

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 956**

51 Int. Cl.:

F25B 1/02 (2006.01)

F25B 27/00 (2006.01)

F25B 29/00 (2006.01)

F01K 25/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.03.2010 PCT/FR2010/050543**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.09.2010 WO10109143**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.03.2010 E 10715979 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.03.2017 EP 2411743**

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

30 Prioridad:

25.03.2009 FR 0901398

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.08.2017

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:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 627 956 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 y procedimiento para la producción de frío y/o de calor

La presente invención se refiere a una instalación para la producción de frío y/o de calor.

PLANO DE FONDO TECNOLÓGICO

5 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 pozo de calor a dos niveles diferentes de temperatura. Se trata por tanto de una máquina "di-térmica". Es llamada 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 pozo frío a la temperatura T_b y el trabajo neto W es entregado por la máquina. A la inversa, en modo bomba de calor, el calor Q_b es tomado por el fluido de trabajo G_T en la fuente fría T_b , el calor Q_h es cedido por el fluido de trabajo al pozo caliente a la temperatura T_h y el trabajo neto W es consumido por la máquina.

10 De acuerdo con el 2º principio de la termodinámica, la eficacia de una máquina térmica (motriz o receptora), es decir una máquina real que funciona o no según el ciclo de Carnot, es como mucho igual a la de la máquina de Carnot ideal y no depende más que de las temperaturas de la fuente y del pozo. 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 ahora. En el curso del ciclo, el fluido de trabajo puede quedar siempre en el estado gaseoso o sufrir 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 medio ambiente se efectúan con una eficacia mayor que cuando el fluido de trabajo queda en el estado gaseoso. En el primer caso y para las mismas potencias térmicas intercambiadas al nivel de la fuente y del pozo de calor, las superficies de intercambio son menores (por 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 anteriores no permiten efectuar compresiones o expansiones de mezclas bifásicas. Según la técnica anterior actual, no se sabe realizar correctamente estas transformaciones.

15 Para remediar este problema, se ha considerado aproximarse al ciclo de Carnot comprimiendo iso-entrópicamente un líquido y expandiendo iso-entrópicamente 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.

20 Por otra parte se han desarrollado procedimientos llamados de « absorción » o de « reacción química » para finalidades de producción de frío a T_b y/o de calor a temperatura intermedia a T_m utilizando esencialmente calor a alta temperatura a T_h como fuente de energía externa, pero también un poco de trabajo para asegurar en particular la circulación de los fluidos portadores de calor. Cuando la finalidad del procedimiento es la producción de frío, su eficacia es cuantificada por un coeficiente de rendimiento COP_3 , relación "producto frío"/"energía « costosa » (calor a alta temperatura y trabajo) consumida". Cuando la finalidad del procedimiento es la producción de calor a una temperatura útil T_m , su eficacia es cuantificada por un coeficiente de amplificación COA_3 , relación "calor entregado a T_m " / "energía « costosa » (calor a alta temperatura y trabajo) consumida".

25 La asociación de una máquina de Carnot motriz, que funciona entre las temperaturas T_{hm} y T_{bm} y de una máquina de Carnot receptora, que funciona entre las temperaturas T_{br} y T_{hr} , podría asegurar las mismas funciones que los llamados procedimientos de « absorción », « adsorción » o de « reacción química » si todo el trabajo proporcionado por la máquina de Carnot motriz es recuperado por la máquina de Carnot receptora. En el caso general, las temperaturas T_{hm} , T_{bm} , T_{hr} , y T_{br} son distintas, y la asociación de las dos máquinas de Carnot es llamada « máquina de Carnot tetra-térmica ». Sin embargo, ciertas temperaturas pueden ser confundidas ($T_{bm} = T_{hr} = T_m$ o bien $T_{hm} = T_{br} = T_m$), la asociación de las dos máquinas de Carnot es entonces llamada « máquina de Carnot tri-térmica ».

Los coeficientes de rendimiento o de amplificación de cualquier procedimiento tri-térmico o tetra-térmico son como mucho iguales a los, referenciados COP_{C3} o COP_{C4} o COA_{C3} o COA_{C4} , de las máquinas de Carnot tri-térmica o tetra-térmica que funciona entre los mismos niveles de temperaturas, pero son generalmente inferiores.

30 En la práctica los procedimientos de absorción, adsorción o de reacción química del estado de la técnica actual tienen implicaciones muy inferiores a las de las máquinas de Carnot tri- o tetra-térmicas correspondientes. Típicamente las relaciones COP_3/COP_{C3} son del orden de 0,3.

Además numerosos procedimientos de absorción, adsorción o de reacción química utilizan el agua a débil presión (<10 kPa) como fluido de trabajo, lo que necesita una perfecta estanquidad frente al exterior e induce soluciones técnicas delicadas de poner en práctica para la integración de los diferentes elementos de la máquina en un mismo recinto en depresión.

La solicitud internacional WO2007/056240 describe una instalación tri-térmica o tetra-térmica para la producción de frío y/o de calor, que comprende una máquina térmica motriz y una máquina termodinámica receptora, en la que:

- La máquina motriz comprende por una parte medios que comprenden conductos y accionador es para hacer circular un fluido de trabajo y por otra parte, en el orden de circulación de dicho fluido de trabajo,
 - 5 – Un evaporador,
 - Al menos un cilindro de transferencia,
 - Un condensador,
 - Al menos un dispositivo de separación de las fases líquida y vapor del fluido de trabajo,
 - Un dispositivo que permite la presurización del fluido de trabajo en el estado líquido,
- 10 ➤ La máquina receptora comprende por una parte medios que comprenden conductos y accionadores para hacer circular un fluido de trabajo y por otra parte, en el orden de circulación de dicho fluido de trabajo,
 - Al menos un cilindro de transferencia,
- 15 ➤ Los cilindros de transferencia de la máquina motriz y de la máquina receptora están unidos por al menos un conducto que se puede obturar por accionadores y en el que puede circular exclusivamente el líquido de transferencia.

La solicitud internacional WO92/19924 se refiere a un procedimiento apto para producir una compresión isotérmica de un fluido compresible. Este documento describe ciclos de refrigeración que utilizan la energía mecánica proporcionada por fluidos de transferencia.

LA PRESENTE INVENCION

- 20 El propósito de la presente invención es proporcionar una instalación termodinámica tri-térmica o tetra-térmica que funciona según un ciclo próximo a los ciclos de Carnot, mejorada con relación a las instalaciones de la técnica anterior, es decir, una instalación 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 los ciclos motor y receptor de la instalación tri- o tetra-térmica en el curso de las etapas adiabáticas,
- 25 lo que implica mejores eficacias COP/COP_C o COA/COA_C.

Un primer objeto de la presente invención está constituido por una instalación para la producción de frío y/o de calor. Un segundo objeto está constituido por un procedimiento de producción de frío y/o de calor con la ayuda de dicha instalación.

- 30 Una instalación tri-térmica o tetra-térmica según la presente invención, para la producción de frío y/o de calor, comprende una máquina termodinámica motriz y una máquina termodinámica receptora, y está caracterizada por que :

a) la máquina motriz comprende por una parte medios que comprenden conductos y accionadores para hacer circular un fluido de trabajo G_M y por otra parte, en el orden de circulación de dicho fluido de trabajo G_M :

- un evaporador E_M ;
- 35 – al menos un cilindro de transferencia CT_M que contiene un líquido de transferencia LT en su parte inferior y el fluido de trabajo G_M en forma de líquido y/o de vapor por encima del líquido de transferencia ;
- un condensador C_M ;
- al menos un dispositivo BS_M de separación de las fases líquida y vapor del fluido de trabajo G_M ;
- un dispositivo que permite la presurización del fluido de trabajo G_M en el estado líquido ;

- 40 b) la máquina receptora comprende por una parte medios que comprenden conductos y accionadores para hacer circular un fluido de trabajo G_R y por otra parte, en el orden de circulación de dicho fluido de trabajo G_R :

- un condensador C_R ;
- al menos un dispositivo BS_R de presurización o de expansión y de separación de las fases líquida y vapor del fluido de trabajo G_R ;
- eventualmente un dispositivo de expansión D_R ;

- un evaporador E_R ;
- al menos un cilindro de transferencia CT_R que contiene el líquido de transferencia LT en su parte inferior y el fluido de trabajo G_R en forma de líquido y/o de vapor, por encima del líquido de transferencia ;

5 c) los cilindros CT_R y CT_M están unidos por al menos un conducto que se puede obturar por accionadores y en el que puede circular exclusivamente el líquido de transferencia LT.

Los accionadores pueden ser válvulas y/o chapaletas.

El dispositivo que permite la presurización es ventajosamente una bomba hidráulica PH.

10 El procedimiento de producción de frío o de calor con ayuda de una instalación según la presente invención consiste en hacer sufrir al fluido de trabajo G_M una sucesión de ciclos de Carnot modificados en la máquina motriz de la instalación, y está caracterizado por que cada ciclo de la máquina motriz es iniciado por aporte de calor al evaporador E_M e inicia un ciclo de Carnot modificado en la máquina receptora por transferencia de trabajo con ayuda del líquido de transferencia LT, entre al menos un cilindro de transferencia de la máquina motriz y al menos un cilindro de transferencia de la máquina receptora. Durante la utilización de la instalación, cada evaporado está unido a una fuente de calor y cada condensador está unido a un pozo de calor, por ejemplo por medio de intercambiadores de calor. Cada uno de los
15 evaporadores E_M y E_R está unido a la fuente de calor, respectivamente a la temperatura T_{hM} para E_M y T_{bR} para E_R . Cada uno de los condensadores C_M y C_R está unido a un pozo de calor, respectivamente a la temperatura T_{bM} para C_M y T_{hR} para C_R . Las diversas temperaturas son tales que $T_{bM} < T_{hM}$ y $T_{bR} < T_{hR}$.

En el presente texto:

20 - "ciclo de Carnot modificado di-térmico" significa un ciclo termodinámico que comprende las etapas del ciclo de Carnot, motor o receptor, teórico o etapas similares con un grado de reversibilidad inferior a 100%;

- "instalación tetra-térmica" designa una instalación que presentan las características a), b) y c) anteriores en las que las temperaturas T_{hM} , T_{bM} , T_{hR} y T_{bR} son diferentes;

25 - "instalación tri-térmica" designa una instalación que presentan las características a), b) y c) anteriores en la que o bien las temperaturas T_{bM} y T_{hR} son idénticas y las temperaturas T_{hM} y T_{bR} son diferentes, o bien las temperaturas T_{hM} y T_{bR} son idénticas y las temperaturas T_{bM} y T_{hR} son diferentes;

- "medio ambiente designa cualquier elemento exterior a la instalación tri- o tetra-térmica tal como se ha definido por las características a), b) y c) anteriores. El medio ambiente comprende en particular las fuentes y pozos de calor y los eventuales intercambiadores de calor;

30 - "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 medio ambiente 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, que en la práctica es inferior a 1, puede cuantificarse por la relación entre el rendimiento (o el coeficiente de rendimiento COP o de amplificación COA) del ciclo y el del ciclo de Carnot que funciona entre las mismas temperaturas extremas. Cuanto mayor es la reversibilidad del ciclo,
35 más próxima es esta relación a 1,

- "transformación isotérmica" significa una transformación estrictamente isotérmica o en condiciones próximas a la naturaleza isotérmica teórica, sabiendo que, en condiciones de puesta en práctica reales, durante una transformación considerada como isotérmica efectuada de manera cíclica, la temperatura T sufre ligeras variaciones, tales como $\Delta T/T$ de $\pm 10\%$;

40 - "transformación adiabática" significa una transformación sin ningún intercambio de calor con el medio ambiente o con intercambios de calor que se busca minimizar aislando térmicamente el fluido que sufre la transformación del medio ambiente.

Un ciclo de Carnot modificado di-térmico motor comprende las transformaciones sucesivas siguientes:

- una transformación isotérmica con intercambios de calor entre G_M y la fuente de calor a T_{hM} ;
- 45 - una transformación adiabática con disminución de la presión del fluido de trabajo G_M ;
- una transformación isotérmica con intercambio de calor entre G_M y el pozo de calor a T_{bM} ;
- una transformación adiabática con aumento de la presión del fluido de trabajo G_M .

Un ciclo de Carnot modificado di-térmico receptor comprende las transformaciones sucesivas siguientes:

- una transformación isotérmica con intercambio de calor entre G_R y la fuente de calor a T_{bR} ;
- una transformación adiabática con aumento de la presión del fluido de trabajo G_R ;
- una transformación isotérmica con intercambio de calor entre G_M y el pozo de calor a T_{hR} ;
- una transformación adiabática con disminución de la presión del fluido de trabajo G_R .

5 Cuando la temperatura T_{hM} es superior a la temperatura T_{hR} , la instalación tri- o tetra-térmica funciona en el modo llamado « motor HT / receptor BT ». La fig. 1a representa un esquema de principio de este modo de realización. En este primer caso, la aplicación considerada es la producción de frío a la temperatura T_{bR} inferior a la temperatura ambiente y/o la producción de calor (con $COA > 1$) a las temperaturas T_{bR} y T_{hM} superiores a temperatura ambiente.

10 Cuando la temperatura T_{hM} es inferior a la temperatura T_{hR} , la instalación tri- o tetra-térmica funciona en el modo llamado « motor BT / receptor HT ». La fig. 1b representa un esquema de principio de este modo de realización. En este segundo caso, la aplicación considerada es la producción de calor a la temperatura T_{hR} superior a las de las dos fuentes de calor a las temperaturas T_{bR} y T_{hM} (eventualmente idénticas), pero con un coeficiente de amplificación (relación del calor entregado a T_{hR} por el calor consumido a T_{bR} y T_{hM}) inferior a la unidad.

15 Más particularmente, el procedimiento según la presente invención es puesto en práctica en una instalación según la presente invención a partir de un estado inicial en el que:

- las máquinas motriz y receptora no están conectadas entre sí;
- en cada una de las máquinas, los accionadores que permiten la comunicación entre sus diferentes elementos constitutivos no están activados;
- la temperatura del conjunto de la instalación y particularmente de los fluidos G_M y G_R que contiene es igual a la temperatura ambiente;
- el líquido de transferencia LT en los cilindros de transferencia motores y receptores (CT_M y CT_R) están a niveles intermedios comprendidos entre los niveles mínimos y máximos en estos cilindros,

y comprende una sucesión de ciclos de Carnot modificados.

25 Los primeros ciclos constituyen la fase de arranque y permiten alcanzar el régimen permanente. Las acciones sucesivas realizadas en el curso de cada ciclo de la fase de arranque son las mismas que las del régimen permanente, pero sus efectos varían progresivamente de un ciclo al otro hasta la obtención del régimen permanente, en particular para los valores de las temperaturas y de las presiones de los fluidos de trabajo G_M y G_R y de las temperaturas de los fluidos portadores de calor que intercambian con las fuentes y pozos de calor.

30 Las acciones puestas en práctica durante la fase de arranque y que implican los intercambios con las fuentes y focos de calor dependen del modo de funcionamiento elegido, a saber « motor HT / receptor BT » o « receptor HT / motor BT ». Además, en el caso del modo « motor HT / receptor BT » dependen también de la aplicación considerada, a saber producción de frío o producción de calor.

