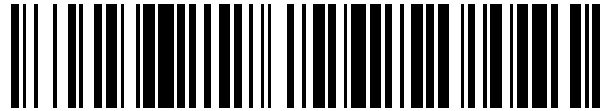


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 764 164**

51 Int. Cl.:

**F28D 15/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.12.2012 E 17202353 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2019 EP 3355019**

54 Título: **Dispositivo de refrigeración**

30 Prioridad:

**20.12.2011 FR 1103954**

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

**02.06.2020**

73 Titular/es:

**AIRBUS DEFENCE AND SPACE SAS (100.0%)  
31 rue des Cosmonautes, ZI du Palays  
31402 Toulouse Cedex 4, FR**

72 Inventor/es:

**FIGUS, CHRISTOPHE**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 764 164 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**

Dispositivo de refrigeración

La presente invención cae en el ámbito de los intercambiadores de calor.

5 Más en particular, concierne a un tipo de dispositivo de regulación térmica puramente pasivo basado en un bucle de transferencia térmica de circulación de fluido utilizado para la refrigeración de varias fuentes de calor.

**Preámbulo y técnica anterior**

De acuerdo con el estado de la técnica representado en la figura 1, un bucle fluido de transferencia térmica, utilizado para refrigerar una fuente de calor 41, comprende:

1/ un conducto cerrado en el cual circula un fluido bifásico,

10 2/ un intercambiador térmico 10, denominado evaporador, que realiza un intercambio térmico entre el fluido y la fuente de calor, y

3/ un intercambiador térmico 61, denominado condensador, que realiza un intercambio térmico entre el fluido y un sumidero de calor 60 que permite la refrigeración.

15 El fluido bifásico utilizado está generalmente en el estado principalmente líquido en la parte fría del bucle, y en el estado principalmente gaseoso en su parte caliente.

Una fuente de calor típica está constituida por ejemplo por un equipo electrónico disipativo, y un sumidero de calor típico está constituido por ejemplo por un radiador en contacto con un ambiente más frío que la fuente de calor o bien por una máquina de ciclo termodinámico, por ejemplo de ciclo de Stirling, que produce frío a partir de energía eléctrica.

20 De modo más general, una fuente de calor puede estar constituida por un elemento no necesariamente electrónico calentado por equipos electrónicos disipativos o por elementos externos al sistema. Este es el caso por ejemplo cuando se fija un conjunto de equipos electrónicos a una estructura portante, que eventualmente reparte el calor emitido por los equipos sobre el conjunto de la estructura por medio de conductos de calor o de cualquier otro dispositivo que permita hacerlo. En este caso, la fuente de calor que hay que considerar es el conjunto constituido por la estructura portante y por los equipos, y el intercambiador térmico del bucle frío de transferencia térmica puede estar situado en un equipo particular, o bien en la estructura portante. Se puede igualmente considerar que simples elementos estructurales iluminados por el sol (como por ejemplo bafles) pueden constituir fuentes de calor.

30 En el ámbito más particular de los bucles fluidos en los que el bombeo del fluido está asegurado por capilaridad (denominado "bucle fluido capilar"), el evaporador 10 puede comprender ventajosamente una reserva de fluido 70 (véanse las figuras 1 y 7) en el estado bifásico líquido/vapor (en el caso de un bucle fluido denominado "Loop Heat Pipe"), y en todos los casos una masa porosa 80, o ventajosamente microporosa (poros de un tamaño micrométrico) que asegure el bombeo del líquido por capilaridad.

35 La reserva de líquido, denominada depósito 70, está situada en la proximidad de la masa microporosa a fin de aprovisionarla de líquido. El líquido presente en el depósito es bombeado por la masa microporosa que está situada lo más cerca de la fuente de calor. El líquido se vaporiza principalmente a este nivel y el vapor 91 así creado es evacuado a través de un conducto hacia el sumidero de calor en el que se condensa a nivel del condensador y después vuelve a su forma parcial o totalmente líquida 92 hacia el evaporador a través de otro conducto para crear un ciclo de transferencia de calor.

40 El condensador a su vez puede estar constituido simplemente por el conducto que lleva el fluido, en general un simple tubo, al cual se añade un dispositivo (por ejemplo una placa base) que permite reforzar el intercambio térmico entre el conducto y el sumidero de calor.

