-l de la figura 16, y una segunda máquina, la máquina de Carnot modificada receptora del 1<sup>er</sup> tipo descrita en el ejemplo 3.

25 **[0206]** El rendimiento  $\eta_1$  de la primera máquina es del 25,34 % (91 % del rendimiento de Carnot), muy superior al rendimiento actual de los colectores solares fotovoltaicos.

**[0207]** Si no se recupera la electricidad para la máquina receptora (figura 15g), la producción de calor  $Q_{m1}$  completa la producción de electricidad, es decir, el 24,66 % de la energía incidente  $Q_h$ , mientras que las células fotovoltaicas no suministran calor. En caso contrario, es decir, para las aplicaciones de calefacción y/o climatización, los coeficientes de amplificación y rendimiento de esta combinación están relacionados con los COP y el rendimiento de las 2 máquinas según:  $COA = COP + 1 = COP_2 \cdot \eta_1 + 1$   
Ya sea respectivamente  $COA = 2,28$  (84 % del COA de Carnot) y  $COP = 1,28$  (74 % del COA de Carnot).

35 **Ejemplo 8**

Acoplamiento mecánico de una máquina de Carnot modificada motriz a baja temperatura de 1<sup>er</sup> tipo y de una máquina de Carnot modificada receptora a alta temperatura de 1<sup>er</sup> tipo

40 **[0208]** El objetivo perseguido del ejemplo 8 (figura 15h) es la producción de vapor a media presión (2 bar) con calor a "baja temperatura" (85 °C) como única fuente de energía incompatible con la producción directa de dicho vapor. Este es un ejemplo entre otros que se encuentran tradicionalmente en sitios industriales en los que hay residuos de calor no utilizados y necesitan temperaturas más altas.

45 **[0209]** Este objetivo de termotransformación entre 85 y 120 °C (susceptible de generar vapor a 2 bar) puede alcanzarse acoplando mecánicamente una primera máquina, la máquina de Carnot modificada receptora del 1<sup>er</sup> tipo, utilizando R718, que funciona entre 85 y 120 °C y que describe el ciclo 1-2-3-4-1 en la figura 16, y una segunda máquina, la máquina de Carnot modificada motriz del 1<sup>er</sup> tipo, que funciona entre 85 °C y 40 °C (temperatura por encima de la ambiente), utilizando el fluido de trabajo R600 y descrito en el ejemplo 2.

50 **[0210]** El coeficiente de rendimiento  $COP_1$  de la primera máquina (receptora) es de 9,14 (89 % del COP de la máquina ditérmica de Carnot). Hay que tener en cuenta que con el agua como fluido de trabajo, el vapor al final de la etapa de compresión isoentrópica está muy sobrecalentado ( $T_2 = 208 \text{ °C} \gg 120 \text{ °C}$ ).

55 **[0211]** El coeficiente de rendimiento global de la combinación (figura 15h) de las dos máquinas verifica:

$$COP = Q_h / (Q_{m1} + Q_{m2}) = (COP_1 + 1) / (COP_1 + 1/\eta_2)$$

**[0212]** Ya sea con estas temperaturas de la fuente y de los disipadores:  $COP = 55,2 \%$  (89 % del COP de la máquina tritérica de Carnot).

**[0213]** Los diferentes ejemplos descritos anteriormente confirman que un mismo fluido de trabajo puede utilizarse como fluido motor o como fluido receptor, dependiendo de la instalación y de la finalidad.

**[0214]** El n-butano (R600) describe un ciclo motor de 1<sup>er</sup> tipo en el ejemplo 2 (figura 15b) y un ciclo receptor de 1<sup>er</sup> tipo en el ejemplo 7 (figura 15g) y la máquina de Carnot modificada motriz o receptora, respectivamente que utiliza este fluido R600, se combina en estos dos ejemplos con otra máquina de Carnot, motriz en este caso, que utiliza agua (R718) como fluido de trabajo. Por lo tanto, se deduce que una instalación según la presente invención puede comprender una máquina de Carnot motriz de 1<sup>er</sup> tipo (con R718 como fluido de trabajo) acoplada a una máquina de Carnot modificada versátil (como la descrita en la figura 11 y con R600 como fluido de trabajo) y que dicha instalación se puede implementar para aplicaciones tan diferentes como la mencionada en el ejemplo 2, y la que se menciona en el ejemplo 7.

REIVINDICACIONES

1. Instalación para la producción de frío, de calor o de trabajo, que comprende al menos una máquina de Carnot modificada constituida por:
- 5
- a) Un 1<sup>er</sup> conjunto que comprende un evaporador Evap asociado a una fuente de calor, un condensador Cond asociado a un disipador de calor, un dispositivo DPD de presurización o de expansión de un fluido de trabajo  $G_T$ , medios de transferencia del fluido de trabajo  $G_T$  entre el condensador Cond y DPD, y entre el evaporador Evap y DPD;
  - 10 b) Un 2<sup>o</sup> conjunto que comprende dos cámaras de transferencia CT y CT' que contienen un líquido de transferencia  $L_T$  y el fluido de trabajo  $G_T$  en forma de líquido y/o de vapor, siendo el líquido de transferencia  $L_T$  y el fluido de trabajo dos fluidos diferentes;
  - c) medios de transferencia selectiva del fluido de trabajo  $G_T$  entre el condensador Cond y cada una de las cámaras de transferencia CT y CT', por una parte, y entre el evaporador Evap y cada una de las cámaras de transferencia CT y CT', por otra parte;
  - 15 d) medios de transferencia selectiva del líquido  $L_T$  entre las cámaras de transferencia CT y CT' y el dispositivo de compresión o de expansión DPD, comprendiendo dichos medios al menos un convertidor hidráulico.
2. Instalación según la reivindicación 1, en la que la máquina de Carnot modificada es una máquina motriz, **caracterizada porque** el convertidor hidráulico es un motor hidráulico y la fuente de calor se encuentra a una temperatura superior a la del disipador de calor, y **porque** el dispositivo DPD consiste:
- bien en un dispositivo que presuriza el fluido de trabajo  $G_T$  que se encuentra en estado de líquido saturado o de líquido subenfriado.
  - 25 - Bien en un dispositivo que comprende, por una parte, una cámara de compresión/expansión ABCD y los medios de transferencia asociados y, por otra parte, una bomba hidráulica auxiliar PHA<sub>2</sub> para la presurización del líquido de transferencia  $L_T$ .
3. Instalación según la reivindicación 1, en la que la máquina de Carnot modificada es una máquina receptora, **caracterizada porque** el convertidor hidráulico es una bomba hidráulica, y la fuente de calor se encuentra a una temperatura inferior a la del disipador de calor, y **porque** el dispositivo DPD es:
- bien una válvula de expansión VD o un capilar C o una válvula controlada en serie con un capilar VCC, siendo dicho DPD atravesado por el fluido de trabajo  $G_T$ ,
  - 35 - bien un dispositivo que comprende una cámara ABCD que permite una compresión o una expansión adiabática del fluido de trabajo  $G_T$  a través del líquido de transferencia  $L_T$ .
4. Instalación según la reivindicación 1, **caracterizada porque** la máquina de Carnot modificada está acoplada térmicamente en la región de su condensador y/o de su evaporador a un dispositivo complementario, siendo el dispositivo complementario una máquina termodinámica ditérmica motriz para una máquina de Carnot modificada motriz, y una máquina termodinámica ditérmica receptora para una máquina de Carnot modificada receptora.
5. Instalación según la reivindicación 1, **caracterizada porque** la máquina de Carnot modificada está acoplada mecánicamente a un dispositivo complementario.
- 45
6. Instalación según la reivindicación 1, capaz de funcionar en modo motor o en modo receptor, **caracterizada porque**:
- comprende un elemento convertidor y medios que permiten colocarlo de manera selectiva en comunicación con los cilindros CT y CT', estando dicho conjunto convertidor constituido por un convertidor hidráulico bifuncional capaz de funcionar como motor o bomba, o bien como una bomba hidráulica y un motor hidráulico;
  - el dispositivo DPD comprende un dispositivo de presurización, un dispositivo de expansión y un medio de selección exclusiva de uno de dichos dispositivos de presurización y expansión que se colocan en dos circuitos paralelos entre el condensador Cond y el evaporador Evap, y que cada uno puede poner en comunicación el condensador Cond y el evaporador Evap.
  - 50
  - 55
7. Instalación según la reivindicación 1, **caracterizada porque** comprende medios de intercambio de calor entre, por una parte, la fuente y/o el disipador de calor que se encuentran a temperaturas diferentes, y por otra parte, el fluido de trabajo  $G_T$  en las cámaras de transferencia CT y CT', pudiendo ser el intercambio de calor directo o indirecto.
- 60
8. Instalación según la reivindicación 1, **caracterizada porque** el fluido de trabajo  $G_T$  y el líquido de transferencia  $L_T$  se eligen de manera que  $G_T$  sea ligeramente soluble en  $L_T$ , que  $G_T$  no reaccione con  $L_T$  y que  $G_T$  en estado líquido sea menos denso que  $L_T$ .
- 65

9. Instalación según la reivindicación 1, **caracterizada porque** el fluido de trabajo  $G_T$  y el líquido de transferencia  $L_T$  están aislados entre sí por una membrana flexible que crea una barrera impermeable entre los fluidos  $G_T$  y  $L_T$  pero que sólo tiene una resistencia muy baja al desplazamiento de  $L_T$  así como una resistencia baja a la transferencia térmica, o por un flotador que tiene una densidad intermedia entre la del fluido de trabajo  $G_T$  en estado líquido y la del líquido de transferencia  $L_T$ .