35 En el caso en que el modo de funcionamiento de la instalación tri- o tetra-térmica es « motor HT / receptor BT » y donde la aplicación considerada es la producción de frío a una temperatura T_{bR} inferior a la temperatura ambiente, el primer ciclo de arranque está constituido por:

- una 1ª etapa que consiste en realizar simultáneamente las acciones siguientes :

- * puesta en comunicación térmica, mediante un fluido portador de calor, de la fuente caliente a T_{hM} y del evaporador E_M , lo que tiene como consecuencia aumentar la temperatura y la presión de vapor que satura de G_M en E_M ;
- 40 * puesta en comunicación de CT_M y E_M , lo que tiene como consecuencia una evaporación de G_M en E_M y una transferencia de G_M al estado vapor de E_M hacia CT_M ;
- * puesta en comunicación del dispositivo BS_M y de E_M , lo que tiene como consecuencia una transferencia de G_M líquido de BS_M hacia E_M ;
- 45 * puesta en comunicación de los cilindros CT_M y CT_R , lo que tiene como consecuencia una transferencia del líquido LT de CT_M hacia CT_R y una compresión de los vapores de G_R contenidos en CT_R ;
- * puesta en comunicación del cilindro CT_R y C_R , lo que tiene como consecuencia una transferencia de los vapores de G_R de CT_R hacia C_R , una condensación de dichos vapores en C_R (necesitando una evacuación de calor al pozo de calor inicialmente a temperatura ambiente pero que va progresivamente a alcanzar su valor

ES 2 627 956 T3

nominal T_{hR} superior o igual a la temperatura ambiente) y una acumulación de los condensados en el dispositivo BS_R ;

- una 2ª etapa que concierne principalmente a la máquina motriz y que consiste en realizar simultáneamente las acciones siguientes :

- 5 * detención de la circulación del fluido G_M en la máquina motriz y detención de la circulación del fluido G_R en la máquina receptora, y mantenimiento de la circulación de los fluidos portadores de calor que intercambian con la fuente de calor a T_{hM} y los pozos de calor en T_{hR} y T_{bM} ;
- 10 * puesta en comunicación de CT_M y C_M , lo que tiene como consecuencia una transferencia de G_M de CT_M hacia C_M , una disminución de la presión de G_M en CT_M , una condensación de G_M en C_M (necesitando una evacuación de calor al pozo de calor inicialmente a temperatura ambiente pero que va progresivamente a alcanzar su valor nominal T_{bM} superior o igual a la temperatura ambiente) y una acumulación de los condensados en el dispositivo BS_M ;

- una 3ª etapa que consiste en realizar simultáneamente las acciones siguientes :

- 15 * puesta en comunicación de BS_R y del evaporador E_R , lo que tiene como consecuencia transvasar una parte del líquido G_R de BS_R hacia E_R , siendo entonces la presión de vapor de G_R en E_R superior a la existente en CT_M ;
- * puesta en comunicación de los cilindros CT_R y CT_M , teniendo el equilibrado casi-instantáneo de las presiones que se produce en estos dos cilindros como consecuencias :
- = una transferencia del líquido LT de CT_R hacia CT_M ,
- = una compresión de los vapores de G_M contenidos en CT_M ,
- 20 = una expansión y una evaporación endotérmica de G_R en E_R ,
- = una condensación de los vapores de G_M en C_M (necesitando una evacuación de calor al pozo de calor a la temperatura T_{bM}) y la acumulación de los condensados de G_M en BS_M .
- = una disminución de la temperatura del fluido G_R que queda en estado líquido en E_R hasta la temperatura de saturación para la presión resultante después de la puesta en comunicación de CT_R y CT_M ;

25 - una 4ª etapa que concierne principalmente a la máquina receptora y que consiste en realizar simultáneamente las acciones siguientes :

- * detención de la circulación del fluido G_M en la máquina motriz y detención de la circulación del fluido G_R en la máquina receptora, y mantenimiento de la circulación de los fluidos portadores de calor que intercambian con la fuente de calor a T_{hM} y los pozos de calor a T_{hR} y T_{bM} ;
- 30 * puesta en comunicación de BS_R y CT_R , lo que tiene como consecuencia una evaporación de G_R en BS_R , una transferencia de G_R de BS_R hacia CT_R , un aumento de la presión de G_R en CT_R , un intercambio de calor entre el dispositivo BS_R con la fuente a T_{hR} y un consumo de calor al nivel de BS_R .

35 En el modo operatorio anterior, la circulación de los fluidos puede ser gestionada con ayuda de accionadores colocados entre los diferentes elementos de la máquina motriz (para el fluido G_M) o entre los diferentes elementos de la máquina receptora (para el fluido G_R). Los accionadores puede ser ventajosamente válvulas, eventualmente acopladas a un dispositivo de presurización tal como por ejemplo una bomba hidráulica (en particular entre el dispositivo BS_M y el evaporador E_M de la máquina motriz) o un dispositivo de expansión (en particular entre el dispositivo BS_R y el evaporador E_R de la máquina receptora.

40 A la salida de este 1^{er} ciclo el nivel de LT es máximo en CT_M , mínimo en CT_R , la temperatura de G_M es próxima a T_{hM} en E_M quedando inferior a T_{hM} , y próxima de T_{bM} en C_M quedando superior a T_{bM} , la temperatura de G_R es próxima de T_{hR} en CR y BS_R quedando superior a T_{hR} y la temperatura de G_R en E_R es inferior a su temperatura inicial. Cada ciclo induce una disminución de la temperatura G_R en E_R . Cuando la temperatura de G_R en E_R alcanza un valor próximo de T_{bR} (por valor inferior), la fase de arranque es terminada y se hace circular el fluido portador de calor en el evaporador E_R , que produce entonces frío a la temperatura T_{bR} . El régimen permanente es alcanzado. Los ciclos siguientes de la instalación

45 tri- o tetra-térmica son idénticos a los de los ciclos de arranque (a contar desde el segundo) excepto en el hecho de que esta vez todas las fuentes y pozos de calor están conectados.

50 Cuando el modo de funcionamiento de la instalación tri- o tetra-térmica es « motor HT / receptor BT » y la aplicación considerada es la producción de calor a las temperaturas T_{bM} y T_{hR} (eventualmente idénticas) superiores a la temperatura ambiente, sabiendo que se dispone de las fuentes de calor a T_{hM} y T_{bR} , la fase de arranque de dicha máquina es similar a la fase de arranque descrita anteriormente. La diferencia no recae más que sobre la fase transitoria

de puesta en temperatura antes de la conexión del fluido portador de calor. En el caso precedente esta fase transitoria concernía a G_R en E_R , mientras que en el caso presente, concierne a G_R en C_R y a G_M en C_M .

5 De la misma manera, cuando el modo de funcionamiento de la instalación tri- o tetra-térmica es « receptor HT / motor BT » y la aplicación considerada es la producción de calor a la temperatura T_{hR} superior a la temperatura de fuentes de calor a T_{bR} y T_{hM} (eventualmente idénticas, a partir de un pozo de calor a T_{bM} , la fase de arranque de dicha máquina similar a la fase de arranque descrita anteriormente, excepto en el hecho de que la fase transitoria de puesta a temperatura a T_{hR} antes de la conexión del fluido portador de calor concierne a G_R en C_R .

10 El fluido de trabajo G_T (que designa de manera indiferente a G_R o a G_M) y el líquido de transferencia LT son elegidos de tal manera que G_T sea débilmente soluble, de preferencia insoluble en LT, que G_T no reaccione con LT y que G_T en estado líquido sea menos densa que LT. Cuando la solubilidad de G_T en LT es demasiado importante o si G_T en estado líquido es más densa que LT, es necesario aislarlas una de la otra por un medio que no impida el intercambio de trabajo entre los cilindros CT_M y CT_R . Dicho medio puede consistir por ejemplo en una membrana flexible interpuesta entre G_T y LT, creando dicha membrana una barrera impermeable entre los dos fluidos pero no oponiendo más que una muy pequeña resistencia al desplazamiento del líquido de transferencia así como una débil 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 LT). Un flotador puede constituir una barrera material grande, pero es difícil hacerle perfectamente eficaz si no se quieren rozamientos sobre la pared lateral de los recintos 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 La fig. 2a representa un cilindro de transferencia CT que contiene un líquido de transferencia LT y fluido de trabajo G_T no miscibles, siendo LT más densos que G_T líquido. 1 designa el conducto que permite la salida o la entrada del líquido de transferencia, 2 y 3 designan los conductos que permiten la entrada y la salida de G_T , y 4 designa un revestimiento aislante térmico.

25 La fig. 2b representa un cilindro de transferencia en el que LT y G_T están separados por una membrana flexible 5 fijada a la parte superior del cilindro LT por ejemplo por una brida 6.

La fig. 2c representan cilindro de transferencia en el que LT y G_T están separados por un flotador 7.

30 El líquido de transferencia LT es elegido entre los líquidos que tienen una pequeña presión de vapor que satura 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 LT al nivel del condensador o del evaporador. Bajo reserva de las compatibilidades con G_T mencionadas precedentemente y a título de ejemplos no exhaustivos, LT puede ser agua, o un aceite mineral o sintético, que tiene de preferencia una pequeña viscosidad.

35 El fluido de trabajo G_T sufre transformaciones en el dominio termodinámico de temperatura y presión de preferencia compatible con el equilibrio líquido - vapor, es decir entre la temperatura de fusión y la temperatura crítica. Sin embargo en el curso del ciclo de Carnot modificado, algunas de estas transformaciones pueden intervenir en la totalidad o en parte en el dominio del líquido sub-enfriado o del vapor sobrecalentado, o el dominio supercrítico. Un fluido de trabajo es elegido de preferencia entre los cuerpos puros y las mezclas azeotrópicas, para tener una relación mono-variante entre la temperatura y la presión en el equilibrio líquido - vapor. Sin embargo, una instalación según la invención puede igualmente funcionar con una solución no azeotrópica como fluido de trabajo.

40 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 de preferencia de 1 a 15 (más particularmente de 1 a 10) átomos de carbono, y los arcanos parcial o totalmente fluorados o clorados que tienen de preferencia de 1 a 15 (más particularmente de 1 a 10) átomos de carbono. Se puede citar en particular el 1,1,1,2-tetrafluoroetano, el propano, el isobutano, el n-butano, el ciclobutano, o el n-pentano. La fig. 3 representa las curvas de equilibrio líquido/vapor para algunos de los fluidos G_T antes citados. La presión de vapor que satura P (en bar) está dada en ordenadas, en escala logarítmica, en función de la temperatura T (en °C) dada en abscisas.

50 De manera general, los fluidos de trabajo G_R y G_M y los líquidos de transferencia LT son elegidos en primer lugar en función de las temperaturas de las fuentes de calor y de los pozos de calor disponibles, así como de las presiones de vapor que satura máximas o mínimas deseadas en la máquina, a continuación en función de otros criterios tales como en particular la toxicidad, la influencia para el medio ambiente, la estabilidad química, y el costo.

55 El fluido G_T puede estar en los recintos CT_M o CT_R en el estado de mezcla bifásica líquido/vapor a la salida de la etapa de expansión adiabática para el ciclo de Carnot di-térmico modificado motor o de compresión adiabática para el ciclo de Carnot di-térmico modificado receptor. En este caso la fase líquida de G_T puede acumularse en la interfaz entre G_T y LT. Cuando el contenido en vapor de G_T es grande (típicamente comprendido entre 0,95 y 1) en los recintos CT_M o CT_R antes de la conexión de dichos recintos con sus condensadores respectivos C_M o C_R , se puede considerar eliminar

totalmente la fase líquida de G_T en estos recintos. Esta eliminación puede ser efectuada manteniendo la temperatura del fluido de trabajo G_T en los recintos CT_M o CT_R al final de las etapas de puesta en comunicación de los recintos CT_M o CT_R y de sus condensadores respectivos, a un valor superior al del fluido de trabajo G_T , en el estado líquido en dichos condensadores, de manera que no haya G_T líquido en CT_M o CT_R en este instante.

5 En un modo de realización, la instalación comprende medios de intercambio de calor entre por una parte de las fuentes y pozos de calor que están a temperaturas diferentes, y por otra parte los evaporadores, condensadores y eventualmente el fluido de trabajo G_T en los recintos de transferencia CT_M y CT_R de manera que elimine cualquier riesgo de condensación de G_M en CT_M o G_R en CT_R . La fig. 4 representa un modo de realización de un cilindro de transferencia que permite un intercambio de calor. Dicho cilindro comprende una doble envolvente 8 en la que puede circular un fluido portador de calor, con una entrada 9 y una salida 10 para dicho fluido portador de calor.

En el presente texto, un elemento que comprende un cilindro de transferencia CT_M y un cilindro de transferencia CT_R es designado por "elemento CT_M/CT_R ".

En un 1^{er} modo de realización correspondiente a una configuración de base, una instalación según la presente invención comprende un solo elemento CT_M/CT_R .

15 En un 2^o modo de realización, una instalación comprende dos elementos CT_M/CT_R designados por CT_M/CT_R y CT_M/CT_R .

En un 3^{er} modo de realización, una instalación comprende dos elementos CT_M/CT_R y CT_M/CT_R , dos dispositivos de presurización distintos designados por BS_{M1} y BS_{M2} para la máquina motriz, y dos dispositivos de presurización distintos designados por BS_{R1} y BS_{R2} para la máquina receptora.

20 La fig. 5 representa un ejemplo de instalación según la configuración de base del 1^{er} modo de realización (designado por U0), es decir que comprende un solo elemento CT_M/CT_R . En este ejemplo:

- la máquina motriz comprende:

- * una bomba hidráulica PH que asegura la circulación del fluido en el estado líquido;
- * un evaporador E_M conectado a una fuente de calor a temperatura T_{hm} ;
- * un cilindro de transferencia CT_M que contiene en parte inferior un líquido de transferencia LT, y en la parte superior el fluido motor G_M ;
- * un condensador C_M ;
- * una botella separadora BS_M que recupera los condensados;
- * electro válvulas EV_c y EV_d sobre los conductos entre CT_M y respectivamente el evaporador E_M y el condensador C_M ;
- * una electro válvula EV_a entre BS_M y la bomba hidráulica PH;

- la máquina receptora comprende:

- * un evaporador E_R ;
- * un cilindro de transferencia CT_R que contiene en la parte inferior el mismo líquido de transferencia LT, y en la parte superior el fluido receptor G_R ;
- * un condensador C_R ;
- * una botella separadora BS_R que recupera los condensados y que asegura además puntualmente la función de evaporador a la temperatura T_{hr} ;
- * un dispositivo de expansión de líquido D;
- * electroválvulas EV_1 y EV_2 sobre los conductos entre CT_R y respectivamente el evaporador E_R y el condensador C_R ;
- * una electroválvula EV_3 entre BS_R y el dispositivo de expansión D;

- las máquinas motriz y receptora están unidas por un conducto conectado a la parte inferior de CT_R y de CT_M que se puede obturar por la válvula EV_T .

En el modo de realización de la fig. 5, que corresponde a la configuración de base U0, cada uno de los cilindros de

transferencia representado está aislado térmicamente del medio ambiente y corresponde a la fig. 2a. Podría ser reemplazado por un cilindro mantenido a una temperatura suficiente para impedir cualquier condensación de G_M (o G_R) en CT_M (CT_R) según la forma representada en la fig. 4.

5 Los ciclos termodinámico seguidos por los fluidos receptor G_R y motor G_M en la instalación segunda variante U0 están descritos en el diagrama de Mollier (respectivamente fig. 6a y 6b), que representa $\ln P$ (logaritmo de la presión) en función de h (entalpía másica del fluido) y en el diagrama de Clausius-Clapeyron (figs. 6c y 6d) que da $\ln(P)$ en función de $(-1/T)$. La posición relativa de las rectas de equilibrio para los fluidos G_R y G_M en el diagrama de Clausius-Clapeyron difiere según que el modo de funcionamiento de la instalación tri- o tetra-térmica es del tipo « motor HT / receptor BT » (fig. 6c) o del tipo « receptor HT / motor BT » (Fig. 6d).

10 Un ciclo de funcionamiento de una instalación según la fig. 5 está constituido de 4 fases sucesivas que comienzan respectivamente en los instantes t_a , t_b , t_y y t_δ que están descritos a continuación en el caso del modo de funcionamiento « motor HT / receptor BT ». La descripción de un ciclo se hace para un funcionamiento en régimen permanente. Salvo indicación contraria, las electroválvulas están cerradas.