10. Procedimiento de producción frío, de calor y/o de trabajo que consiste en someter un fluido de trabajo  $G_T$  a una sucesión de ciclos de Carnot modificados en una instalación según las reivindicaciones 1 a 9, comprendiendo cada ciclo de Carnot modificado las siguientes transformaciones de  $G_T$ :

- 10 - una transformación isotérmica con intercambio de calor entre  $G_T$  y la fuente, respectivamente el disipador de calor;
- una transformación adiabática con disminución de la presión del fluido de trabajo  $G_T$ ;
- 15 - una transformación isotérmica con intercambio de calor entre  $G_T$  y el disipador, respectivamente la fuente de calor;
- una transformación adiabática con aumento de la presión del fluido de trabajo  $G_T$ .

**caracterizado porque:**

- 20 - el fluido de trabajo  $G_T$  está en forma bifásica líquido-gas al menos durante las dos transformaciones isotérmicas de un ciclo,
- las dos transformaciones isotérmicas producen o son el resultado de un cambio en el volumen de  $G_T$  concomitante con el desplazamiento de un líquido de transferencia  $L_T$  que acciona o es accionado por un convertidor hidráulico,
- el trabajo es proporcionado o recibido por la instalación a través de un líquido de transferencia  $L_T$  que pasa a través de un convertidor hidráulico durante al menos las dos transformaciones isotérmicas.

11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado porque** el ciclo comprende las siguientes transformaciones:

- 30 - una transformación isotérmica iniciada por el aporte térmico a  $G_T$  a partir de la fuente de calor;
- una transformación adiabática con disminución de la presión del fluido de trabajo  $G_T$  y producción de trabajo por la instalación;
- una transformación isotérmica durante la cual el calor es proporcionado por  $G_T$  al disipador de calor a una temperatura inferior a la de la fuente;
- 35 - una transformación adiabática con aumento de la presión del fluido de trabajo  $G_T$ .

12. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado porque** el ciclo comprende las siguientes transformaciones:

- 40 - una transformación isotérmica con liberación de calor por  $G_T$  al disipador de calor;
- una transformación adiabática con disminución de la presión del fluido de trabajo  $G_T$ ;
- una transformación isotérmica con aporte térmico a  $G_T$  por la fuente de calor a una temperatura inferior a la temperatura del disipador de calor;
- una transformación adiabática con aumento de la presión del fluido de trabajo  $G_T$  iniciada por el aporte de trabajo por medio del líquido de transferencia  $L_T$ .

13. Procedimiento según la reivindicación 10, llevado a cabo en una instalación que comprende una máquina de Carnot modificada acoplada a una máquina termodinámica diatérmica, **caracterizado porque** el calor del condensador de la máquina de Carnot modificada se transfiere a la máquina termodinámica, o el evaporador de la máquina de Carnot modificada recibe calor de la máquina termodinámica.

14. Procedimiento según la reivindicación 10, llevado a cabo en una instalación que comprende una primera y una última máquina de Carnot modificadas, y opcionalmente al menos una máquina de Carnot modificada intermedia entre dichas primera y última máquinas de Carnot modificadas, siendo las máquinas de Carnot modificadas acopladas térmicamente, **caracterizado porque:**

- la 1ª máquina es alimentada con calor para la evaporación de un fluido de trabajo  $GT_p$ , y la última máquina libera al entorno el calor generado por la condensación de un fluido de trabajo  $GT_d$ , pudiendo ser dichos fluidos  $GT_p$  y  $GT_d$  idénticos o diferentes;
- 60 - en su caso, cada máquina intermedia recibe el calor liberado por la condensación del fluido de trabajo  $GT_{i-1}$  de la máquina que la precede, y transfiere el calor liberado por la condensación de su propio fluido de trabajo  $GT_i$  a la máquina siguiente, pudiendo ser dichos fluidos  $GT_{i-1}$  y  $GT_i$  idénticos o diferentes;
- cada máquina intercambia una cantidad de trabajo con el entorno;

65 entendiéndose que todas las máquinas son motrices o receptoras y que:

- cuando todas las máquinas son motrices, el calor suministrado a la 1ª máquina está a la temperatura  $T_h$  y el calor liberado por la última máquina está a la temperatura  $T_b < T_h$ , y un trabajo neto es proporcionado al entorno;
- cuando todas las máquinas son receptoras, el calor suministrado a la 1ª máquina está a la temperatura  $T_b$  y el calor liberado por la última máquina está a la temperatura  $T_h$  superior a la vez a  $T_b$  y a la temperatura de entorno, y un trabajo neto es proporcionado por el entorno;

15. Procedimiento según la reivindicación 10 para la producción de calor a una temperatura  $T_b$  y/o de trabajo, **caracterizado porque**, a partir de un estado inicial en el que, por una parte, se mantiene el fluido de trabajo  $G_T$  en el evaporador Evap a alta temperatura y en el condensador Cond a baja temperatura por intercambio de calor respectivamente con la fuente caliente a  $T_h$  y el disipador de frío a  $T_b < T_h$ , y por otra parte, se obturan todos los circuitos de comunicación de  $G_T$  y del líquido de transferencia  $L_T$ ;

- en el instante  $t_a$ , se abre el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT', se abre el circuito de  $L_T$  entre CT' y aguas arriba del motor hidráulico MH, y se acciona la bomba auxiliar PHA<sub>2</sub>, de modo que:

- \* el fluido de trabajo  $G_T$  se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a presión elevada  $P_h$ , penetra en CT' y descarga  $L_T$  en un nivel intermedio J;
- \*  $L_T$  pasa a través de MH mientras se expande, luego  $L_T$  es aspirado por PHA<sub>2</sub> y descargado en ABCD;

- en el instante  $t\beta$ , se abre el circuito de  $G_T$  entre ABCD y Evap para que el fluido de trabajo  $G_T$  sea introducido en el evaporador en estado líquido.

- en el instante  $t_\gamma$ , se cierra el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT', por una parte, entre ABCD y Evap, por otra parte, se detiene la bomba auxiliar PHA<sub>2</sub>, se abre el circuito de  $G_T$  entre Cond y ABCD, por una parte, entre CT' y Cond, por otra parte, y se abre el circuito de  $L_T$  entre CT' y ABCD, de modo que:

- \* el vapor de  $G_T$  contenido en CT' continúa expandiéndose, adiabáticamente, y descarga  $L_T$  hasta el nivel bajo en CT' y luego a través de MH a CT;
- \* la cámara ABCD en comunicación con Cond es llevada a baja presión y  $L_T$ , contenido en la misma en su parte inferior fluye hacia CT;
- \* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT se condensan en Cond;

- en el instante  $t_\delta$ , se cierran todos los circuitos abiertos en el instante  $t_\gamma$ , se abre el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT, se abre el circuito de  $L_T$  entre CT' y aguas arriba del motor hidráulico MH, y se acciona la bomba auxiliar PHA<sub>2</sub>, de modo que:

- \* el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a presión elevada  $P_h$ , penetra en CT y descarga  $L_T$  en un nivel intermedio J;
- \*  $L_T$  pasa a través de MH mientras se expande, luego  $L_T$  es aspirado por PHA<sub>2</sub> y descargado en ABCD.

- en el instante  $t_\epsilon$ , se abre el circuito de  $G_T$  entre ABCD y Evap para que el fluido de trabajo  $G_T$  sea introducido en el evaporador en estado líquido;

- en el instante  $t_\zeta$ , se cierra el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT, por una parte, entre ABCD y Evap, por otra parte, se detiene la bomba auxiliar PHA<sub>2</sub>, se abre el circuito de  $G_T$  entre Cond y ABCD, por una parte, entre CT' y Cond, por otra parte, y se abre el circuito de  $L_T$  entre CT' y ABCD, de modo que:

- \* el vapor de  $G_T$  contenido en CT continúa expandiéndose, adiabáticamente, y descarga  $L_T$  hasta el nivel bajo en CT y luego a través de MH a CT'.
- \* la cámara ABCD en comunicación con Cond es llevada a baja presión y  $L_T$ , contenido en la misma en su parte inferior fluye hacia CT';
- \* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT' se condensan en Cond;

entendiéndose que después de varios ciclos, la instalación funciona en un régimen permanente en el que la fuente caliente suministra continuamente calor a la temperatura  $T_h$  en la región del evaporador Evap, el calor es suministrado continuamente por el condensador Cond al disipador de frío a la temperatura  $T_b$ , y el trabajo es suministrado continuamente por la máquina.

16. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado porque**, a partir de un estado inicial en el que el fluido de trabajo  $G_T$  se mantiene en el evaporador Evap a alta temperatura y en el condensador Cond a baja temperatura por intercambio de calor respectivamente con la fuente caliente a  $T_h$  y el disipador de frío a  $T_b$ , y todos los circuitos de comunicación del fluido de trabajo  $G_T$  y del líquido de transferencia  $L_T$  están obturados, en el instante  $t_0$  se acciona la bomba hidráulica auxiliar PHA<sub>1</sub> y se abre el circuito de  $G_T$  entre Cond y Evap, para que una parte de  $G_T$ , en estado de líquido saturado o subenfriado sea aspirado por PHA<sub>1</sub> en la parte inferior del condensador Cond, y descargado en el estado de líquido subenfriado en Evap en el que se calienta, luego  $G_T$  es sometido a una sucesión de ciclos de Carnot modificados, cada uno de los cuales comprende las siguientes etapas:

- en el instante  $t_a$ , cuando, durante el primer ciclo de acción, queda  $G_T$  líquido en el condensador, se abre el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT', por una parte, entre CT y Cond, por otra parte, y se abre el circuito que permite la transferencia de  $L_T$  de CT' a CT pasando a través del motor hidráulico MH, de modo que:

5

\*  $G_T$  se calienta y se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a presión elevada  $P_h$ , penetra en CT' y descarga  $L_T$  en un nivel intermedio J;

\*  $L_T$  pasa a través de MH mientras se expande, luego  $L_T$  es descargado en CT hasta el nivel intermedio I;

\* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT y descargados por  $L_T$  se condensan en Cond;

10

\*  $G_T$  en el estado líquido saturado o subenfriado llega a la parte inferior del condensador Cond en el que es aspirado gradualmente por PHA<sub>1</sub>, luego descargado en el estado líquido subenfriado en Evap;

- en el instante  $t_\beta$ , se cierra el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT', de modo que:

15

\* el vapor de  $G_T$  contenido en CT' continúa expandiéndose, adiabáticamente, y descarga  $L_T$  hasta un nivel bajo en CT' y luego a través de MH a CT en el que se alcanza el nivel alto;

\* el resto de los vapores de  $G_T$  contenidos en CT y descargados por el líquido  $L_T$  se condensan en Cond;

\*  $G_T$  en el estado líquido saturado o subenfriado llega a la parte inferior del condensador Cond en el que es aspirado gradualmente por PHA<sub>1</sub>, luego descargado en el estado líquido subenfriado en Evap.

20

- en el instante  $t_\gamma$ , se cierran los circuitos abiertos en el instante  $t_\beta$ , excepto el que permite la transferencia de  $G_T$  entre Cond y Evap, se abre el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT, por una parte, entre CT' y Cond, por otra parte, y se abre el circuito que permite la transferencia de  $L_T$  de CT a CT' pasando por el motor hidráulico MH, de modo que:

25

\*  $G_T$  se calienta y se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a presión elevada  $P_h$ , penetra en CT y descarga  $L_T$  en un nivel intermedio J;

\*  $L_T$  pasa a través de MH mientras se expande, luego  $L_T$  es descargado en CT' hasta el nivel intermedio I;

\* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT' y descargados por el líquido  $L_T$  se condensan en Cond;

30

\*  $G_T$  en el estado líquido saturado o subenfriado llega a la parte inferior del condensador Cond en el que es aspirado gradualmente por PHA<sub>1</sub>, luego descargado en el estado líquido subenfriado en Evap;

- en el instante  $t_\delta$ , se cierra el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT, de modo que:

35

\* el vapor de  $G_T$  contenido en CT continúa expandiéndose, adiabáticamente, y descarga  $L_T$  hasta un nivel bajo en CT y luego a través de MH a CT', en el que se alcanza el nivel alto;

\* el resto de los vapores de  $G_T$  contenidos en CT' y descargados por el líquido  $L_T$  se condensan en Cond;

\*  $G_T$  en el estado líquido saturado o subenfriado llega a la parte inferior del condensador Cond en el que es aspirado gradualmente por PHA<sub>1</sub>, y finalmente descargado en el estado líquido subenfriado en Evap.

40

entendiéndose que después de varios ciclos, la instalación funciona en un régimen permanente en el que la fuente caliente suministra continuamente calor a alta temperatura  $T_h$  en el evaporador Evap, el calor es suministrado continuamente por el condensador Cond al disipador de frío a  $T_b$ , y el trabajo es suministrado continuamente por la máquina.

45 17.

Procedimiento según la reivindicación 10 a partir de un estado inicial en el que todos los circuitos de comunicación del fluido de trabajo  $G_T$  y del líquido de transferencia  $L_T$  están obturados, **caracterizado porque**, en el instante  $t_0$  se acciona la bomba hidráulica PH, y luego el  $G_T$  es sometido a una sucesión de ciclos de Carnot modificados, cada uno de los cuales comprende las siguientes etapas:

50

- en el instante  $t_a$  se abren los circuitos de  $L_T$  que permiten, por una parte, la transferencia de  $L_T$  desde la cámara ABCD aguas arriba de la bomba hidráulica PH, por otra parte, la transferencia de  $L_T$  desde CT a CT' mediante la bomba hidráulica PH, de modo que:

55

\*  $G_T$  en el estado de equilibrio líquido/vapor en ABCD y en CT se expande de la presión alta  $P_h$  a la presión baja  $P_b$  y descarga  $L_T$  a través de PH en CT';

\* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT' son comprimidos adiabáticamente.

- en el instante  $t_\beta$ , el circuito de  $G_T$  se abre entre Evap y CT', por una parte, entre ABCD y Evap, por otra parte, de modo que:

60

\* el líquido de transferencia  $L_T$  es aspirado por la bomba PH que lo presuriza y lo descarga en CT';

\* los niveles de  $L_T$  en ABCD, CT y CT' pasan respectivamente de alto a bajo, de alto a un nivel intermedio J, y de bajo a un nivel intermedio I;

\* debido a que aumenta el volumen ocupado por los vapores de  $G_T$  en CT,  $G_T$  se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a baja presión  $P_b$  penetra en CT;

65

- \* los vapores de  $G_T$  contenidos en  $CT'$  siguen comprimiéndose adiabáticamente hasta alta presión  $P_h$ ;
- \*  $G_T$  en el estado de líquido saturado a baja presión  $P_b$  fluye por gravedad de ABCD a Evap.

5 - en el instante  $t_y$  el circuito de  $G_T$  entre ABCD y Evap está cerrado, el circuito de  $L_T$  entre ABCD y aguas arriba de la bomba PH está cerrado, se abre el circuito de  $G_T$  entre  $CT'$  y Cond, por una parte, entre Cond y ABCD, por otra parte, y se abre el circuito de  $L_T$  aguas abajo de la bomba PH y ABCD, de modo que:

- \*  $L_T$  de nuevo es aspirado por la bomba PH que lo presuriza y lo descarga en  $CT'$ ;
- \* los niveles de  $L_T$  en ABCD,  $CT$  y  $CT'$  pasan respectivamente de bajo a alto, del nivel intermedio J a bajo, y del nivel intermedio I a alto;
- \* debido a que aumenta el volumen ocupado por los vapores de  $G_T$  en  $CT$ ,  $G_T$  se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a baja presión  $P_b$  penetra en  $CT'$ ;
- \* los vapores de  $G_T$  contenidos en  $CT'$ , a alta presión  $P_h$ , son descargados por  $L_T$  y condensados en Cond;
- \*  $G_T$  en el estado de líquido saturado fluye por gravedad de Cond a ABCD.

15 - en el instante  $t_b$ , se cierran todos los circuitos abiertos en el instante  $t_y$ , se abren los circuitos de  $L_T$  que permiten la transferencia de  $L_T$ , por una parte, desde la cámara ABCD aguas arriba de la bomba hidráulica PH, y por otra parte desde  $CT'$  a  $CT$  pasando por la bomba hidráulica PH, de modo que:

- \*  $G_T$  en el estado de equilibrio líquido/vapor en ABCD y en  $CT'$  se expande de presión alta  $P_h$  a la presión baja  $P_b$  y descarga  $L_T$  a través de PH en  $CT'$ ;
- \* los vapores de  $G_T$  contenidos en  $CT$  se comprimen adiabáticamente.