Fase $\alpha\beta$ (entre los instantes t_a y t_b)

15 En el instante inmediatamente precedente t_a , el nivel del líquido de transferencia LT es bajo (indicado B) en el cilindro CT_R y alto (indicado H) en el cilindro CT_M y la presión de los vapores que saturan de los fluidos receptor y motor es baja igual a P_b en los dos cilindros. Es en este instante del ciclo que corresponde a la configuración de la instalación representada esquemáticamente en la fig. 5.

20 En el instante t_a , se abre EV_2 lo que pone en comunicación el cilindro CT_R , el condensador C_R y la botella separadora BS_R en la que la presión de vapor del fluido receptor G_R es igual a P_h . La presión en el cilindro CT_R es entonces impuesta rápidamente por el equilibrio liquido-vapor de G_R en la botella BS_R , desempeñando esta última entonces la función de evaporador inundado. El valor necesario para la evaporación de G_R en BS_R es proporcionado a la temperatura T_{hR} . Entre los instantes t_a y t_b , el fluido G_R contenido en el cilindro CT_R sigue la transformación 1→2 descrita en las figs. 6a y 6c.

Fase $\beta\gamma$ (Entre los instantes t_b y t_y)

25 En el instante t_b , es decir cuando la presión de G_R en CT_R alcanza el valor P_h , se deja EV_2 abierta y simultáneamente se abren las electroválvulas EV_a , EV_c , EV_T y se pone en marcha el activador de circulación PH. Las consecuencias son:

- al nivel del circuito motor:

30 El líquido G_M es aspirado en la botella BS_M , impulsado por el activador de circulación en E_M donde se evapora tomando calor de la fuente caliente a T_{hM} . El caudal de introducción de líquido G_M en el evaporador es igual al caudal de vapor saturado a la salida, de manera que este evaporador queda siempre lleno y conserva una eficacia constante para el intercambio térmico. Al ocupar los vapores saturados de G_M un volumen más importante que G_M líquido, el líquido de transferencia en el cilindro CT_M es impulsado hacia abajo. Durante esta fase $\beta\gamma$, El fluido G_M sigue las transformaciones $a \rightarrow b \rightarrow b_i \rightarrow c$ descritas en las figs. 6b y 6c. El calor necesario para el calentamiento del líquido sub-enfriado (transformación $b \rightarrow b_i$) y luego en la evaporación de G_M (transformación $b_i \rightarrow c$) es proporcionado por la fuente caliente a alta temperatura T_{hM} . Un pequeño trabajo W_{ab} es consumido por el activador de circulación para la transformación $a \rightarrow b$ mientras que un trabajo más importante W_h es transferido durante la transformación $b_i \rightarrow c$ hacia el circuito receptor por medio del líquido de transferencia LT que desempeña la misión de un pistón líquido.

- al nivel del circuito receptor:

40 El líquido de transferencia LT en el cilindro CT_R es impulsado hasta el nivel alto (indicado H), los vapores saturados de G_R se condensan en C_R y los condensados se acumulan en BS_R . Durante esta fase $\beta\gamma$ el fluido G_R sigue la transformación 2→2_i→3 descrita en las figs. 6a y 6c. El calor de condensación de G_R es entregado a la temperatura T_{hR} . El sub-enfriamiento de G_R puede ser muy pequeño, casi nulo. Si es nulo, los puntos 2 y 3 de la fig. 6a se confunden.

Fase $\gamma\delta$ (entre los instantes t_y y t_δ):

45 En el instante t_y , se cierran EV_a , EV_c , EV_T y se abre EV_d . La presión de vapor del fluido motor G_M que era igual a P_h cae rápidamente hasta el valor P_b impuesto por el equilibrio liquido-vapor al nivel del condensador C_M . El calor de condensación es evacuado a T_{hM} y los condensados de G_M se acumulan en la botella BS_M . Entre los instantes t_y y t_δ , el fluido G_M contenido en el cilindro CT_M sigue la transformación $c \rightarrow d$ descrita en las figs. 6b y 6c.

Fase $\delta\alpha$ (entre los instantes t_δ y t_a):

50 En el instante t_δ , es decir cuando la presión de G_M en CT_M alcanza el valor P_b , se cierra EV_2 , se deja EV_d abierta y simultáneamente se abren las electroválvulas EV_1 , EV_3 y EV_T . Las consecuencias son:

- al nivel del circuito receptor:

El líquido G_R es aspirado a la botella BS_R , expandido de manera isoentálpica a través del dispositivo de expansión D (constituido por un capilar o una válvula puntiaguda) e introducido en forma bifásica en el evaporador E_R donde acaba de evaporarse. Los vapores saturados de G_R producidos impulsan hacia abajo (indicado B) el líquido de transferencia en el cilindro CT_R . Durante esta fase $\delta\alpha$ el fluido G_R sigue las transformaciones $3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ descritas en las figs. 6a y 6c. El calor necesario para la evaporación de G_R es tomado a baja temperatura T_{bR} . El trabajo W_b es transferido durante la transformación $4 \rightarrow 1$ hacia el circuito motor por medio del líquido de transferencia LT.

- al nivel del circuito motor:

El líquido de transferencia LT en el cilindro CT_M es impulsado hacia arriba (indicado H), los vapores saturados de G_M se condensan en C_M y los condensados se acumulan en BS_M . Durante esta fase $\delta\alpha$ el fluido G_M sigue la transformación $d \rightarrow a$ descrita en las figs. 6b y 6c. El calor de condensación de G_M es entregado a la temperatura T_{bM} . A la salida de esta fase, la instalación está de nuevo en el estado α del ciclo.

El corazón de la invención se sitúa durante las fases $\beta\gamma$ y $\delta\alpha$ sobre el dispositivo de transferencia del trabajo entre el ciclo motor y el ciclo receptor por medio del líquido de transferencia LT que desempeña la misión de un pistón líquido.

Las diversas transformaciones termodinámicas seguidas por los fluidos G_R y G_M y los niveles del líquido de transferencia LT están resumidos en la tabla 1. El estado de los accionadores (electroválvulas y embragado de la bomba PH) está resumido en la tabla 2, en la que x significa que la electroválvula correspondiente está abierta o que la bomba PH está embragada.

Tabla 1

Etapa	Transformaciones	Lugar	Nivel de LT	
			CT_R	CT_M
$\alpha\beta$	$1 \rightarrow 2$	$BS_R + C_R + CT_R$	B	H
$\beta\gamma$	$a \rightarrow b \rightarrow b_i \rightarrow c$	$E_M + CT_M$		$H \rightarrow B$
	$2 \rightarrow 2_i \rightarrow 3$	$BS_R + C_R + CT_R$	$B \rightarrow H$	
$\gamma\delta$	$c \rightarrow d$	CT_M	H	B
$\delta\alpha$	$3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$	$E_R + CT_R$	$H \rightarrow B$	
	$D \rightarrow a$	$CT_M + C_M$		$B \rightarrow H$

Tabla 2

Etapa	EV_1	EV_2	EV_3	EV_a	EV_c	EV_d	EV_T	PH
$\alpha\beta$		x						
$\beta\gamma$		x		x	x		x	x
$\gamma\delta$		x				x		
$\delta\alpha$	x		x			x	x	

En una configuración de base (llamada U0) representada en la fig. 5, la producción de frío a T_{bR} no se hace más que durante la fase $\delta\alpha$ mientras que el consumo de calor a T_{bM} no se hace más que durante la fase $\beta\gamma$. Igualmente las condensaciones en los dos condensadores son intermitentes. Con relación a estas fases principales, las fases intermedias $\alpha\beta$ y $\gamma\delta$ tienen una duración más corta. El carácter intermitente de las conexiones de los evaporadores y condensadores con el resto de los circuitos motor o receptor es perjudicial en la medida en que ello induce variaciones notables de temperatura (y por tanto de presión) en estos elementos cuando están aislados desde el punto de vista másico (caudales de G_M o G_R nulos) quedando siempre conectados con los fluidos portadores de calor a T_{bM} o T_{bR} . Con relación al caso ideal en que la temperatura de todos los elementos de los circuitos motor y receptor sería estable, estas fluctuaciones inducen irreversibilidades y por tanto una disminución del coeficiente de rendimiento global de la instalación tri- o tetra-térmica. Sin embargo, es posible atenuar estas fluctuaciones de temperatura empleando el procedimiento de la invención en una instalación que comprende dos CT_M/CT_R designados por CT_M/CT_R y CT_M/CT_R' , con ciclos de Carnot modificados en oposición de fase, según un 2º modo de realización. De manera general, este 2º modo de realización tiene como resultado una mejora de los COP y COA con relación a la variante U0 de la configuración de base representada en la fig. 5.

Una instalación que comprende dos conjuntos CT_M/CT_R y CT_M/CT_R' y que funciona según ciclos de Carnot modificados en oposición de fase permite además, mediante la adición de elementos complementarios, diversos tipos de recuperaciones de energía:

- según una variante, llamada "UL", se recupera energía por una máquina receptora a partir de una máquina motriz, por medio del líquido de transferencia LT;
- según una variante, llamada "UG", se recupera energía por la máquina motriz o receptora, por medio de la fase gaseosa (respectivamente G_M o G_R);

- según una variante, llamada "ULG", se recupera energía por medio del líquido de transferencia y por medio de la fase gaseosa, lo que constituye una combinación de las variantes UL y UG.

En las tres variantes, la recuperaciones de energía inducen aumentos de los COP y COA de la instalación tri- o tetra-térmica.

5 La fig. 7 representan una instalación según el 2º modo de realización, es decir que comprende dos elementos "cilindro de transferencia CT_M/cilindro de transferencia CT_R", que permite la variante de base con ciclos en oposición de fase, llamada "UOOP" o la variante "UL". En una instalación según la fig. 7:

- el circuito motor comprende :

- * una bomba hidráulica PH que asegura la circulación del fluido en el estado liquide ;
- 10 * un evaporador E_M conectado a una fuente de calor a T_{hM} (no representada) ;
- * dos cilindros de transferencia CT_M y CT_{M'} que contienen cada uno en la parte inferior el liquido de transferencia LT, y en la parte superior el fluido motor G_M ;
- * un condensador C_M conectado a un pozo de calor a T_{bM} (no representado);
- * una botella separadora BS_M que recupera los condensados ;
- 15 * electroválvulas EV_c y EV_{c'} sobre los conductos entre el evaporador E_M y respectivamente CT_M y CT_{M'};
- * electroválvulas EV_d y EV_{d'} sobre los conductos entre el condensador C_M y respectivamente CT_M y CT_{M'};
- * electroválvulas EV_e y EV_{e'} sobre los conductos entre el evaporador E_M y respectivamente CT_M y CT_{M'};
- * una electroválvula EV_a entre BS_M y el evaporador E_M ;

- el circuito receptor comprende:

- 20 * un evaporador E_R conectado a una fuente de calor a T_{hR} (no representada);
- * dos cilindros de transferencia CT_R et CT_{R'} que contienen cada uno en la parte inferior el liquido de transferencia LT, y en la parte superior el fluido motor G_R ;
- * un condensador C_R conectado a un pozo de calor a T_{hR} (no representado);
- * una botella separadora BS_R que recupera los condensados y que asegura además puntualmente la función de evaporador a la temperatura T_{hR} ;
- 25 * un dispositivo de expansión de liquido D ;
- * electroválvulas EV₁ y EV_{1'} sobre los conductos entre el evaporador E_M y respectivamente los cilindros CT_R y CT_{R'};
- * electroválvulas EV₂ y EV_{2'} sobre los conductos entre el condensador C_R y respectivamente los cilindros CT_R y CT_{R'} ;
- 30 * una electroválvula EV₃ entre BS_R y el evaporador E_R ;

el circuito receptor y el circuito motor están unidos por conductos conectados à la parte inferior de CT_R, CT_{R'}, CT_M y CT_{M'} respectivamente por las válvulas EV_R, EV_{R'}, EV_M, EV_{M'} y EV_I que permiten poner en comunicación de manera selectiva dos cilindros de transferencia cualesquiera.

35 En el modo de realización de la fig. 7, cada uno de los cilindros de transferencia representado está aislado térmicamente del medio ambiente y corresponde a la fig. 2a. Podría ser reemplazado por un cilindro mantenido a una temperatura suficiente para impedir cualquier condensación de G_M (o G_R) en CT_M (CT_R), según la forma representada en la fig. 4.

La instalación representada en la fig. 7 comprende una máquina motriz y una máquina receptora que funcionan según dos ciclos en oposición de fase.

40 El primer ciclo emplea los cilindros de transferencia CT_M y CT_R y las electroválvulas que les están asociadas. El ciclo en oposición de fase con el primer ciclo emplea los cilindros de transferencia CT_{M'} y CT_{R'} y las electroválvulas que les están asociadas. Los otros elementos (evaporadores, condensadores, botellas separadoras, bomba hidráulica o activador de circulación y dispositivo de expansión) son comunes a los dos ciclos.

La variante U0-OP puede ser empleada en una instalación según la fig. 7 en la que la válvula EV_L está cerrada, o en una instalación similar que no incluye ni la válvula EV_L , ni el conducto correspondiente. Su funcionamiento no está descrito aquí.

- 5 La variante UL, que funciona necesariamente con dos ciclos en oposición de fase, conduce a una mejora suplementaria de los COP y COA para un aumento mínimo de la complejidad de la instalación que permite la variante U0-OP (simple adición de la electroválvula EV_L). El ciclo de funcionamiento de una instalación según la fig. 7 en la variante UL está constituido por 6 fases sucesivas que comienzan respectivamente en los instantes t_α , t_β , t_γ , t_δ , t_ϵ , y t_λ .

10 La cronología de las etapas viene dada en la tabla 3. Las transformaciones seguidas por los fluidos G_R o G_M son simultáneas para cada etapa y sucesivas de una etapa a la siguiente. Al final de la etapa $\lambda\alpha$, se encuentra en el mismo estado que al comienzo de la etapa $\alpha\beta$. Los ciclos 1-1_m-2-2-3-4-1 seguidos por G_R y a-b-b₁-c-c_m-d-a seguidos por G_M están trazados en los diagramas de Mollier respectivos de las figs. 8a y 8b. La mayor parte de las transformaciones sufridas por los fluidos G_R y G_M permanecen idénticas a las de la instalación de base representada en la fig. 5. La diferencia esencial en esta variante UL, es que se transfiere trabajo durante las etapas de despresurización parcial de G_M para asegurar una presurización parcial de G_R , es decir durante las etapas $\alpha\beta$ y $\delta\epsilon$.

- 15 La tabla 4 indica (por X) para cada etapa si las válvulas están abiertas y si el activador de circulación PH funciona.

Etapas $\alpha\beta$ (entre los instantes t_α y t_β)

20 En el instante precedente inmediatamente t_α , el nivel del líquido de transferencia NT es bajo (indicado B) en el cilindro CT_R , alto (indicado H) en los cilindros CT_R y CT_M e intermedio (indicado I) en el cilindro CT_M . Además, la presión de vapor que satura de los fluidos receptor y motor es respectivamente baja (P_b) y alta (P_h) en estos dos cilindros CT_R y CT_M . Es en este instante del ciclo cuando corresponde a la configuración de la instalación representada esquemáticamente en la fig. 7.

25 En el instante t_α , se abren EV_R , EV_M y EV_L , lo que pone en comunicación, a través del líquido de transferencia, el cilindro CT_R y el cilindro CT_M . Al estar cerradas todas las demás electroválvulas, la presión de vapor del fluido receptor se equilibra con la del fluido motor G_M . El valor de esa presión intermedia P_m se calcula por un balance de energía sobre el sistema cerrado constituido por dos cilindros CT_R y CT_M teniendo en cuenta la ecuación de estado de los fluidos G_R y G_M . Durante esta etapa, el fluido G_R contenido en el cilindro CT_R sigue la transformación $1 \rightarrow 1_m$ mientras que el fluido G_M contenido en el cilindro CT_M sigue la transformación $c \rightarrow c_m$ (fig. 8). El trabajo W_L es transferido, a través del líquido de transferencia de CT_M hacia CT_R . El nivel de LT en el cilindro CT_R aumenta hasta un nivel intermedio « I » (entre los niveles B y H) y el nivel de LT en el cilindro CT_M disminuye hasta el umbral B.