20 - en el instante  $t_e$ , el circuito de  $G_T$  se abre entre Evap y  $CT'$ , por una parte, entre ABCD y Evap, por otra parte, de modo que:

- \*  $L_T$  es aspirado por la bomba PH que lo presuriza y lo descarga en  $CT'$ ;
- \* los niveles de  $L_T$  en ABCD,  $CT$  y  $CT'$  pasan respectivamente de alto a bajo, de bajo a un nivel intermedio I, y de alto a un nivel intermedio J;
- \* debido a que el volumen ocupado por los vapores de  $G_T$  en  $CT'$  aumenta,  $G_T$  se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a baja presión  $P_b$  penetra en  $CT'$ ;
- \* los vapores de  $G_T$  contenidos en  $CT$  siguen comprimiéndose adiabáticamente a alta presión  $P_h$ ;
- \*  $G_T$  en el estado de líquido saturado a baja presión  $P_b$  fluye por gravedad de ABCD a Evap;

35 - en el instante  $t_a$ , el circuito de  $G_T$  entre ABCD y Evap está cerrado, el circuito de  $L_T$  entre ABCD y aguas arriba de la bomba PH está cerrado, se abre el circuito de  $G_T$  entre  $CT$  y Cond, por una parte, entre Cond y ABCD, por otra parte, y se abre el circuito de  $L_T$  entre aguas abajo de la bomba PH y ABCD, de modo que:

- \*  $L_T$  de nuevo es aspirado por la bomba PH que lo presuriza y lo descarga en  $CT'$ ;
- \* los niveles de  $L_T$  en ABCD,  $CT$  y  $CT'$  pasan respectivamente de bajo a alto, del nivel intermedio I a alto, y del nivel intermedio J a bajo;
- \* debido a que el volumen ocupado por los vapores de  $G_T$  en  $CT'$  continúa aumentando,  $G_T$  se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a baja presión  $P_b$  penetra en  $CT'$ ;
- \* los vapores de  $G_T$  contenidos en  $CT$ , a alta presión  $P_h$ , son descargados por  $L_T$  y condensados en Cond;
- \*  $G_T$  en el estado de líquido saturado fluye por gravedad de Cond a ABCD.

entendiéndose que después de varios ciclos, la instalación funciona en un régimen permanente, y que:

50 - para la producción de frío, en el estado inicial,  $G_T$  se mantiene en el condensador Cond a alta temperatura por intercambio de calor con el disipador de calor a  $T_h$ , y en el evaporador Evap a una temperatura inferior o igual a  $T_h$  por intercambio de calor con un medio externo a la máquina, teniendo dicho medio inicialmente una temperatura  $T_h$ , y en régimen permanente, un trabajo neto es consumido por la bomba hidráulica PH, el condensador Cond evacua continuamente el calor al disipador de calor a alta temperatura  $T_h$ , y el calor es consumido continuamente por el evaporador Evap, con producción de frío al medio exterior en contacto con dicho evaporador Evap, siendo la temperatura  $T_b$  de dicho medio exterior estrictamente inferior a  $T_h$ ; para la producción de calor, en el estado inicial,  $G_T$  se mantiene en el evaporador Evap a baja temperatura por intercambio de calor con la fuente de frío a  $T_b$ ,  $G_T$  se mantiene en el condensador Cond a una temperatura  $T_h \geq T_b$  por intercambio de calor con un medio externo a la máquina, teniendo dicho medio inicialmente una temperatura  $\geq T_h$ ; y en régimen permanente, un trabajo neto es consumido por la bomba hidráulica PH, la fuente de frío a  $T_b$  proporciona calor continuamente al evaporador Evap, el condensador Cond evacua continuamente el calor al disipador de calor, produciendo la instalación calor al medio exterior en contacto con dicho condensador Cond, teniendo el medio exterior una temperatura  $T_h > T_b$ .

18. Procedimiento según la reivindicación 10, a partir de un estado inicial en el que todos los circuitos de comunicación del fluido de trabajo  $G_T$  y del líquido de transferencia  $L_T$  están obturados, **caracterizado porque**, en el instante  $t_0$  se acciona la bomba hidráulica PH y se abre el circuito de  $G_T$  entre Cond y Evap, y  $G_T$  es sometido a una sucesión de ciclos de Carnot modificados, cada uno de los cuales comprende las siguientes etapas:

## ES 2 758 376 T3

- en el instante  $t_\alpha$  se abre el circuito de  $L_T$  que permite la transferencia de  $L_T$  desde la cámara CT a la cámara CT' a través de la bomba hidráulica PH, y se abre el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT, de modo que:

- 5           \*  $L_T$  es aspirado por la bomba PH que lo presuriza y lo descarga en CT';  
          \* el nivel de  $L_T$  en CT pasa de alto a un nivel intermedio J, y en CT' pasa de bajo a un nivel intermedio I;  
          \* debido a que aumenta el volumen ocupado por los vapores de  $G_T$  en CT,  $G_T$  se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a baja presión  $P_b$  penetra en CT;  
          \* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT' siguen comprimiéndose adiabáticamente a alta presión  $P_h$ ;  
10          \*  $G_T$  en el estado de líquido saturado o subenfriado en Cond y a alta presión  $P_h$  se expande de forma isentálpica y se introduce en el estado de mezcla bifásica líquido/vapor y a baja presión  $P_b$  en el evaporador Evap.

- en el instante  $t_\beta$ , se abre el circuito de  $G_T$  entre CT' y Cond, de modo que:

- 15           \*  $L_T$  de nuevo es aspirado por la bomba PH que lo presuriza y lo descarga en CT';  
          \* el nivel de  $L_T$  en CT pasa del nivel intermedio J a bajo, y en CT' del nivel intermedio I a alto;  
          \* debido a que aumenta el volumen ocupado por los vapores de  $G_T$  en CT,  $G_T$  continúa aumentando,  $G_T$  se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a baja presión  $P_b$  penetra en CT;  
          \* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT', a alta presión  $P_h$ , son descargados por  $L_T$  y condensados en Cond.

20          - en el instante  $t_\gamma$ , se cierran todos los circuitos abiertos en el instante  $t_\beta$ , excepto el circuito de  $G_T$  entre Cond y Evap, se abre el circuito de  $L_T$  que permite la transferencia de  $L_T$  desde CT' a CT pasando por la bomba hidráulica PH, y se abre el circuito de  $G_T$  entre Evap y CT', de modo que:

- 25           \*  $L_T$  es aspirado por la bomba PH que lo presuriza y lo descarga en CT';  
          \* el nivel de  $L_T$  en CT pasa de bajo a un nivel intermedio I, y en CT' pasa de alto a un nivel intermedio J;  
          \* el volumen ocupado por los vapores de  $G_T$  en CT' aumenta, el fluido de trabajo  $G_T$  se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a baja presión  $P_b$  penetra en CT';  
          \* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT se comprimen adiabáticamente a alta presión  $P_h$ ;  
30          \*  $G_T$  en el estado de líquido saturado o subenfriado en Cond y a alta presión  $P_h$  se expande de forma isentálpica y se introduce en el estado de mezcla bifásica líquido/vapor y a baja presión  $P_b$  en el evaporador Evap;

- en el instante  $t_\delta$ , se abre el circuito de  $G_T$  entre CT y Cond, de modo que:

- 35           \*  $L_T$  de nuevo es aspirado por la bomba PH que lo presuriza y lo descarga en CT';  
          \* el nivel de  $L_T$  en CT pasa del nivel intermedio I a alto, y en CT' del nivel intermedio J a bajo;  
          \* debido a que el volumen ocupado por los vapores de  $G_T$  en CT' continúa aumentando,  $G_T$  se evapora en Evap y el vapor saturado de  $G_T$  que sale de Evap a baja presión  $P_b$  penetra en CT';  
          \* los vapores de  $G_T$  contenidos en CT, a alta presión  $P_h$ , son descargados por  $L_T$  y condensados en Cond;

40          entendiéndose que después de varios ciclos, la instalación funciona en un régimen permanente, y que:

- 45          - para la producción de frío: en el estado inicial,  $G_T$  se mantiene en el condensador Cond a alta temperatura por intercambio de calor con el disipador de calor a  $T_h$ , y en el evaporador Evap a una temperatura inferior o igual a  $T_h$  por intercambio de calor con un medio externo a la máquina, teniendo dicho medio inicialmente una temperatura  $\leq T_h$ ; y en un régimen permanente, un trabajo neto es consumido por la bomba hidráulica PH, el condensador Cond evacua continuamente el calor al disipador de calor a alta temperatura  $T_h$ , y el calor es consumido continuamente por el evaporador Evap, es decir, existe una producción de frío al medio exterior en contacto con dicho evaporador Evap, siendo la temperatura  $T_b$  de dicho medio exterior  $< T_h$ ;
- 50          - para la producción de calor: en el estado inicial,  $G_T$  se mantiene en el evaporador Evap a baja temperatura por intercambio de calor con la fuente de frío a  $T_b$ , en el condensador Cond a una temperatura  $\geq T_h$  por intercambio de calor con un medio externo a la instalación a una temperatura  $\geq T_h$ ; y en un régimen permanente, un trabajo neto es consumido por la bomba hidráulica PH, la fuente de frío a  $T_b$  aporta calor continuamente al Evap, y Cond evacua continuamente el calor al disipador de calor, es decir, existe una producción de calor al medio exterior en contacto
- 55          con Cond, siendo la temperatura  $T_h$  de dicho medio exterior superior a  $T_b$ .



FIG. 2

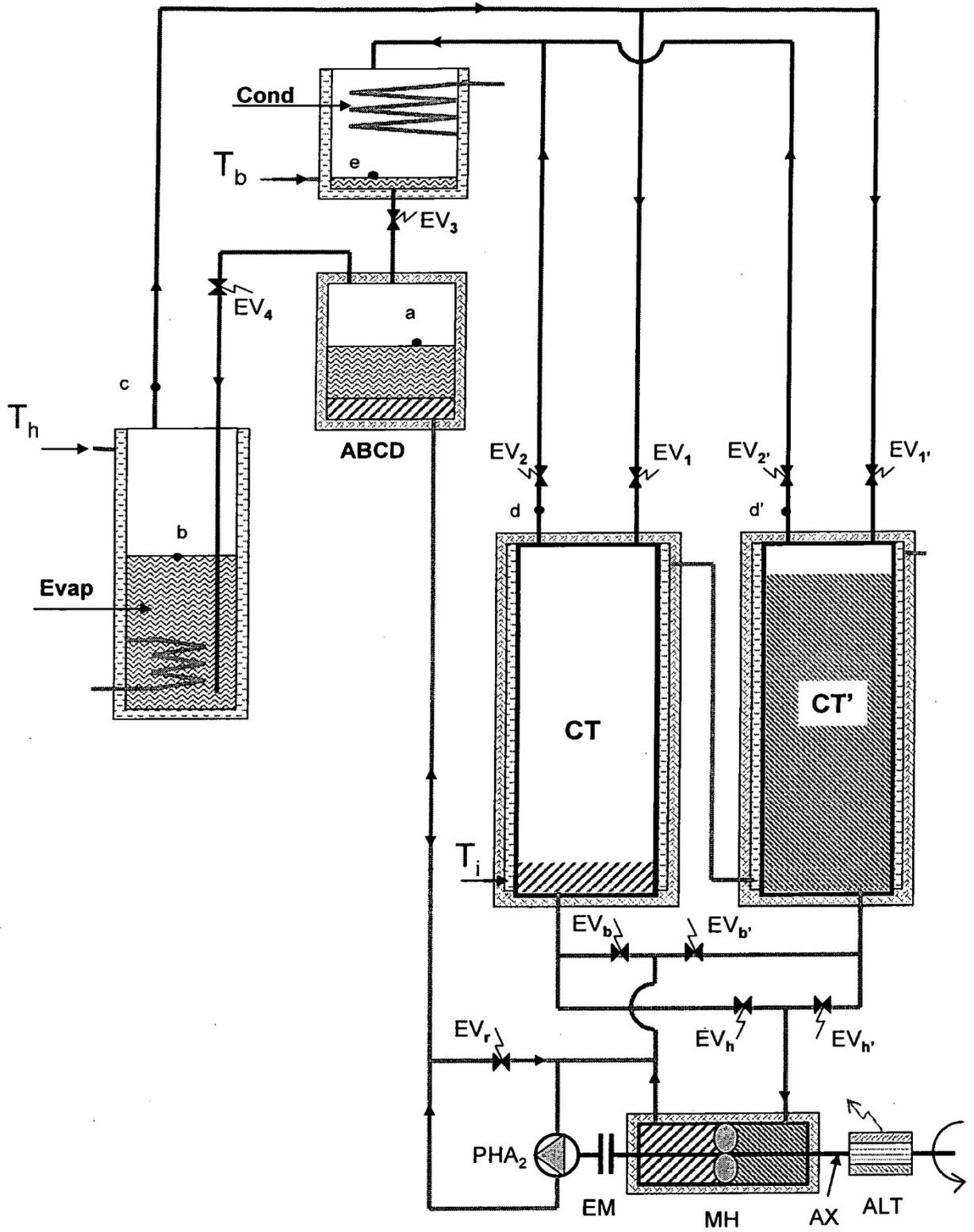


FIG. 4

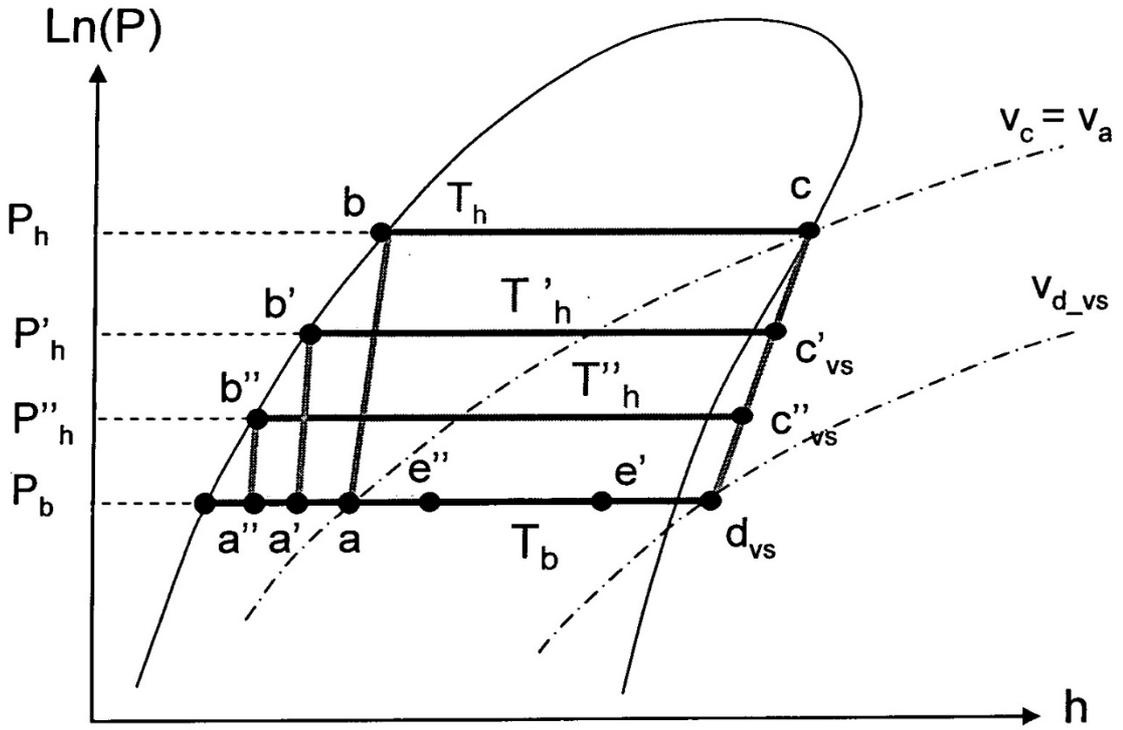


FIG. 6

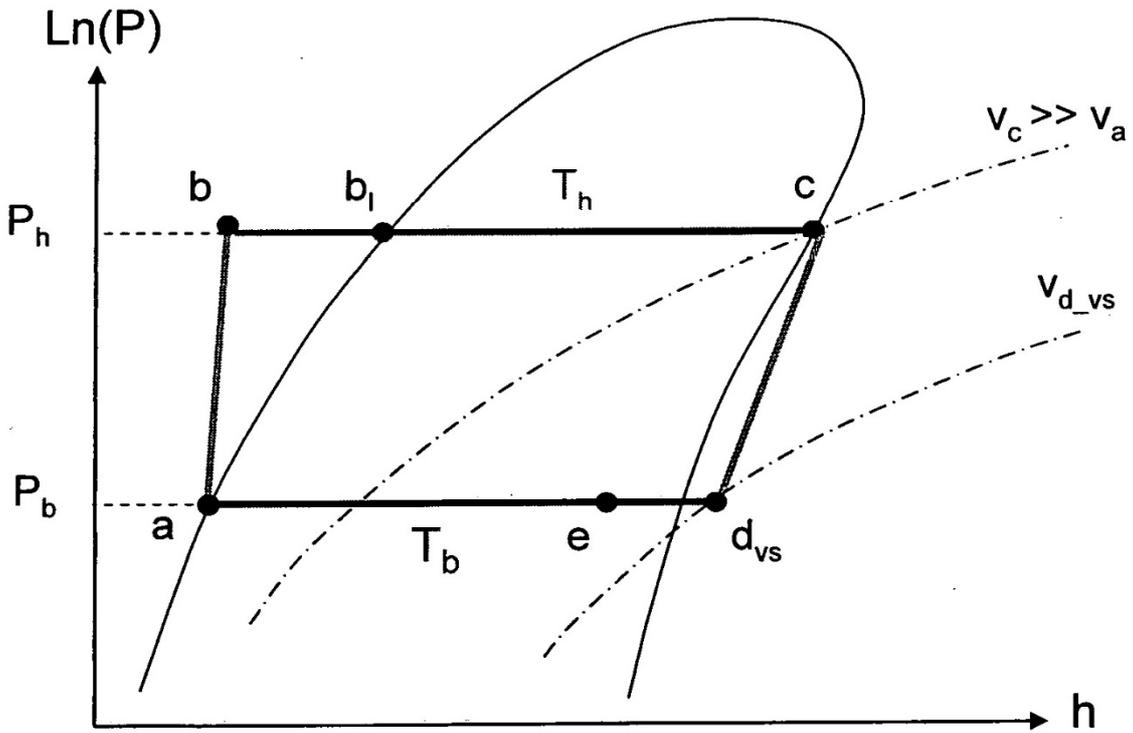


FIG. 5