30 Etapas $\beta\gamma$

En el instante t_β , se cierran las electroválvulas de la etapa precedente; CT_R y CT_M son entonces aislados uno del otro.

35 En el instante t_β , se abre EV_2 lo que pone en comunicación el cilindro CT_R , el condensador C_R y la botella separadora BS_R en la que la presión de vapor del fluido receptor G_R es igual a P_h . La presión en el cilindro CT_R es entonces impuesta rápidamente por el equilibrio liquido-vapor de G_R en la botella BS_R , desempeñando esta última entonces la función de evaporador inundado. El calor necesario para la evaporación de G_R en BS_R es proporcionado a la temperatura T_{hR} . En el curso de esta etapa, el fluido G_R contenido en el cilindro CT_R sigue la transformación $1_m \rightarrow 2$ descrita en la fig. 8a.

40 En el instante t_β , se abre igualmente EV_d . La presión de vapor del fluido motor G_M en CT_M que era igual a P_m cae rápidamente hasta el valor P_b impuesto por el equilibrio liquido-vapor al nivel del condensador C_M . El calor de condensación es evacuado a T_{bM} y los condensados de G_M se acumulan en la botella BS_M . En el curso de esta etapa, el fluido G_M contenido en el cilindro CT_M , sigue la transformación $c_m \rightarrow d$ descrita en la fig. 8b.

Etapas $\gamma\delta$

En el instante t_γ , es decir cuando la presión de G_R en CT_R alcanza el valor P_h y cuando la presión de G_M en CT_M alcanza el valor P_h se dejan abiertas las electroválvulas EV_2 y EV_d se abren las electroválvulas EV_R , EV_M , EV_R , EV_M , EV_a , EV_c , EV_3 , EV_1 y se pone en marcha el activador de circulación PH. Las consecuencias son:

- 45 - al nivel de la máquina motriz:

50 *implicando al par CT_M/CT_R : el líquido G_M es aspirado en la botella BS_M , impulsado por el activador de circulación PH en E_M donde se evapora tomando calor a la fuente caliente a T_{hM} . El caudal de introducción de G_M líquido en el evaporador es igual al caudal de vapor saturado a la salida, de manera que esté evaporador queda siempre lleno y conserva una eficacia constante para el intercambio térmico. Al ocupar los vapor saturados de G_M un volumen más importante que G_M líquido, el líquido de transferencia en el cilindro CT_M es impulsado del nivel H al nivel I. Durante esta fase $\gamma\delta$ el fluido G_M sigue las transformaciones $a \rightarrow b \rightarrow b_1 \rightarrow c$ descritas en la fig. 8b. El calor necesario para el calentamiento del líquido sub-enfriado (transformación $b \rightarrow b_1$) y luego en la evaporación de G_M (transformación $b_1 \rightarrow c$) es proporcionado por la fuente caliente a alta temperatura T_{hM} . Un pequeño trabajo W_{ab} es consumido por el activador de

circulación para la transformación $a \rightarrow b$ mientras que se transfiere un trabajo más importante W_h durante la transformación $b_l \rightarrow c$ hacia la máquina receptora por medio del líquido de transferencia LT que desempeña la misión de un pistón líquido.

5 * implicando al par CT_M/CT_R : el líquido de transferencia que penetra en el cilindro CT_M (proviene del cilindro CT_R) tiene su nivel que se eleva de I a H. Los vapores de G_M son impulsados en el condensador C_M donde se condensan y los condensados se acumulan en la botella BS_M . En el espacio gaseoso común al conjunto ($CT_M + C_M + BS_M$) el fluido G_M sigue la transformación $d \rightarrow a$ descrita en la fig. 8b. El calor liberado por la condensación de G_M es entregado al pozo frío a temperatura T_{bM} . Un trabajo W_b (inferior al trabajo W_h) es transferido durante esta transformación $d \rightarrow a$ de la máquina receptora hacia la máquina motriz por medio del líquido de transferencia LT que desempeña la misión del pistón líquido.

- al nivel de la máquina receptora:

15 * implicando al par CT_M/CT_R : el líquido de transferencia LT en el cilindro CT_R es impulsado del nivel I al nivel H, los vapores saturados de G_R se condensan en C_R y los condensados se acumulan en BS_R . El fluido G_R sigue las transformaciones $2 \rightarrow 2_l \rightarrow 3$ descrita en la fig. 8a. El calor de condensación de G_R es entregado a la temperatura T_{hR} . El sub-enfriamiento de G_R puede ser muy pequeño, casi nulo. En este último caso los puntos 2 y 3 de la fig. 8a se confunden.

20 * Implicando el par CT_M/CT_R : el fluido receptor G_R en el estado de líquido sub-enfriado (o saturado) fluye de BS_R hacia E_R pasando por el dispositivo de expansión D; sigue la transformación $3 \rightarrow 4$ descrita en la fig. 8a. En el evaporador E_R , G_R se evapora (o sea la transformación $4 \rightarrow 1$ en la fig. 8a) y los vapores saturados de G_R impulsan a LT en CT_R del nivel H al nivel I hacia el cilindro CT_M .

Al final de esta etapa $\gamma\delta$, la instalación tri- o tetra-térmica ha cumplido un semiciclo. El segundo semiciclo es simétrico del primer con inversión de los cilindros CT_M y CT_M' por una parte y de los cilindros CT_R y CT_R' por otra parte

Etapa $\delta\epsilon$

25 Es equivalente a la fase $\alpha\beta$ descrita anteriormente (mismas transformaciones $c \rightarrow c_m$ y $1 \rightarrow 1_m$) pero esta vez son los cilindros CT_M y CT_R , los que están conectados (apertura de las electroválvulas EV_R' y EV_M en lugar de EV_R y EV_M') y las variaciones del nivel de LT en estos cilindros son respectivamente: $I \rightarrow B$ y $B \rightarrow I$.

Etapa $\epsilon\lambda$

Esta fase es equivalente a la fase $\beta\gamma$ descrita anteriormente (mismas transformaciones $c_m \rightarrow d$ y $1_m \rightarrow 2$), pero los cilindros concernidos son CT_R' y CT_M (lo que implica las aperturas de las electroválvulas EV_2' y EV_d en lugar de EV_2 y EV_d).

30 Etapa $\lambda\alpha$

Esta fase es equivalente a la fase $\gamma\delta$ descrita anteriormente. Las transformaciones de los fluidos de trabajo G_M y G_R son las mismas pero con inversión entre los cilindros CT_M y CT_M' , por una parte y cilindros CT_R y CT_R' por otra parte. Las variaciones del nivel de LT en estos cilindros y las electro válvulas abiertas están indicadas en las tablas 3 y 4.

Tabla 3

Etapa	Transformaciones	Lugar	Nivel de LT			
			CT_R	CT_R'	CT_M'	CT_M
$\alpha\beta$	$c \rightarrow c_m$	CT_M'			$I \rightarrow B$	
	$1 \rightarrow 1_m$	CT_R	$B \rightarrow I$			
$\beta\gamma$	$c_m \rightarrow d$	$CT_M + C_M + BS_M$				
	$1_m \rightarrow 2$	$CT_R + C_R + BS_R$				
$\gamma\delta$	$d \rightarrow a$	$CT_M' + C_M$			$B \rightarrow H$	
	$a \rightarrow b$	PH				
	$b \rightarrow b_l \rightarrow c$	$CT_M + E_M$				$H \rightarrow I$
	$2 \rightarrow 2_l \rightarrow 3$	$CT_R + C_R + BS_R$	$I \rightarrow H$			
	$3 \rightarrow 4$	D				
	$4 \rightarrow 1$	$CT_R' + E_R$		$H \rightarrow B$		
$\delta\epsilon$	$c \rightarrow c_m$	CT_M				$I \rightarrow B$
	$1 \rightarrow 1_m$	CT_R'	$B \rightarrow I$			
$\epsilon\lambda$	$c_m \rightarrow d$	$CT_M + C_M + BS_M$				
	$1_m \rightarrow 2$	$CT_R' + C_R + BS_R$				
$\lambda\alpha$	$d \rightarrow a$	$CT_M + C_M$				$B \rightarrow H$
	$a \rightarrow b$	PH				
	$b \rightarrow b_l \rightarrow c$	$CT_M' + E_M$			$H \rightarrow I$	

	2 → 2 _I → 3	CT _R ' + C _R + BS _R		I → H		
	3 → 4	D				
	4 → 1	CT _R + E _R	H → B			

Tabla 4

Etapa	Electroválvulas abiertas o activador de circulación PH en marcha															
	1	1'	2	2'	3	a	c	c'	d	d'	R	R'	M	M'	L	PH
αβ											X			X	X	
βγ			X							X						
γδ		X	X		X	X	X			X	X	X	X	X		X
δε												X	X		X	
ελ				X					X							
λα	X			X	X	X		X	X		X	X	X	X		X

5 En un tercer modo de realización de la invención, el dispositivo comprende 2 elementos CT_M/CT_R y las botellas separadoras BS de los ciclos motor y receptor están desdobladas. Esta variante permite no solamente una recuperación parcial de energía entre la máquina motriz y receptora durante la fase de despresurización/presurización (estando permitida dicha transferencia por la presencia de los elementos "cilindro de transferencia CT_M/cilindro de transferencia CT_R"), sino también una limitación suplementaria de ciertas irreversibilidades. Esta ventaja es obtenida evitando un subenfriamiento demasiado fuerte de G_M líquido antes de su introducción en el evaporador E_M a alta temperatura y considerando una expansión de G_R líquido más próxima a la transformación isoentrópica que a la transformación isoentálpica. La variante llamada "UG" permite recuperaciones de energía interna (U) en el seno de los circuitos motor o receptor a través de la fase gaseosa de los fluidos de trabajo (respectivamente G_M o G_R). La variante llamada "ULG" combina las dos variantes "UL" y "UG".

10 Una instalación correspondiente al 3^{er} modo de realización y que permite la variante UG o la variante ULG comprende una máquina motriz tal como se ha representado en la fig. 9a de la máquina receptora tal como se ha representado en la fig. 10a, estando conectada las dos máquinas a través del líquido de transferencia LT.

15 Los ciclos seguidos por los fluidos G_M y G_R están representados en los diagramas de Mollier respectivamente de las figs. 9b y 10b para la variante UG, y de las figs. 10c y 10d para la variante ULG.

Una máquina motriz según la fig. 9a comprende:

- * un activador de circulación PH que asegura la circulación del fluido en el estado líquido;
- * un evaporador E_M conectado a una fuente de calor a T_{hM} (no representada);
- 20 * dos cilindros de transferencia CT_M y CT_M' que contienen cada uno en la parte inferior el líquido de transferencia LT, y en la parte superior el fluido motor G_M;
- * una T de bifurcación TB_M;
- * un condensador C_M conectado a un pozo de calor a T_{bM} (no representado);
- * una 1^a botella separadora BS_{M1} a una temperatura próxima (por valor inferior) a la del pozo de calor a T_{bM};
- 25 * una 2^a botella separadora BS_{M2} aislada térmicamente del entorno;
- * electroválvulas EV_c y EV_{c'} sobre los conductos entre el evaporador E_M y respectivamente CT_M y CT_M' ;
- * electroválvulas EV_d y EV_{d'} sobre los conductos conectados a la rama común de la T TB_M y respectivamente CT_M y CT_M', estando las otras dos ramas de dicha T conectadas al condensador C_M y a la 2^a botella BS_{M2};
- * una electroválvula EV_f entre una rama de TB_M y el condensador C_M;
- 30 * una electroválvula EV_e entre la otra rama de TB_M y la botella BS_{M2};
- * una electroválvula EV_a entre BS_{M1} y BS_{M2};
- * una electroválvula EV_b entre BS_{M2} y el evaporador E_M.

Una máquina receptora según la fig. 10a comprende:

- * un evaporador E_R conectado a una fuente de calor a T_{bR} (no representada);
- 35 * una T de bifurcación TB_R;

* dos cilindros de transferencia CT_R y $CT_{R'}$ que contienen cada uno en la parte inferior el líquido de transferencia LT, y en la parte superior el fluido receptor G_R ;

* un condensador C_R conectado a un pozo de calor a T_{HR} (no representada);

5 * una 1ª botella separadora BS_{R1} , mantenida a una temperatura próxima a la del condensador C_R por intercambio con el pozo/fuente de calor a T_{HR} ;

* una 2ª botella separadora BS_{R2} aislada térmicamente del entorno;

* electroválvulas EV_1 y EV_1' sobre los conductos conectados a la rama común de la T TB_R y respectivamente a los cilindros CT_R y $CT_{R'}$, estando las otras dos ramas de dicha T conectadas al evaporador E_R y a la 2ª botella BS_{R2} ;

* electroválvulas EV_2 y EV_2' sobre los conductos entre el condensador C_R y respectivamente los cilindros CT_R y $CT_{R'}$;

10 * una electroválvula EV_3 entre BS_{R1} y BS_{R2} ;

* una electroválvula EV_4 entre BS_{R2} y E_R ;

* una electroválvula EV_5 entre una rama de TB_R y la botella BS_{R2} ;

* una electroválvula EV_6 entre la salida E_R y una rama TB_R .

15 El circuito receptor y el circuito motor están unidos por conductos conectados a la parte inferior de CT_R , $CT_{R'}$, CT_M y de CT_M' respectivamente por las válvulas EV_R , $EV_{R'}$, EV_M , $EV_{M'}$. La electroválvula EV_L permite poner en comunicación de manera selectiva uno de los cilindros CT_M o $CT_{M'}$ con uno de los cilindros CT_R o $CT_{R'}$.

Para la puesta en práctica de la variante UG, la electroválvula EV_L y el conducto sobre el que está instalada no son útiles. Si existen en la instalación, la electroválvula EV_L está cerrada.

20 En el modo de realización de las figs. 9 y 10, cada cilindro de transferencia representado está aislado térmicamente del entorno y corresponde a la fig. 2a. Podría ser reemplazado por un cilindro mantenido a una temperatura suficiente para impedir cualquier condensación de G_M (o G_R) en CT_M (CT_R) según la forma representada en la fig. 4.

El ciclo de funcionamiento de una instalación según la variante UG representada en las figs. 9a y 10a está constituida de 6 fases sucesivas que comienzan respectivamente en los instantes t_α , t_β , t_γ , t_δ , t_ϵ , y t_λ .

25 La cronología de las etapas está dada en la tabla 5. Las transformaciones seguidas por los fluidos G_R o G_M son simultáneas para cada etapa y sucesivas de una etapa a la siguiente. Al final de la etapa $\lambda\alpha$, se encuentra en el mismo estado que al comienzo de la etapa $\alpha\beta$. Los ciclos 1-1_i-2-3-3_i-4-1 seguidos por G_R y a-a_i-b-b_i-c-c_i-d-a seguidos por G_M están trazados en los diagramas de Mollier respectivos de las figs. 10b y 9b. La mayor parte de las transformaciones sufridas por los fluidos G_R y G_M permanecen idénticas a las de la instalación de base (U0, fig. 5). La diferencia esencial en esta variante UL, es que la energía interna es recuperada durante las etapas de despresurización parcial de G_M y G_R para asegurar una presurización parcial de respectivamente de G_M y G_R efectuándose esto durante las etapas $\alpha\beta$ y $\delta\epsilon$.

30 La tabla 6 indica (por X) para cada etapa si las válvulas están abiertas y si el activador de circulación PH funciona.