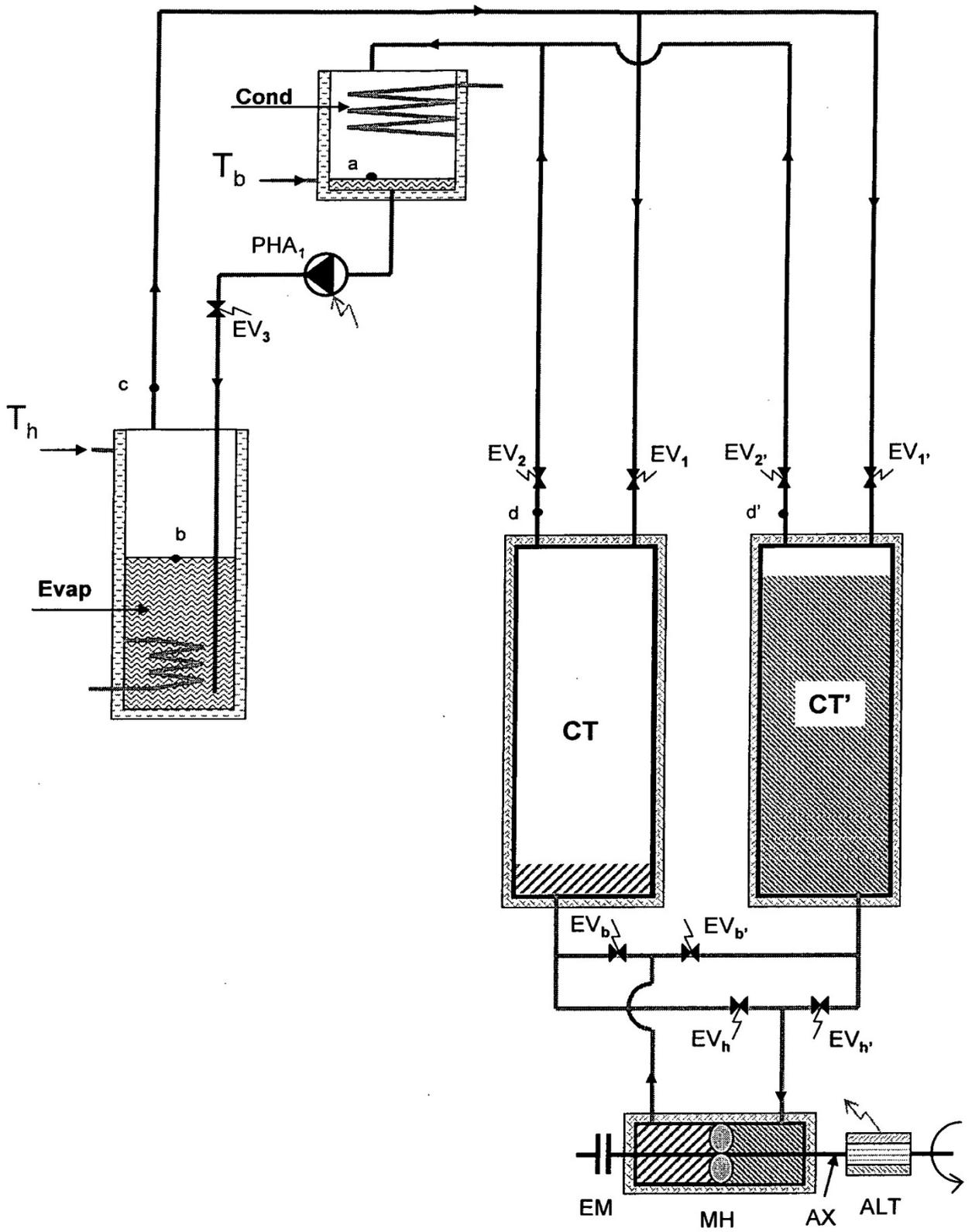


FIG. 7

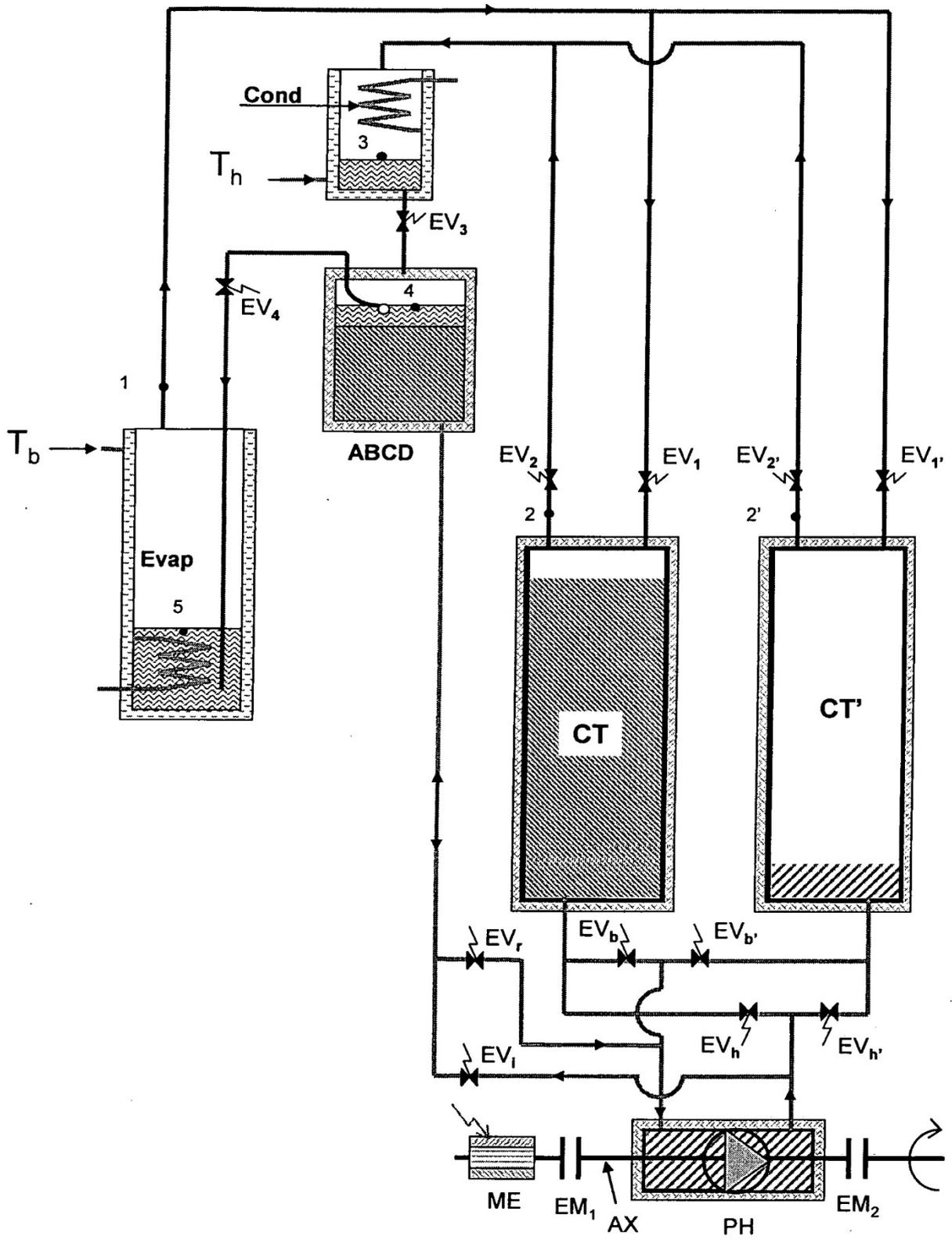


FIG. 9

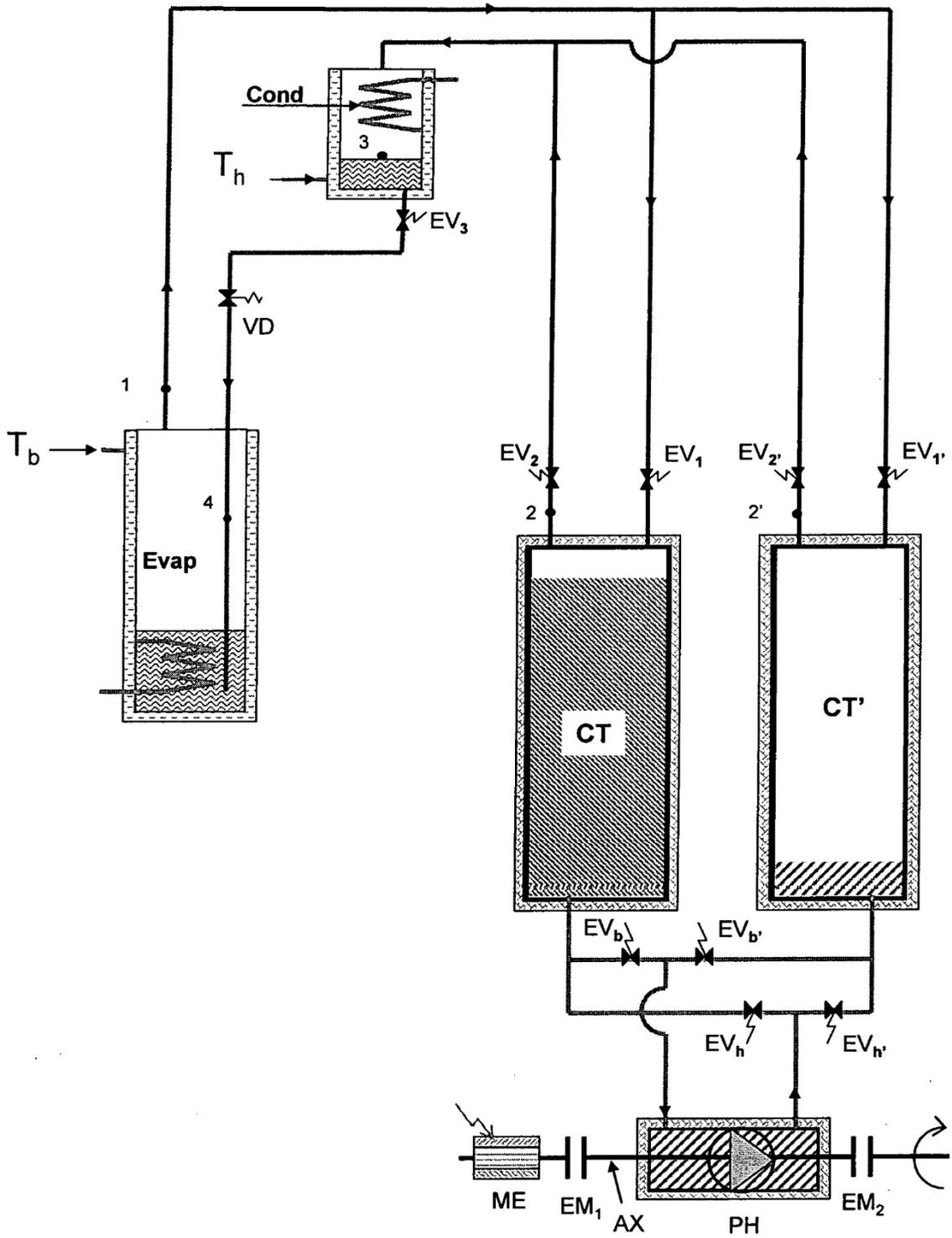




FIG. 11

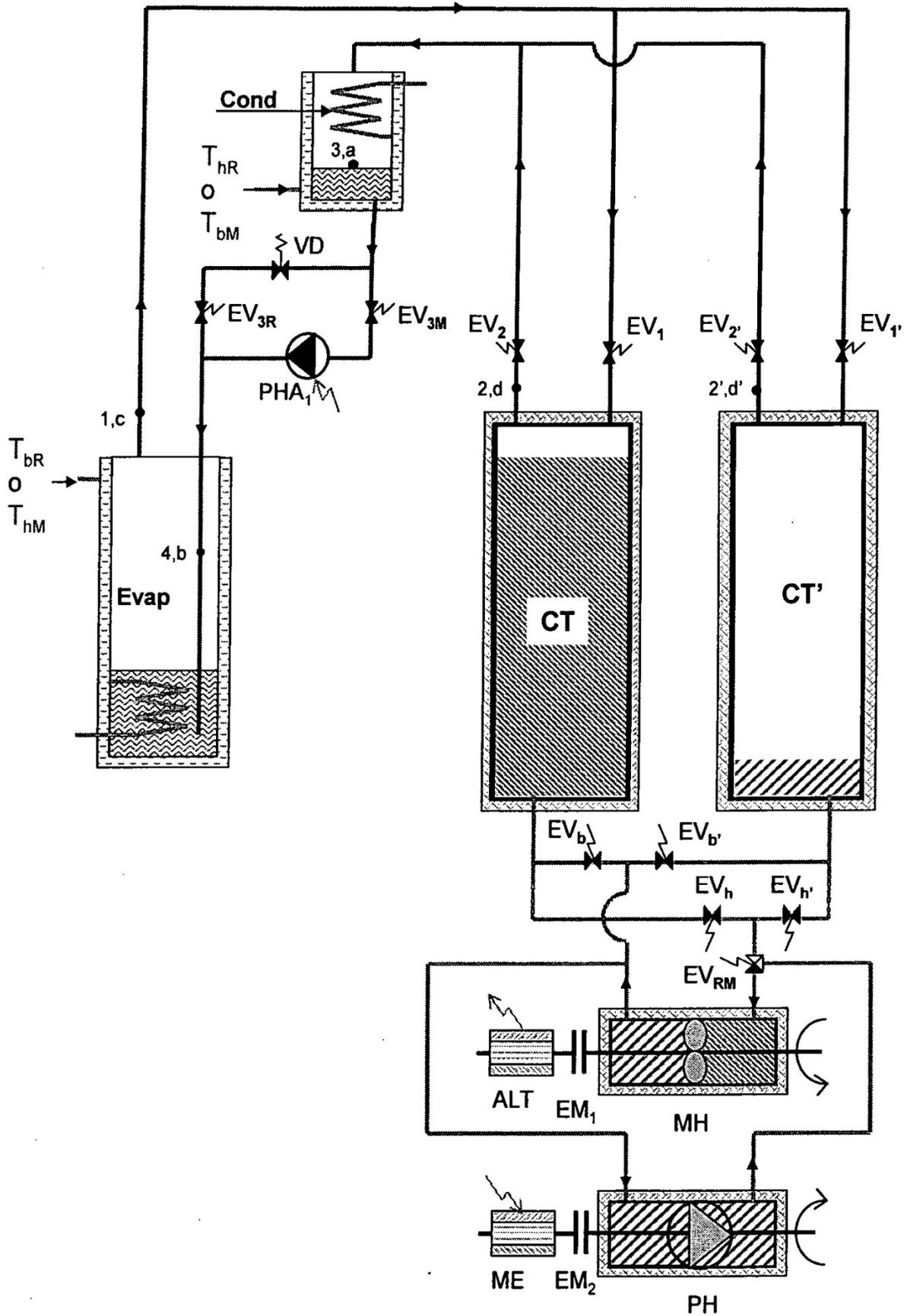