35 En el instante precedente inmediatamente t_α , el nivel del líquido de transferencia LT es bajo (indicado B) en los cilindros CT_R y CT_M , y alto (indicado H) en los cilindros $CT_{R'}$ y $CT_{M'}$. Además, la presión de los vapores que saturan de los fluidos receptor G_R y motor G_M es baja (P_b) en los cilindros CT_R y CT_M y alta (P_h) en los cilindros $CT_{R'}$ y $CT_{M'}$. Las botellas separadoras BS_{R2} y BS_{M2} contienen respectivamente los fluidos G_R y G_M en el estado de líquido saturado y a la misma presión alta P_h . Es en este instante del ciclo cuando corresponde a la configuración de la instalación representada esquemáticamente por las figs. 9a y 10a.

Tabla 5

Etapas	Transformaciones	Lugar	Variaciones de nivel de LT			
			CT_R	$CT_{R'}$	$CT_{M'}$	CT_M
$\alpha\beta$	$a \rightarrow a_i$	BS_{M2}				
	$c \rightarrow c_j$	CT_M				
	$1 \rightarrow 1_i$	CT_R				
	$3 \rightarrow 3_i$	BS_{R2}				
$\beta\gamma$	$A_j \rightarrow b \rightarrow b_i$	PH + E_M				

Etapas	Transformaciones	Lugar	Variaciones de nivel de LT			
			CT _R	CT _{R'}	CT _{M'}	CT _M
	c _j → d	CT _{M'} + C _M + BS _{M1}				
	1 _i → 2	CT _R + C _R + BS _{R1}				
	3 _i → 4	EV ₄				
γδ	(b→) b _i → c	E _M + CT _M				H → B
	d → a	CT _{M'} + C _M + BS _{M1}			B → H	
	2 → 3	CT _R + C _R + BS _{R1}	B → H			
	4 → 1	E _R + CT _{R'}		H → B		
δε	a → a _j	BS _{M2}				
	c → c _j	CT _M				
	1 → 1 _i	CT _{R'}				
	3 → 3 _i	BS _{R2}				
ελ	A _j → b → b _i	PH + E _M				
	c _j → d	CT _M + C _M + BS _{M1}				
	1 _i → 2	CT _{R'} + C _R + BS _{R1}				
	3 _i → 4	EV ₄				
λα	(b→) b _i → c	E _M + CT _{M'}			H → B	
	d → a	CT _M + C _M + BS _{M1}				B → H
	2 → 3	CT _{R'} + C _R + BS _{R1}		B → H		
	4 → 1	E _R + CT _R	H → B			

Tabla 6

Etapas	1	1'	2	2'	3	4	5	6	a	b	c	c'	d	d'	e	f	R	R'	M	M'	PH	
Aβ	X						X							X	X							
Bγ			X			X				X				X		X						X
Γδ		X	X		X			X	X		X			X		X	X	X	X	X	X	
Δε		X					X						X		X							
Eλ				X		X				X			X			X						X
Λα	X			X	X			X	X			X	X			X	X	X	X	X	X	

Etapas αβ (entre los instantes t_α y t_β)

5 - al nivel del circuito motor:

En el instante t_α, se abren las electroválvulas EV_{d'} y EV_e lo que pone en comunicación el cilindro CT_{M'} y la botella BS_{M2}. El fluido G_M sigue la transformación a→a_j en la botella BS_{M2} y la transformación c→c_j en el cilindro CT_{M'}. Los vapores saturados a alta presión que provienen de CT_{M'} se condensan en parte en BS_{M2} y aumentan la presión y la temperatura de G_M. La presión final P_j se calcula a partir de un balance sobre la conservación de la energía interna del sistema cerrado y adiabático constituido por los dos elementos (BS_{M2} y CT_{M'}) y teniendo en cuenta la ecuación de estado (P en función de V, T) y el equilibrio líquido-vapor de G_M. La disminución de energía interna (U_c - U_{cj}) es compensada por el aumento (U_a - U_{aj}). Estas dos variaciones de energía interna son indicadas W_{GM} (=U_c - U_{cj} = U_{aj} - U_a) en la fig. 9b aunque no se trata de un intercambio de trabajo entre CT_{M'} y BS_{M2}.

10

- al nivel del circuito receptor:

- 5 Simultáneamente (en t_β), se abren las electroválvulas EV_1 y EV_5 lo que pone en comunicación el cilindro CT_R y la botella BS_{R2} . El fluido G sigue la transformación $3 \rightarrow 3_i$ en la botella BS_{R2} y la transformación $1 \rightarrow 1_i$ en el cilindro CT_R . En BS_{R2} una parte del líquido se vaporiza lo que tiene como doble consecuencia descender su temperatura y elevar la presión en CT_R . La presión final P_i se calcula de la misma manera que para P_j , pero con el equilibrio líquido-vapor de G_R . De la misma manera, las dos variaciones de energía interna ($U_3 - U_{3i}$) y ($U_{1i} - U_1$) son indicadas por comodidad en la fig. 10b aunque no se trata de un intercambio de trabajo entre BS_{R2} y CT_R .

Etapa β_y

- al nivel del circuito motor:

- 10 En el instante t_β , las electroválvulas precedentes están cerradas, excepto la electroválvula EV_d . Se abre la electroválvula EV_b y se acciona el activador de circulación PH lo que pone en comunicación el dispositivo BS_{M2} y el evaporador E_M . El fluido GM en el estado de líquido saturado, es introducido en el evaporador y sigue la transformación $a_j \rightarrow b$ en PH, y luego la transformación $b \rightarrow b_i$ en E_M .

- 15 Simultáneamente (en t_β), se abre la electroválvula EV_f lo que pone en comunicación el cilindro CT_M y el condensador C_M . La presión de vapor del fluido motor G_M que era igual a P_j cae rápidamente hasta el valor P_b impuesto por el equilibrio líquido-vapor al nivel del condensador C_M . El calor de condensación es evacuado a T_{bM} y los condensados de G_M se acumulan en el dispositivo BS_{M1} . Entre los instantes t_β y t_γ , el fluido G_M contenido en el cilindro CT_M sigue la transformación $c_j \rightarrow d$.

- al nivel del circuito receptor:

- 20 En el mismo instante t_β se abre la electroválvula EV_4 lo que pone en comunicación el dispositivo BS_{R2} y el evaporador E_R . El fluido G_R en el estado de líquido saturado sigue la transformación isoentálica $3_i \rightarrow 4$ antes de ser introducido en el evaporador E_R .

- 25 Simultáneamente (en β), se abre la electroválvula EV_2 lo que pone en comunicación el cilindro CT_R , el condensador C_R y la botella BS_{R1} . La presión de vapor del fluido receptor G_R que era igual a P_i , en CT_R aumenta rápidamente hasta el valor P_h impuesto por el equilibrio líquido-vapor al nivel de BS_{R1} desempeñando la misión de un evaporador. El calor de evaporación es aportado a T_{hR} y el nivel de G_R líquido contenido en BS_{R1} disminuye en el curso de esta etapa. Entre los instantes t_β y t_γ , el fluido G_R contenido en el cilindro CT_R sigue la transformación $1_i \rightarrow 2$.

Etapa $\gamma\delta$

- 30 Las electroválvulas precedentemente abiertas, excepto EV_4 y EV_b , son mantenidas abiertas y el activador de circulación PH es detenido.

En el instante t_γ , se abren igualmente las electroválvulas $EV_{1'}$, EV_3 , EV_6 , EV_a , EV_c , EV_R , $EV_{R'}$, EV_M , y $EV_{M'}$. Esta etapa constituye la etapa principal de este semiciclo, pues es aquella durante la cual intervienen los intercambios de calor útiles entre la instalación tri- o tetra-térmica y el exterior.

- 35 La apertura de las electroválvulas EV_c , EV_M y EV_R (con EV_2 ya abierta) por una parte y $EV_{1'}$, EV_6 , $EV_{R'}$ y $EV_{M'}$ (con EV_d y EV_f ya abiertas) por otra parte tiene como consecuencia:

- al nivel del circuito motor M:

Por el hecho de la apertura de la electroválvula EV_a el fluido G_M en el estado de líquido saturado acumulado en la 1ª botella separadora BS_{M1} fluye por gravedad a la segunda BS_{M2} . Las consecuencias son las siguientes:

- 40 *implicando al par CT_M/CT_R : El líquido G_M que proviene de la botella BS_{M2} se recalienta (si la transformación $b \rightarrow b_i$ no está completamente acabada a la salida de la etapa precedente) y se evapora en E_M (transformación $b_i \rightarrow c$). Los vapores saturados de G_M producidos impulsan el líquido de transferencia en el cilindro CT_M del nivel alto hasta el nivel bajo. El calor necesario para el sub-enfriamiento ($b \rightarrow b_i$) y luego para la evaporación ($b_i \rightarrow c$) de G_M es proporcionado por la fuente caliente a alta temperatura T_{hM} . El trabajo W_h es transferido durante la transformación $b_i \rightarrow c$ hacia el circuito receptor.

- 45 * implicando al par CT_M/CT_R : El líquido de transferencia que proviene de CT_R es impulsado en el cilindro CT_M del nivel bajo hasta el nivel alto; ello corresponde a una transferencia de trabajo W_b (inferior en valor absoluto a W_h) del circuito receptor hacia el circuito motor.

- 50 Los vapores saturados de G_M se condensan (transformación $d \rightarrow a$) en C_M y los condensados pasan por la botella BS_{M1} y luego se acumulan en BS_{M2} (estando abierta la válvula EV_a). El calor de condensación de G_M es entregado a la temperatura T_{bM} .

- al nivel del circuito receptor R

Por el hecho de la apertura de la electroválvula EV₃ el fluido G_R en el estado de líquido saturado acumulado en la 1ª botella separadora BS_{R1} fluye por gravedad a la segunda BS_{R2}. Las consecuencias son las siguientes:

5 * implicando al par CT_M/CT_R: El líquido de transferencia que proviene de CT_M es impulsado en el cilindro CT_R del nivel bajo hasta el nivel alto. Los vapores saturados de G_R se condensan en C_R y los condensados se acumulan en BS_{R1} (transformación 2→3). El calor de condensación de G_R es entregado a la temperatura T_{hR}.

* implicando al par CT_M/CT_R: El fluido G_R se evapora en E_R (transformación 4→1). Los vapores saturados de G_R producidos impulsan el líquido de transferencia en el cilindro CT_R del nivel alto hasta el nivel bajo. El calor necesario para la evaporación de G_R es tomado a baja temperatura T_{bR}.

10 Las etapas del 2º semiciclo son simétricas de las del primer semiciclo teniendo como única modificación una simple inversión de los cilindros CT_M y CT_{M'} por una parte y CT_R y CT_{R'} por otra parte (véanse las tablas 5 y 6).

El ciclo de funcionamiento de una instalación según las figs. 9a y 10a en la variante ULG está constituido por 8 fases sucesivas que comienzan respectivamente en los instantes t_α, t_β, t_γ, t_δ, t_ε, y t_λ, t_μ, y t_ω.

15 La cronología de las etapas con las transformaciones seguidas por los fluidos G_R o G_M está dada en la tabla 7. Al final de la etapa ωα, se encuentra en el mismo estado que al comienzo de la etapa αβ. Los ciclos 1-1_f-1_m-2-3-3_f-4-1 seguidos por G_R y a-a_f-b-b_f-c-c_f-c_m-d-a seguidos por G_M están trazados en los diagramas de Mollier respectivos de las figs. 10c y 10d. Las transformaciones sufridas por los fluidos G_R y G_M son una combinación de las seguidas por las variantes UL y UG de la instalación esquematizada por las figs. 9a y 10a.

La tabla 8 indica (por X) para cada etapa si las válvulas están abiertas y si el activador de circulación PH funciona.

20 En el instante precedente inmediatamente t_α, el nivel del líquido de transferencia LT es bajo (indicado B) en el cilindro CT_R, intermedio (indicado I) en el cilindro CT_M y alto (indicado H) en los cilindros CT_{R'} y CT_M. Además, la presión de los vapores que saturan de los fluidos receptor G_R y motor G_M es baja (P_b) en los cilindros CT_R y CT_M y alta (P_h) en los cilindros CT_{R'} y CT_{M'}. Finalmente, las botellas separadoras BS_{R2} y BS_{M2} contienen respectivamente los fluidos G_R y G_M en el estado de líquido saturado y a la misma presión alta P_h.

25

Tabla 7

Etapas	Transformaciones	Lugar	Variaciones de nivel de LT			
			CT _R	CT _{R'}	CT _{M'}	CT _M
αβ	a → a _j	BS _{M2}				
	c → c _j	CT _{M'}				
	1 → 1 _i	CT _R				
	3 → 3 _i	BS _{R2}				
βγ	c _j → c _m	CT _{M'}			I → B	
	1 _i → 1 _m	CT _R	B → I			
γδ	a _j → b → b _f	PH+E _M				
	c _m → d	CT _{M'} + C _M + BS _{M1}				
	1 _m → 2	CT _R + C _R + BS _{R1}				
	3 _i → 4	EV ₄				
δε	(b →) b _f → c	E _M + CT _M				H → I
	d → a	CT _{M'} + C _M + BS _{M1}			B → H	
	2 → 3	CT _R + C _R + BS _{R1}	I → H			

Etapas	Transformaciones	Lugar	Variaciones de nivel de LT			
			CT _R	CT _{R'}	CT _{M'}	CT _M
	4 → 1	E _R + CT _{R'}		H → B		
ελ	a → a _j	BS _{M2}				
	c → c _j	CT _M				
	1 → 1 _i	CT _{R'}				
	3 → 3 _i	BS _{R2}				
λμ	c _j → c _m	CT _M				I → B
	1 _i → 1 _m	CT _{R'}		B → I		
μω	a _j → b → b _i	PH + E _M				
	c _j → d	CT _M + C _M + BS _{M1}				
	1 _i → 2	CT _{R'} + C _R + BS _{R1}				
	3 _i → 4	EV ₄				
ωα	(b →) b _i → c	E _M + CT _{M'}			H → I	
	d → a	CT _M + C _M + BS _{M1}				B → H
	2 → 3	CT _{R'} + C _R + BS _{R1}		I → H		
	4 → 1	E _R + CT _R	H → B			

Tabla 8

Etapas	1	1'	2	2'	3	4	5	6	a	b	c	c'	d	d'	e	f	R	R'	M	M'	L	PH
αβ	X						X							X	X							
βγ																	X			X	X	
γδ			X		X				X				X		X						X	X
δε		X	X		X			X	X		X		X		X	X	X	X	X	X		
ελ		X					X						X		X							
λμ																		X	X		X	
μω				X	X				X				X		X							X
ωα	X			X	X			X	X			X	X		X	X	X	X	X	X		

Etapas αβ (entre los instantes t_α y t_β)

- al nivel del circuito motor:

5 En el instante t_α, se abren las electroválvulas EV_d y EV_e lo que pone en comunicación el cilindro CT_{M'} y la botella BS_{M2}. El fluido G_M sigue la transformación a→a_j en la botella BS_{M2} y la transformación c→c_j en el cilindro CT_M. Los vapores saturados a alta presión que provienen de CT_{M'} se condensan en parte en BS_{M2} y aumentan la presión y la temperatura de G_M. La presión final P_j se calcula a partir de un balance sobre la conservación de la energía interna del sistema cerrado y adiabático constituido por los dos elementos (BS_{M2} y CT_{M'}) y teniendo en cuenta la ecuación de estado (P en función de V, T) y el equilibrio líquido-vapor de G_M. La disminución de energía interna (U_c - U_{cj}) es compensada por el aumento (U_{aj} - U_a); estas dos variaciones de energía interna son indicadas por comodidad W_{GM} (=U_c - U_{cj} = U_{aj} - U_a) en la fig. 10d aunque no se trata de un intercambio de trabajo entre CT_{M'} y BS_{M2}.

- al nivel del circuito receptor:

15 Simultáneamente (en t_α), se abren las electroválvulas EV₁ y EV₅ lo que pone en comunicación el cilindro CT_R y la botella BS_{R2}. El fluido G_R sigue la transformación 3→3_i en la botella BS_{R2} y la transformación 1→1_i en el cilindro CT_R. En BS_{R2} una parte del líquido se vaporiza lo que tiene como doble consecuencia descender su temperatura y elevar la presión en CT_R. La presión final P_i se calcula de la misma manera que para P_j, pero con el equilibrio líquido-vapor de G_R. De la misma manera, las dos variaciones de energía interna (U₃ - U_{3i}) y (U_{1i} - U₁) son indicadas W_{GR} en la fig. 10c aunque no

se trata de un intercambio de trabajo entre BS_{R2} y CT_R .

Etapa $\beta\gamma$

5 En el instante t , se abren EVR , EVM' y EVL lo que pone en comunicación, mediante el líquido de transferencia, el cilindro CTR y el cilindro CTM' . Estando cerradas todas las demás electroválvulas, la presión de vapor del fluido receptor GR se equilibra con la del fluido motor GM . El valor de esta presión intermedia P_m se calcula con un balance de energía sobre el sistema cerrado constituido por dos cilindros CTR y CTM' teniendo en cuenta de la ecuación de estado de los fluidos GR y GM . Durante esta etapa, el fluido GR contenido en el cilindro CTR sigue la transformación $1i \rightarrow 1m$ mientras que el fluido GM contenido en el cilindro CTM' sigue la transformación $cj \rightarrow cm$ (figs. 10c-10d). El trabajo WL es transferido, mediante el líquido de transferencia de CTM' hacia CTR . El nivel de LT en el cilindro CTR aumenta hasta el nivel intermedio I y el nivel de LT en el cilindro CTM' disminuye hasta el umbral B .

Etapa $\gamma\delta$

- al nivel del circuito motor:

15 En el instante t_γ , las electroválvulas precedentes están cerradas, se abre la electroválvula EV_b y se acciona el activador de circulación PH lo que pone en comunicación la botella separadora BS_{M2} y el evaporador E_M . El fluido G_M en el estado de líquido saturado, es introducido en el evaporador y sigue la transformación $a_j \rightarrow b$ en PH , y luego la transformación $b \rightarrow b_i$ en E_M .

20 Simultáneamente (en t_γ), se abren las electroválvulas EV_d y EV_f , lo que pone en comunicación el cilindro CT_M y el condensador C_M . La presión de vapor del fluido motor G_M que era igual a P_m cae rápidamente hasta el valor P_b impuesto por el equilibrio líquido-vapor al nivel del condensador C_M . El calor de condensación es evacuado a la temperatura T_{bM} y los condensados de G_M se acumulan en la botella BS_{M1} . Entre los instantes t_γ y t_δ , el fluido G_M contenido en el cilindro CT_M sigue la transformación $c_m \rightarrow d$.

- al nivel del circuito receptor:

25 En el mismo instante t_γ , se abre la electroválvula EV_4 , lo que pone en comunicación la botella separadora BS_{R2} y el evaporador E_R . El fluido G_R en el estado de líquido saturado sigue la transformación isoentálpica $3_i \rightarrow 4$ antes de ser introducido en el evaporador E_R .

30 Simultáneamente (en t_γ), se abre la electroválvula EV_2 , lo que pone en comunicación el cilindro CT_R , el condensador C_R y la botella separadora BS_{R1} . La presión de vapor del fluido receptor G_R que era igual a P_m , en CT_R , aumenta rápidamente hasta el valor P_h impuesto por el equilibrio líquido-vapor al nivel de BS_{R1} , desempeñando la misión de un evaporador. El calor de evaporación es aportado a la temperatura T_{hR} y el nivel de G_R líquido contenido en la botella BS_{R1} disminuye en el curso de esta etapa. Entre los instantes t_γ y t_δ , el fluido G_R contenido en el cilindro CT_R sigue la transformación $1_m \rightarrow 2$.

Etapa $\delta\epsilon$

Las electroválvulas precedentemente abiertas, excepto EV_4 y EV_b son mantenidas abiertas y el activador de circulación PH es detenido.

35 En el instante t_δ , se abren igualmente las electroválvulas EV_1 , EV_3 , EV_δ , EV_a , EV_c , EV_R , $EV_{R'}$, EV_M , y $EV_{M'}$. Esta etapa es la etapa principal de este semiciclo, pues es durante esta etapa cuando intervienen los intercambios de calor útiles entre la máquina de Carnot modificada tri- o tetra-térmica y el exterior.

La apertura de las electroválvulas EV_c , EV_M y EV_R (estando EV_2 ya abierta) por una parte y EV_1 , $EV_{R'}$ y $EV_{M'}$ (estando EV_d y EV_f ya abiertas) por otra parte tiene como consecuencia:

- al nivel del circuito motor:

40 Por el hecho de la apertura de la electroválvula EV_a el fluido G_M en el estado de líquido saturado acumulado en la 1ª botella separadora BS_{M1} fluye por gravedad a la segunda BS_{M2} . Las consecuencias son las siguientes:

45 *implicando al par CT_M/CT_R : El líquido G_M que proviene de la botella BS_{M2} se recalienta [si la transformación $b \rightarrow b_i$] no está completamente acabada a la salida de la etapa precedente] y se evapora en E_M (transformación $b_i \rightarrow c$). Los vapores saturados de G_M producidos impulsan el líquido de transferencia en el cilindro CT_M del nivel alto H hasta el nivel intermedio I . El calor necesario para el sub-enfriamiento ($b \rightarrow b_i$) y luego para la evaporación ($b_i \rightarrow c$) de G_M es proporcionado por la fuente caliente a alta temperatura T_{hM} . El trabajo W_h es transferido durante la transformación $b_i \rightarrow c$ hacia el circuito receptor.

50 * implicando al par CT_M/CT_R : El líquido de transferencia que proviene de CT_R es impulsado en el cilindro CT_M del nivel bajo hasta el nivel alto; lo que corresponde a una transferencia de trabajo W_b (inferior en valor absoluto a W_h) del circuito receptor hacia el circuito motor.

Los vapores saturados de G_M se condensan (transformación $d \rightarrow a$) en C_M y los condensados pasan por la botella BS_{M1} y luego se acumulan en BS_{M2} (estando abierta la válvula EV_a). El calor de condensación de G_M es entregado a la temperatura T_{bM} .

- al nivel del circuito receptor R

- 5 Por el hecho de la apertura de la electroválvula EV_3 el fluido G_R en el estado de líquido saturado acumulado en la 1ª botella separadora BS_{R1} fluye por gravedad a la segunda BS_{R2} . Las consecuencias son las siguientes:

* implicando al par CT_M/CT_R : El líquido de transferencia que proviene de CT_M es impulsado en el cilindro CT_R del nivel intermedio I hasta el nivel alto H. Los vapores saturados de G_R se condensan en C_R (transformación $2 \rightarrow 3$) y los condensados pasan por la botella BS_{R1} y luego se acumulan en BS_{R2} (estando la válvula EV_3 abierta). El calor de condensación de G_R es entregado a la temperatura T_{hR} .

* implicando al par CT_M/CT_R : El fluido G_R se evapora en E_R (transformación $4 \rightarrow 1$). Los vapores saturados de G_R producidos impulsan el líquido de transferencia en el cilindro CT_R del nivel alto hasta el nivel bajo. El calor necesario para la evaporación de G_R es tomado a baja temperatura T_{bR} .

Las etapas del 2º semiciclo son simétricas de las del primer semiciclo teniendo como única modificación una simple inversión de los cilindros CT_M y CT_M' por una parte y CT_R y CT_R' por otra parte (véanse las tablas 7 y 8).

Las utilidades de una instalación según la presente invención dependen en particular de la temperatura de las fuentes de calor y de los pozos de calor disponibles y del modo de funcionamiento retenido entre « motor HT / receptor BT » o « motor BT / receptor HT ».

Con el modo de funcionamiento « motor HT / receptor BT », representado esquemáticamente en la fig. 1a, la temperatura T_{hM} de la fuente caliente de la máquina motriz es superior a la temperatura T_{hR} del pozo de calor de la máquina receptora. En este primer caso, las aplicaciones consideradas son la producción de frío a la temperatura T_{bR} inferior a la temperatura ambiente y/o la producción de calor (con un coeficiente de amplificación COA_3 , relación del calor entregado a T_{hR} y T_{bM} por el calor consumido a T_{hM} superior a 1) a las temperaturas T_{hR} y T_{bM} superiores a la temperatura ambiente, pudiendo las temperaturas T_{hR} y T_{bM} eventualmente ser idénticas. A título indicativo, este 1º modo de funcionamiento permite, mediante un consumo de calor a T_{hM} , asegurar las funciones de congelación, refrigeración, climatización y/o calefacción del hábitat.

Con el modo de funcionamiento « motor BT / receptor HT », representado esquemáticamente en la fig. 1b, la temperatura T_{hM} es inferior a la temperatura T_{hR} . En este segundo caso, la aplicación considerada es la producción de calor a una temperatura T_{hR} superior a la de las dos fuentes de calor a las temperaturas T_{bR} y T_{hM} (eventualmente idénticas tal como se ha representado en la fig. 1b), pero con un coeficiente de amplificación (relación del calor entregado a T_{hR} por el calor consumido a T_{bR} y T_{hM}) establece inferior a la unidad. Este segundo modo de funcionamiento permite así revalorizar calores rechazados a temperaturas medias.

Para cada uno de estos dos modos, la instalación puede funcionar según las variantes U0, U0-OP, UL, UG y ULG descritas anteriormente.

Tres ejemplos de utilización posible de las instalaciones de la presente invención son descritos más en detalle a continuación, a título puramente ilustrativo. La invención nuestra sin embargo limitada a estos ejemplos.

Ejemplo 1

Puesta en práctica de la invención para el refrescado del hábitat utilizando calor proporcionado por captadores solares planos.

En esta aplicación, el procedimiento funciona según el modo « motor HT / receptor BT ». Como fluidos de trabajo, se pueden utilizar el 1,1,1,3,3,3-hexafluoropropano (HFC R236fa) para el fluido motor y el tetrafluoroetano (HFC R-134a) para el fluido receptor. Estos dos fluidos son inofensivos para la capa de ozono, inflamables, no tóxicos y producidos industrialmente.

La temperatura T_{hM} (salida de los captadores solares planos) es igual a 65 °C.

La temperatura T_{bR} requerida para la producción de frío en el evaporador E_R está fijada en 12 °C. Esta temperatura es compatible con el uso de un suelo refrescante en la casa con una entrada recomendada del fluido portador de calor a 18 °C aproximadamente.

Con estas limitaciones y visto los equilibrios líquido/vapor de estos fluidos (véase la fig. 3), se deducen las presiones alta P_h y baja P_b (mencionados en las figs. 6abc, 8ab, 10bcd) así como las temperaturas T_{bM} y T_{hR} :

Sean $P_h = 8,69$ bar; $P_b = 4,43$ bar, presiones ni demasiado bajas que penalizarían las transferencias de los vapores de G_R o G_M , ni demasiado altas que serían perjudiciales para la seguridad de la instalación.

Sean $T_{bM} = 40,3 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_{hR} = 34,3 \text{ }^\circ\text{C}$, temperaturas superiores a una temperatura ambiente media en verano que permiten la evacuación hacia el exterior del calor liberado por los condensadores C_R y C_M .

Una máquina de Carnot tetra-térmica que funciona entre estas mismas temperaturas T_{hM} , T_{bM} , T_{bR} , T_{hR} tendría un COP ideal de: $COP_{C4} = 0,93$.

- 5 Se han comparado las prestaciones de las variantes U0, UL y ULG de la instalación tetra-térmica según la invención, funcionando en las condiciones definidas anteriormente. Los coeficientes de rendimiento de la instalación funcionando en régimen permanente, determinados por balance energético para las tres variantes, son los siguientes:

$COP_4(U0) = 0,025$; $COP_4(UL) = 0,56$; $COP_4(ULG) = 0,34$.

- 10 El coeficiente de rendimiento de la variante U0 es netamente insuficiente, no aportando la variante U0-OP más que una pequeña mejora.

- 15 El coeficiente de rendimiento de la variante UL es muy satisfactorio. Cuando el referido al COP máximo de Carnot, se obtiene una eficacia excepcional ($COP_4(UL)/COP_{C4} \approx 60\%$) comparada con el estado de la técnica actual donde esta relación es generalmente de 33%. La descripción de los ciclos seguidos en las máquinas motriz y receptora que ha sido representado esquemáticamente en la fig. 8 está representada precisamente para esta aplicación en las figs. 11a y 11b que representa la presión P (en MPa) en función de la entalpía másica h (en kJ/kg) para HFC R-134a (fig. 11a) y para HFC R-134a (fig. 11b).

Se puede observar que la expansión isoentrópica $c \rightarrow c_m$ desemboca con el fluido R236fa en el dominio del vapor sobrecalentado, lo que es favorable, contrariamente al caso representado en la fig. 8b.

Ejemplo 2

- 20 Para una aplicación idéntica a la del ejemplo 1, se han comparado los prestaciones de los instalaciones según la variante ULG y de los instalaciones según la variante UL, para cada una de las variantes, funcionando una de las instalaciones en las condiciones del ejemplo 1, la otra en las condiciones diferentes, que están indicadas en la tabla siguiente.

	Ejemplo 1	Ejemplo 2
G_M	1,1,1,3,3,3-hexafluoropropano	n-pentano
G_R	tetrafluoroetano	Isobutano
Fuente caliente T_{hM}	65 °C	94,2 °C
COP_4 ULG	0,34	0,51
COP_4 UL	0,56	0,36

- 25 Así utilizando el isobutano como fluido receptor y el n-pentano como fluido motor, con el mismo objetivo de producción de frío a 12 °C pero teniendo una fuente caliente a 94, °C ($=T_{hM}$) los COP de las variantes UL y ULG resultan respectivamente $COP_4(UL)= 0,36$ y $COP_4(ULG)= 0,51$, siendo estos resultados a comparar con el COP máximo que sería de $COP_{C4} = 0,89$ en las condiciones del ejemplo 2. Parece así que, en las condiciones del ejemplo 2, la variante ULG es la que tiene mejor rendimiento, aunque sigue siendo la más compleja.

30 Ejemplo 3

El objetivo considerado es la calefacción del hábitat utilizando como calor principal el calor proporcionado por captadores solares planos y amplificándolo con una instalación que funciona según el modo « motor HT / receptor BT ». Los fluidos de trabajo retenidos son los mismos que en el ejemplo 1 ya sea para el fluido motor, el HFC R236fa y para el fluido receptor, el HFC R-134a.

- 35 Las tensiones termodinámicas son idénticas a las del ejemplo 1, a saber:

- La temperatura T_{hM} (salida de los captadores solares planos) es igual a 65 °C.

- La temperatura T_{bR} del R134a en el evaporador E_R es fijada a 12 °C. Esta temperatura es compatible con una extracción de calor tomada al nivel de una captación geotérmica en invierno en el exterior de la casa a calentar.

- 40 Con estas limitaciones y vistos los equilibrios líquido/vapor de estos fluidos tales como se han representado en la fig. 3, las otras condiciones de temperatura y de presión son idénticas a las del ejemplo 1, a saber:

- Presión alta $P_h = 8,69$ bar; y presión baja $P_b = 4,43$ bar.

- Temperaturas de liberación de calor al nivel de los condensadores C_R y C_M

Sean $T_{bM} = 40,3$ °C y $T_{hR} = 34,3$ °C, temperaturas compatibles con el suministro del calor en el interior de la casa por medio de un suelo calefactor.

- 5 Una máquina de Carnot tetra-térmica que funciona entre estas mismas temperaturas T_{hM} , T_{bM} , T_{bR} , T_{hR} tendría un COA ideal de: $COA_{C4} = 1,93$.

El coeficiente de amplificación de la instalación tetra-térmica funcionando en régimen permanente según la variante UL, que en estas condiciones es la que tiene más rendimiento, es: $COA_4(UL) = 1,56$.