FIG. 12

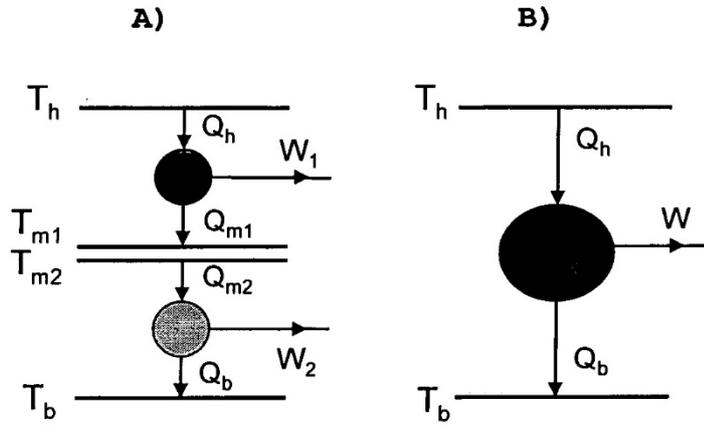


Fig. 13

Fig. 14

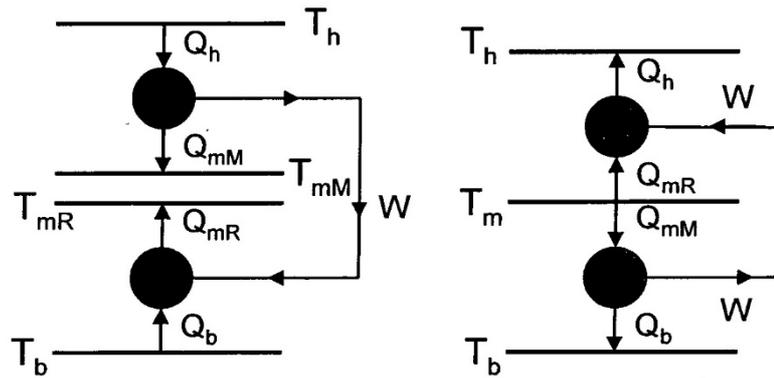


FIG. 15

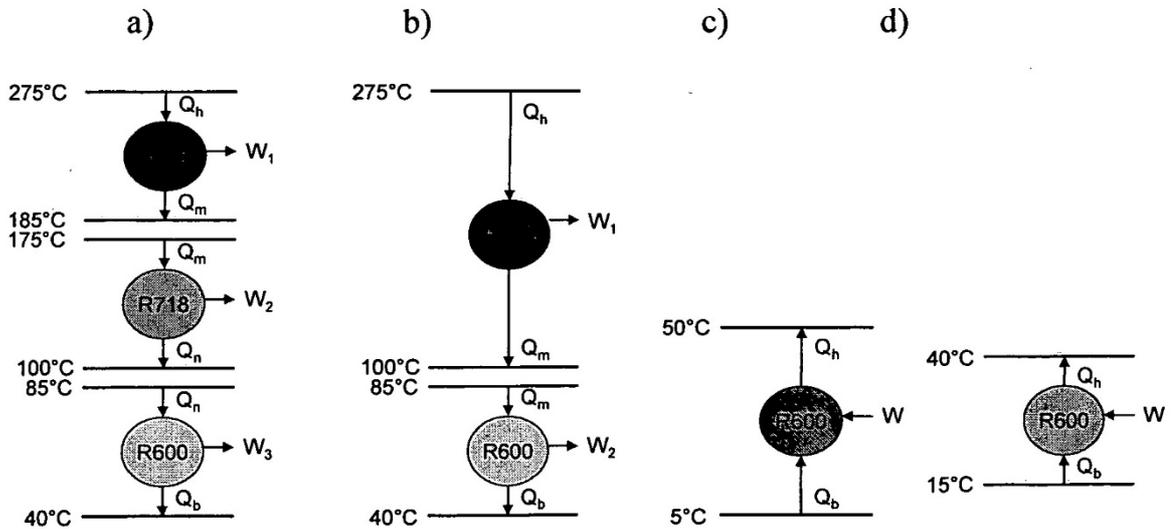