Para esta aplicación, la relación $COA_4(UL)/COA_{C4}$ es aún mejor ($\approx 80\%$).

- 10 Así, con tal bomba de calor reversible, una misma instalación según la invención puede asegurar las condiciones de refrescado en verano (ejemplos 1 y 2) y calefacción (con amplificación) en invierno (el presente ejemplo 3) con excelentes prestaciones en COP y COA con relación al estado de la técnica actual.

Ejemplo 4

Valoración de un rechazo de calor

- 15 En esta aplicación, el propósito considerado es utilizar una instalación tri-térmica según la invención que funciona en el modo « receptor HT / motor BT » para valorar un rechazo de calor (es decir de calor perdido) que es a una temperatura de 105 °C, es decir $T_{hM} = T_{bR} = 105$ °C. Los fluidos de trabajo retenidos son para el fluido motor, el HC n-pentano y para el fluido receptor, el agua.

- 20 Con esta limitación y vistos los equilibrios líquido/vapor de estos fluidos (véase la fig. 3), se obtienen las otras temperaturas y presión, o sea:

- Presión alta $P_h = 6,62$ bar; y presión baja $P_b = 1,21$ bar.

- Temperatura de rechazo de calor al nivel del condensador C_M : $T_{bM} = 41,3$ °C, compatible con una evacuación sobre el aire exterior incluso en verano.

- 25 - Temperatura de suministro de calor al nivel del condensador C_R : $T_{hR} = 162,7$ °C. Este nivel de temperatura es muy superior al del rechazo (105 °C) y por tanto susceptible de ser explotado.

Una máquina de Carnot tri-térmica que funciona entre estas mismas temperaturas $T_{hM} (=T_{bR})$, T_{bM} y T_{hR} tendría un COA ideal de: $COA_{C3} = 0,605$.

El coeficiente de amplificación de la instalación tri-térmica funcionando en régimen permanente según la variante UL es: $COA_3(UL) = 0,292$.

- 30 Para esta aplicación, la relación $COA_3(UL)/COA_{C3}$ es igualmente muy buena ($\approx 48\%$). Además no existe bomba de calor clásica (de compresión mecánica de vapor) que permita, en el estado de la técnica actual, realizar una subida de temperatura hasta este nivel.

REIVINDICACIONES

1. Una instalación tri-térmica o tetra-térmica para la producción de frío y/o de calor, que comprende una máquina termodinámica motriz y una máquina termodinámica receptora que funcionan cada una según un ciclo de Carnot que tienen un grado de reversibilidad inferior al 100% y que comprenden:
- 5 a) la máquina motriz comprende por una parte medios que comprenden conductos y accionadores para hacer circular un fluido de trabajo G_M y por otra parte, en el orden de circulación de dicho fluido de trabajo G_M :
- un evaporador E_M ;
 - al menos un cilindro de transferencia CT_M que contiene un líquido de transferencia LT en su parte inferior y el fluido de trabajo G_M en forma de líquido y/o de vapor por encima del líquido de transferencia ;
- 10
- un condensador C_M ;
 - al menos un dispositivo BS_M de separación de las fases líquida y vapor del fluido de trabajo G_M ;
 - un dispositivo que permite la presurización del fluido de trabajo G_M en el estado líquido;
- instalación caracterizada por que:
- 15 b) la máquina receptora comprende por una parte medios que comprenden conductos y accionadores para hacer circular un fluido de trabajo G_R y por otra parte, en el orden de circulación de dicho fluido de trabajo G_R :
- un condensador C_R ;
 - al menos un dispositivo BS_R de presurización o de expansión y de separación de las fases líquida y vapor del fluido de trabajo G_R ;
 - eventualmente un dispositivo de expansión D_R ;
- 20
- un evaporador E_R ;
 - al menos un cilindro de transferencia CT_R que contiene el líquido de transferencia LT en su parte inferior y el fluido de trabajo G_R en forma de líquido y/o de vapor, por encima del líquido de transferencia ;
- c) los cilindros CT_R y CT_M están unidos por al menos un conducto que se puede obturar por accionadores y en el que puede circular exclusivamente el líquido de transferencia LT, el cual desempeña la misión de un pistón líquido en los cilindros CT_R y CT_M .
- 25
2. Instalación según la reivindicación 1, caracterizada por que el fluido de trabajo G_T (que designa de manera indiferente G_R o G_M) y el líquido de transferencia LT son elegidos de tal manera que G_T sea débilmente soluble, de preferencia insoluble en LT, que G_T no reaccione con LT y que G_T en estado líquido sea menos denso que LT.
- 30
3. Instalación según la reivindicación 2, caracterizada por que LT y G_T están aislados uno del otro por un medio que no impide el intercambio de trabajo entre los cilindros CT_M y CT_R .
4. Instalación según la reivindicación 3, caracterizada por que dicho medio consiste en una membrana flexible interpuesta entre G_T y LT, o en un flotador que tiene una densidad intermedia entre la del fluido de trabajo G_T en el estado líquido y la del líquido de transferencia LT.
- 35
5. Instalación según la reivindicación 1, caracterizada por que comprende un solo elemento CT_M/CT_R que comprende un cilindro de transferencia CT_M y un cilindro de transferencia CT_R .
6. Instalación según la reivindicación 1, caracterizada por que comprende dos elementos CT_M/CT_R designados por CT_M/CT_R y CT_M/CT_R .
7. Instalación según la reivindicación 6, caracterizada por que comprende además dos dispositivos de presurización distintos designados BS_{M1} y BS_{M2} para la máquina matriz, y los dispositivos de presurización distintos designados por BS_{R1} y BS_{R2} para la máquina receptora.
- 40
8. Procedimiento de producción de frío o de calor con ayuda de una instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que consiste en hacer sufrir al fluido de trabajo G_M una sucesión de ciclos de Carnot modificados que tienen cada uno un grado de reversibilidad inferior al 100% en la máquina motriz de la instalación, caracterizado por que
- 45
- cada ciclo de la máquina motriz es iniciado por aporte de calor al evaporador E_M e inicia un ciclo de Carnot

modificado en la máquina receptora por transferencia de trabajo con ayuda del líquido de transferencia LT, entre al menos un cilindro de transferencia de la máquina motriz y al menos un cilindro de transferencia de la máquina receptora,

- 5 – cada uno de los evaporadores E_M y E_R de la instalación está unido a la fuente de calor, respectivamente a la temperatura T_{hM} y T_{bR} y cada uno de los condensadores C_M y C_R está unido a un pozo de calor, respectivamente a la temperatura T_{bM} y T_{hR} , siendo las diversas temperaturas tales como $T_{bM} < T_{hM}$ y $T_{bR} < T_{hR}$.

9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que la instalación comprende medios de intercambio de calor entre por una parte las fuentes y pozos de calor que están a temperaturas diferentes, y por otra parte los evaporadores, condensadores y eventualmente el fluido de trabajo G_T en los recintos de transferencia CT_M y CT_R .

- 10 10. Procedimiento según la reivindicación 8, para la producción de frío a la temperatura T_{bR} inferior a la temperatura ambiente y/o la producción de calor a las temperaturas T_{hR} y T_{bM} superiores a la temperatura ambiente, caracterizado por que la temperatura T_{hM} es superior a la temperatura T_{hR} .

11. Procedimiento según la reivindicación 8, para la producción de calor a una temperatura T_{hR} superior a las de dos fuentes de calor a las temperaturas T_{bR} y T_{hM} , caracterizado por que la temperatura T_{hM} es inferior a la temperatura T_{hR} .

- 15 12. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado porque es puesto en práctica a partir de un estado inicial de la instalación en el que:

- las máquinas motriz y receptora no están conectadas entre sí;
- en cada una de las máquinas, los accionadores que permiten la comunicación entre sus diferentes elementos constitutivos no están activados;

- 20 – la temperatura del conjunto de la instalación y particularmente de los fluidos G_M y G_R que contiene es igual a la temperatura ambiente;

- los líquidos de transferencia LT en los cilindros de transferencia motores y receptores (CT_M y CT_R) están a niveles intermedios comprendidos entre los niveles mínimos y máximos en estos cilindros,

- 25 13. Procedimiento según la reivindicación 8, para la producción de frío a una temperatura T_{bR} inferior a la temperatura ambiente, caracterizado por que el primer ciclo de arranque está constituido por:

- una 1ª etapa que consiste en realizar simultáneamente las acciones siguientes :

- * puesta en comunicación térmica, mediante un fluido portador de calor, de la fuente caliente a T_{hM} y del evaporador E_M , lo que tiene como consecuencia aumentar la temperatura y la presión de vapor que satura de G_M en E_M ;
- 30 * puesta en comunicación de CT_M y E_M , lo que tiene como consecuencia una evaporación de G_M en E_M y una transferencia de G_M al estado vapor de E_M hacia CT_M ;
- * puesta en comunicación del dispositivo BS_M y de E_M , lo que tiene como consecuencia una transferencia de G_M líquido de BS_M hacia E_M ;
- 35 * puesta en comunicación de los cilindros CT_M y CT_R , lo que tiene como consecuencia una transferencia del líquido LT de CT_M hacia CT_R y una compresión de los vapores de G_R contenidos en CT_R ;
- * puesta en comunicación del cilindro CT_R y C_R , lo que tiene como consecuencia una transferencia de los vapores de G_R de CT_R hacia C_R , una condensación de dichos vapores en C_R (necesitando una evacuación de calor al pozo de calor inicialmente a temperatura ambiente pero que va progresivamente a alcanzar su valor nominal T_{hR} superior o igual a la temperatura ambiente) y una acumulación de los condensados en el dispositivo BS_R ;
- 40

- una 2ª etapa que concierne principalmente a la máquina motriz y que consiste en realizar simultáneamente las acciones siguientes :

- * detención de la circulación del fluido G_M en la máquina motriz y detención de la circulación del fluido G_R en la máquina receptora, y mantenimiento de la circulación de los fluidos portadores de calor que intercambian con la fuente de calor a T_{hM} y los pozos de calor en T_{hR} y T_{bM} ;
- 45
- * puesta en comunicación de CT_M y C_M , lo que tiene como consecuencia una transferencia de G_M de CT_M hacia C_M , una disminución de la presión de G_M en CT_M , una condensación de G_M en C_M (necesitando una evacuación de calor al pozo de calor inicialmente a temperatura ambiente pero que va progresivamente a alcanzar su valor

nominal T_{bM} superior o igual a la temperatura ambiente) y una acumulación de los condensados en el dispositivo BS_M ;

- una 3ª etapa que consiste en realizar simultáneamente las acciones siguientes :

- 5 * puesta en comunicación de BS_R y del evaporador E_R , lo que tiene como consecuencia transvasar una parte del liquido G_R de BS_R hacia E_R , siendo entonces la presión de vapor de G_R en E_R superior a la existente en CT_M ;
- * puesta en comunicación de los cilindros CT_R y CT_M , teniendo el equilibrado casi-instantáneo de las presiones que se produce en estos dos cilindros como consecuencias :
 - = una transferencia del liquido LT de CT_R hacia CT_M ,
 - = una compresión de los vapores de G_M contenidos en CT_M ,
 - 10 = una expansión y una evaporación endotérmica de G_R en E_R ,
 - = una condensación de los vapores de G_M en C_M (necesitando una evacuación de calor al pozo de calor a la temperatura T_{bM}) y la acumulación de los condensados de G_M en BS_M .
 - = una disminución de la temperatura del fluido G_R que queda en estado liquido en E_R hasta la temperatura de saturación para la presión resultante después de la puesta en comunicación de CT_R y CT_M ;
- 15 - una 4ª etapa que concierne principalmente a la máquina receptora y que consiste en realizar simultáneamente las acciones siguientes :
 - * detención de la circulación del fluido G_M en la máquina motriz y detención de la circulación del fluido G_R en la máquina receptora, y mantenimiento de la circulación de los fluidos portadores de calor que intercambian con la fuente de calor a T_{hM} y los pozos de calor a T_{hR} y T_{bM} ;
 - 20 * puesta en comunicación de BS_R y CT_R , lo que tiene como consecuencia una evaporación de G_R en BS_R , una transferencia de G_R de BS_R hacia CT_R , un aumento de la presión de G_R en CT_R , un intercambio de calor entre el dispositivo BS_R con la fuente a T_{hR} y un consumo de calor al nivel de BS_R .

14. Procedimiento según la reivindicación 8, para la climatización de un inmueble, caracterizado por que:

- la instalación comprende un único cilindro CT_R y un único cilindro CT_M que forma un pistón liquido,
- 25 - el isobutano es utilizado como fluido G_R y el n-pentano como fluido motor G_M
- la fuente de la máquina motriz es la energía solar.