FIG. 15

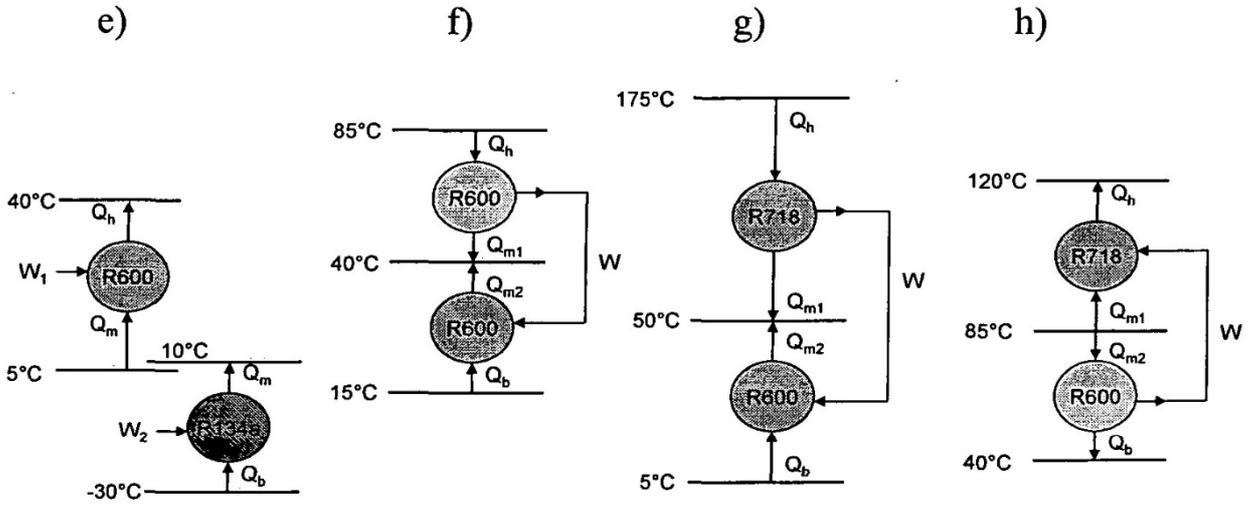


FIG. 16

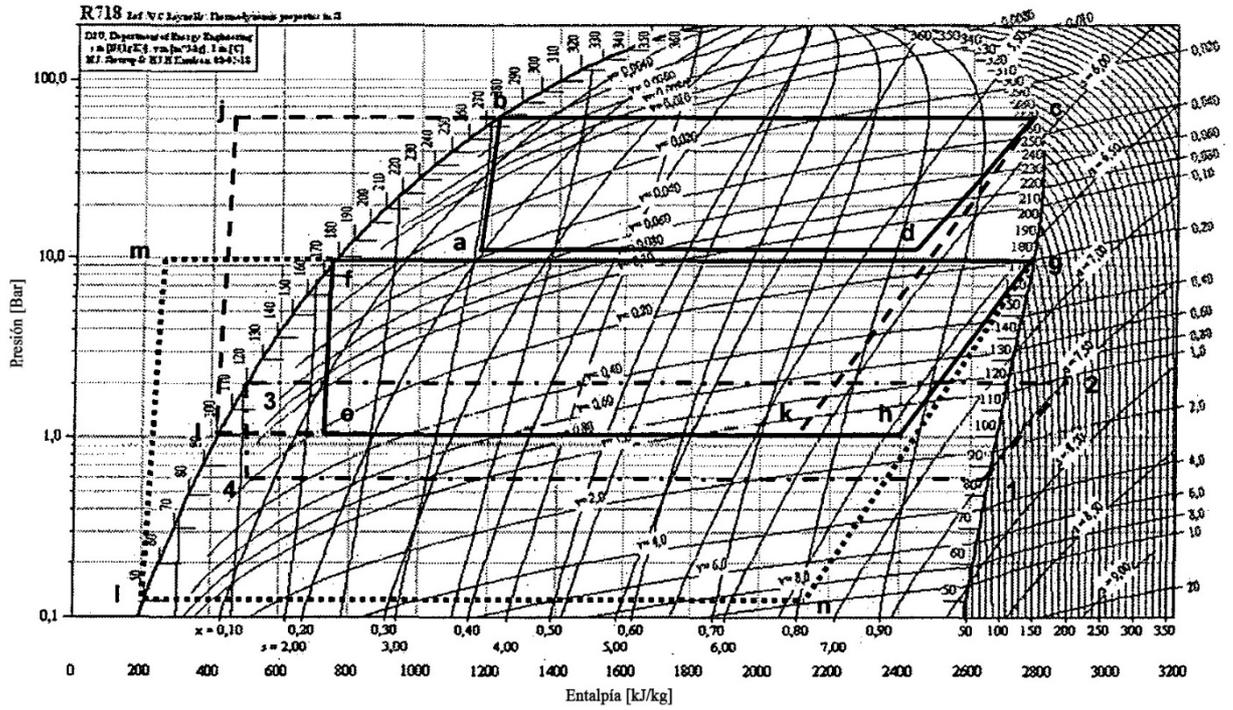


FIG. 17

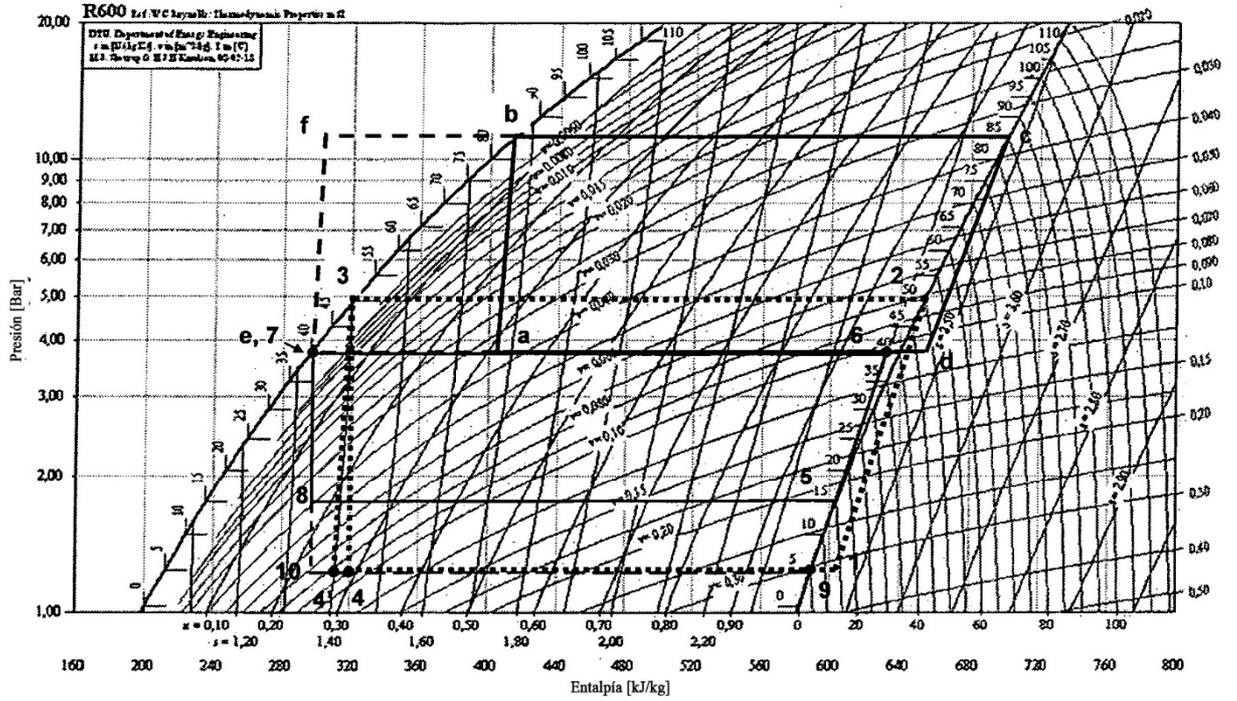


FIG. 18