Fig. 1

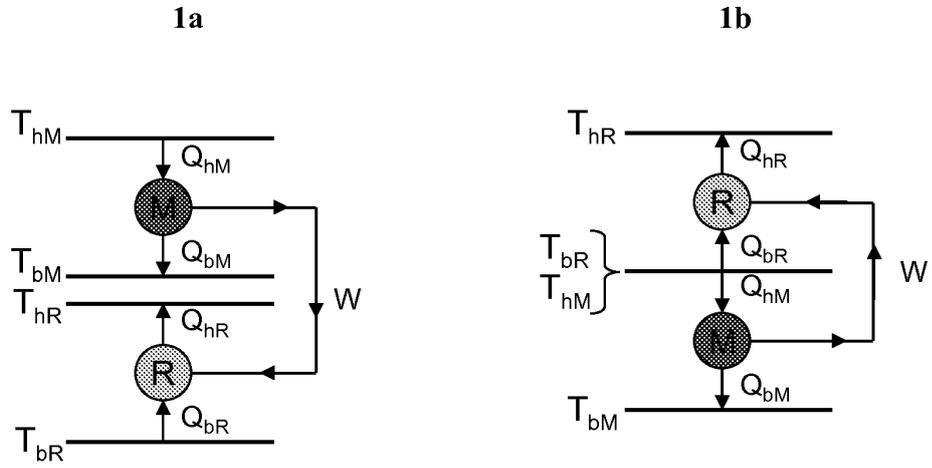


fig. 2a

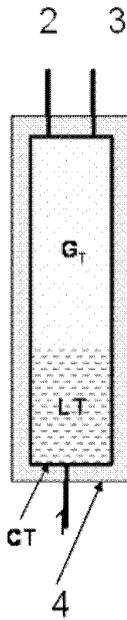


fig. 2b

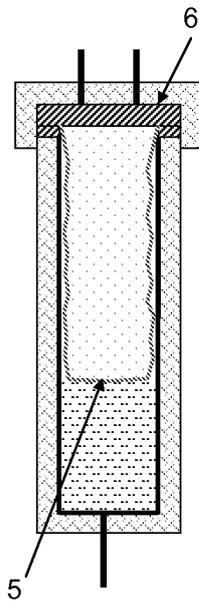


Fig. 2c

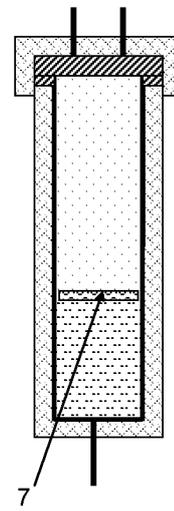


Fig. 3

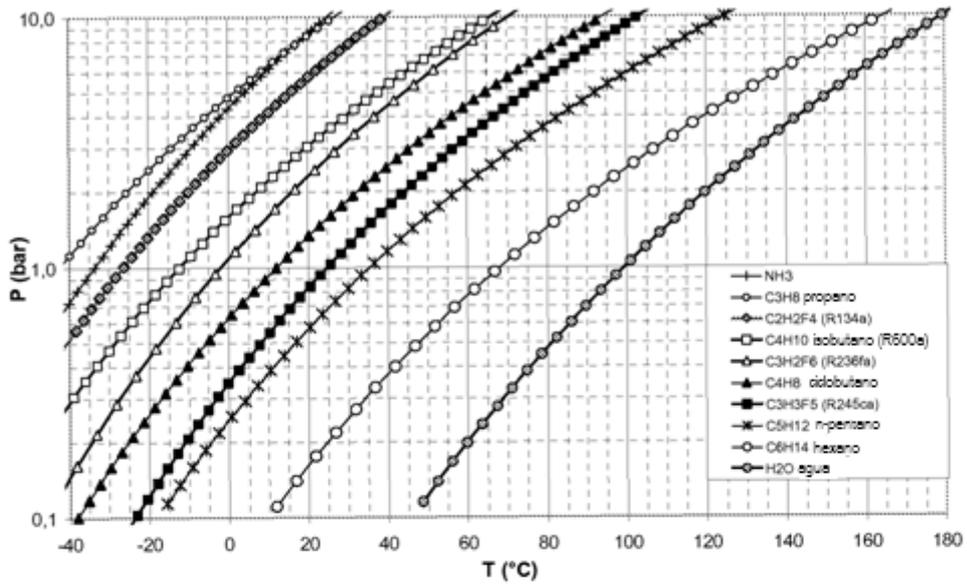


Fig. 4

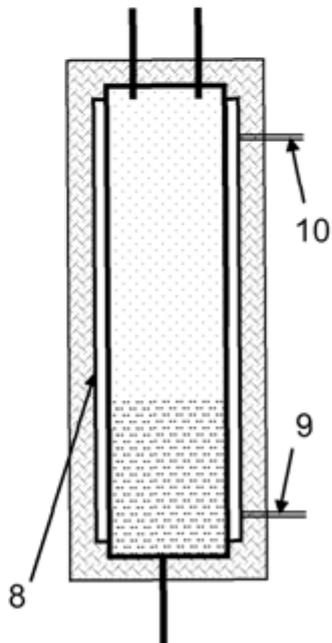


Fig. 5

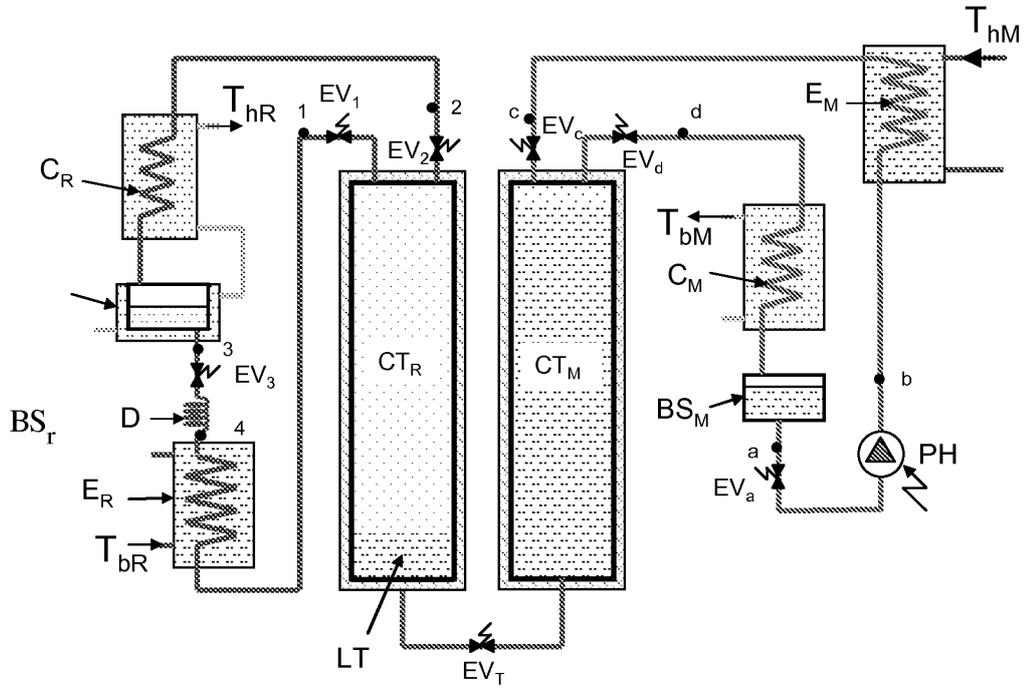


Fig. 6a

Fig. 6b

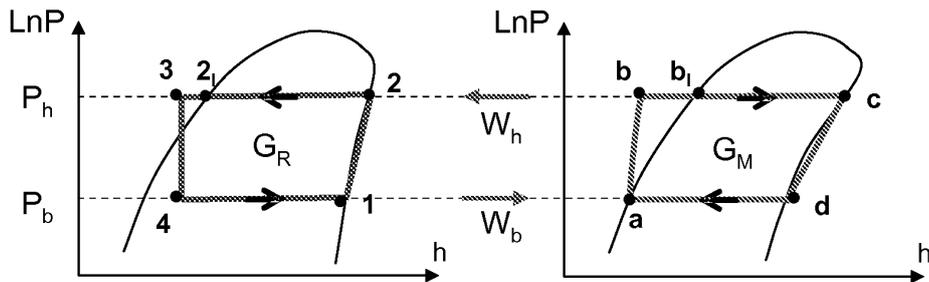


Fig. 6c

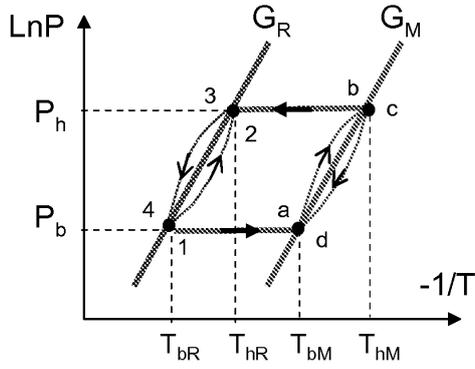


Fig. 6d

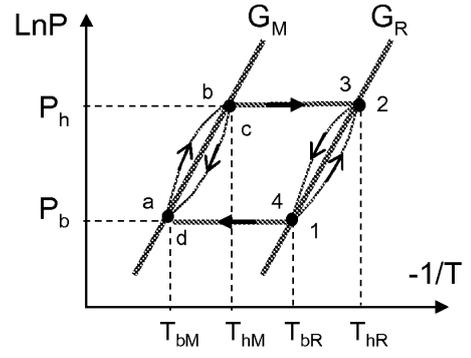


fig. 7

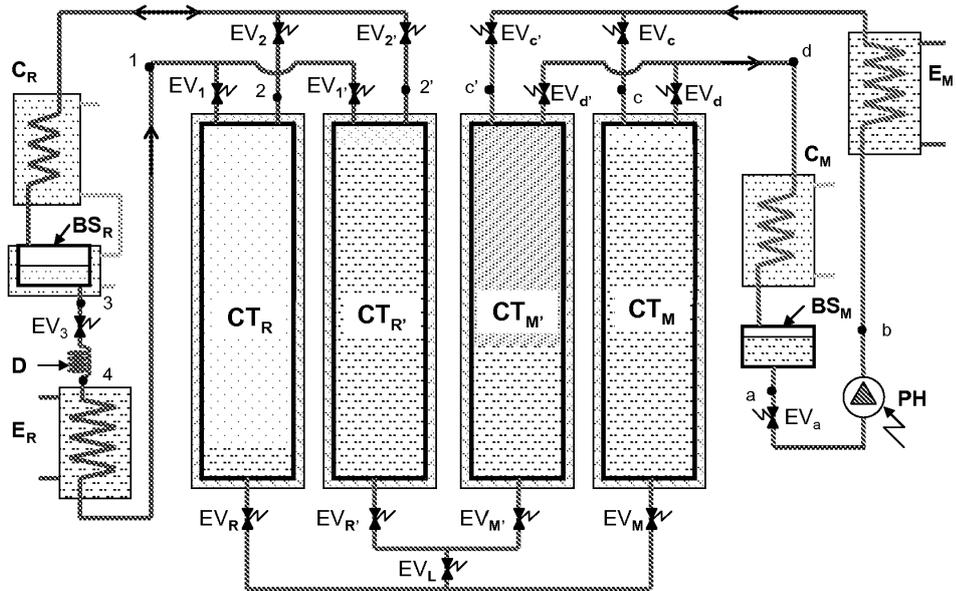


Fig. 8a

Fig. 8b

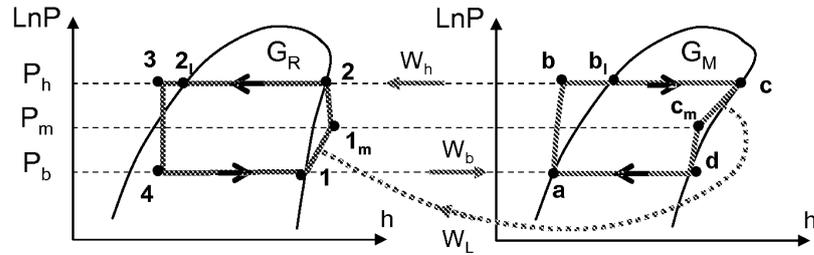


Fig. 9a

Fig. 9b

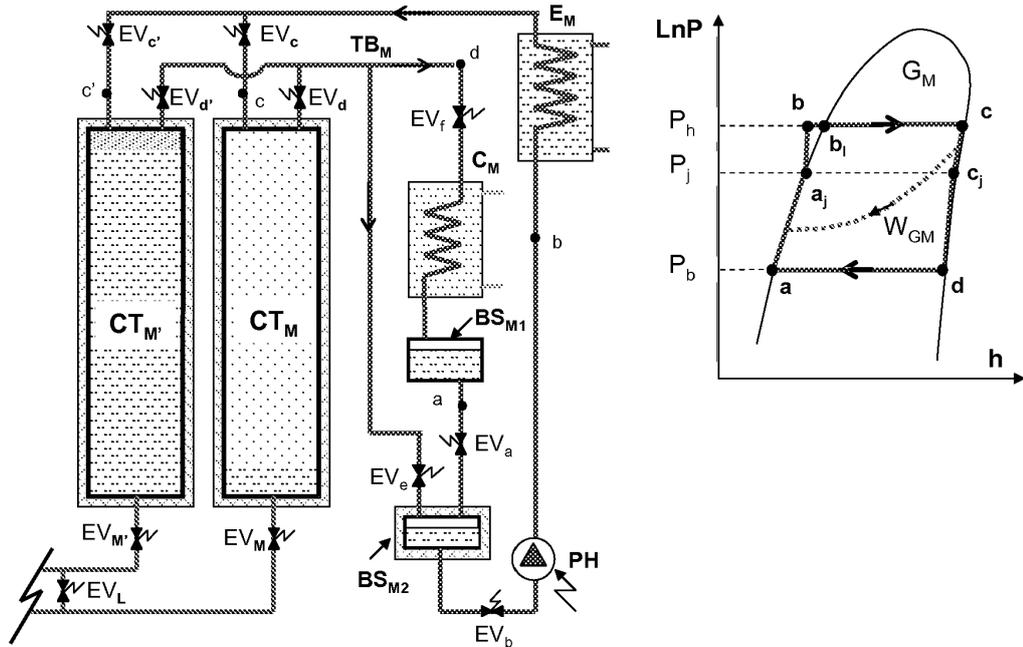


Fig. 10a

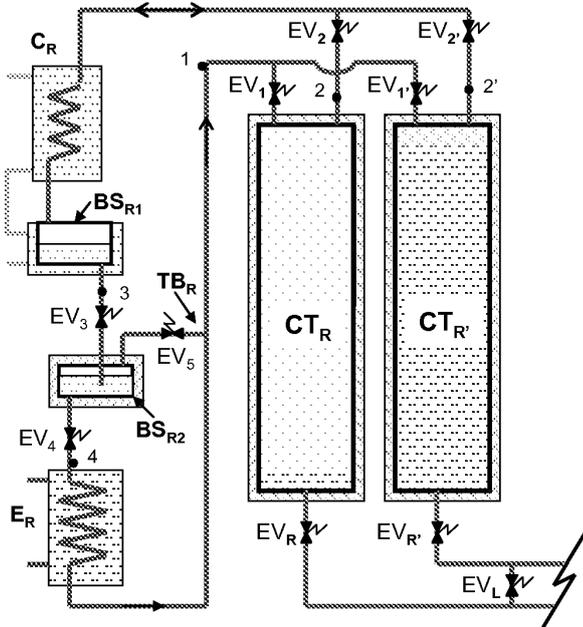


Fig. 10b

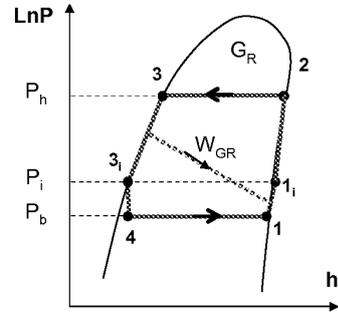


Fig. 10c

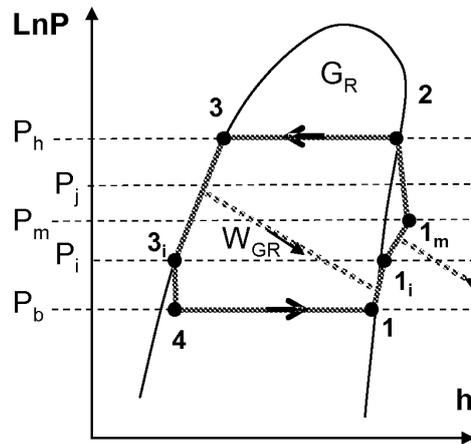


Fig. 10d

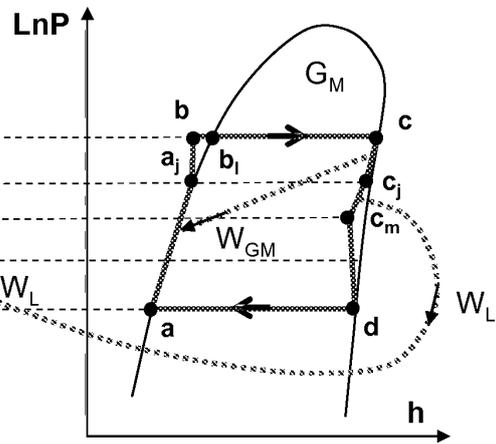


Fig. 11a

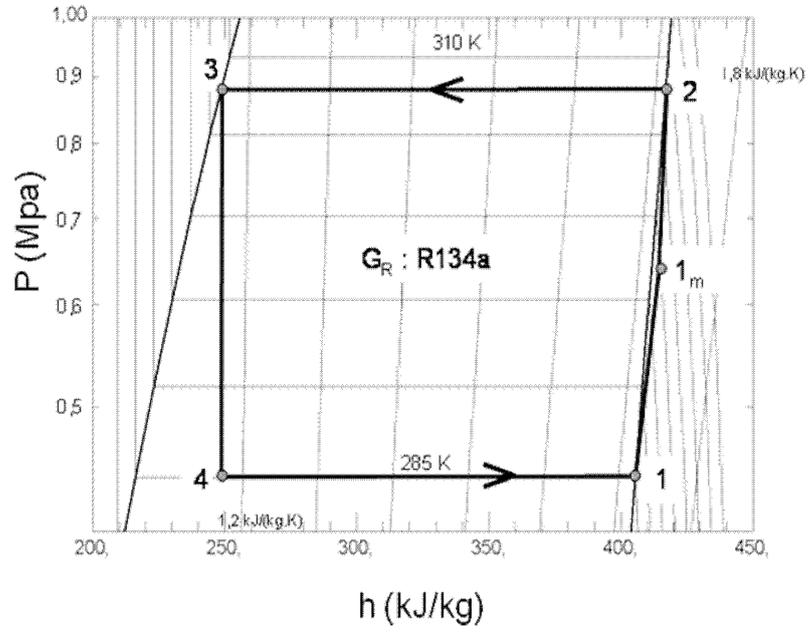


Fig. 11b