45 Cuando varias fuentes de calor separadas y distantes deben ser refrigeradas, el estado de la técnica (por ejemplo documento US2011/0056225) sugiere utilizar tantos bucles fluidos como fuentes de calor, o multiplicar los evaporadores capilares en circuitos paralelos. Un evaporador de bucle fluido está colocado en contacto con cada fuente de calor y está unido a un radiador para evacuar el calor de la fuente de calor. Así pues, hay tantos evaporadores y bucles de fluidos como fuentes de calor.

El documento WO2011/007604 de la técnica anterior, propone un dispositivo de refrigeración de dos fuentes de calor distintas, comprendiendo el dispositivo un circuito cerrado que contiene un fluido bifásico, dos evaporadores capilares colocados en contacto térmico con las dos fuentes de calor, y dos condensadores.

**50 Exposición de la invención**

La invención concierne en primer lugar a un dispositivo de refrigeración de al menos dos fuentes de calor,

caracterizado por que comprende:

- un circuito cerrado en el cual circula un fluido bifásico,
- al menos un evaporador, colocado en contacto térmico con una de las fuentes de calor, denominada fuente de calor primaria,
- 5 - por cada otra fuente de calor, denominada fuente de calor secundaria, que haya que refrigerar, al menos un intercambiador adaptado para ser colocado en contacto térmico con la citada fuente de calor secundaria,
- al menos un condensador, denominado primer condensador, dispuesto aguas abajo (según el sentido de recorrido teórico del fluido en el circuito) del evaporador, y aguas arriba del al menos un intercambiador,
- 10 - al menos un condensador, denominado último condensador, dispuesto aguas arriba (según el sentido de recorrido teórico del fluido en el circuito) del evaporador y aguas abajo del al menos un intercambiador.

En una aplicación particular, por ejemplo en el ámbito de los vehículos colocados en microgravedad, el evaporador es ventajosamente un evaporador de tipo capilar. Se comprende que la utilización de un evaporador capilar permite crear un dispositivo pasivo de refrigeración.

Se comprende que la invención permite utilizar un solo bucle fluido y un solo evaporador para refrigerar al menos dos fuentes de calor separadas y eventualmente distantes. La distancia entre las dos fuentes de calor puede variar de algunos milímetros, o centímetros, a algunos metros en función de las aplicaciones.

El dispositivo permite además mejorar la capacidad del bucle frío para funcionar a través de un ambiente térmico más caliente que la temperatura de funcionamiento del bucle fluido.

De acuerdo con una puesta en práctica particular, el dispositivo comprende además al menos un condensador denominado condensador secundario, dispuesto entre dos fuentes de calor secundarias.

En un modo más particular de realización, el dispositivo comprende, por cada intercambiador, condensadores colocados directamente aguas arriba y aguas abajo del citado intercambiador, estando adaptados los condensadores para ser dispuestos en contacto térmico con sumideros de calor. Se entiende por "directamente" el hecho de que cada condensador esté separado del intercambiador asociado solamente por un conducto de circulación de fluido, y no por otro intercambiador.

Se comprende que el fluido bifásico circula entonces desde el evaporador de modo alterno en los condensadores y en los intercambiadores, estando colocado un condensador aguas arriba y aguas abajo de cada intercambiador.

De acuerdo con modos de realización del dispositivo, utilizados eventualmente en conjunción:

- al menos un intercambiador está constituido por un tubo de diámetro pequeño (de algunas décimas de milímetros a algunos milímetros),
- el circuito cerrado está realizado en forma de un tubo, presentando el citado tubo una estructura interna capilar al menos a nivel de un intercambiador,
- el último condensador está integrado en el depósito del evaporador capilar.

La invención concierne en segundo lugar a un bucle térmico que comprende al menos dos fuentes de calor y al menos un sumidero de calor, y a un dispositivo de refrigeración tal como el expuesto.

Ventajosamente, el evaporador esta dispuesto en la fuente de calor más disipativa, a saber la fuente de calor primaria.

Ventajosamente, la fuente de calor primaria es de potencia térmica superior o igual a la suma de las potencias térmicas de las fuentes de calor secundarias colocadas entre cualquier par de condensadores sucesivos.

De acuerdo con un modo particular de realización, el bucle térmico comprende igualmente un recalentador, adaptado para ser dispuesto a nivel de la fuente de calor primaria a fin de crear una potencia térmica que se añade a la potencia térmica de la fuente de calor primaria, de tal modo que la suma de las potencias disipadas por la citada fuente de calor primaria y el citado recalentador sea superior o igual a la suma de potencias térmicas de las fuentes de calor secundarias situadas entre cualquier par de condensadores sucesivos.

De acuerdo con una puesta en práctica que permite simplificar la realización del bucle térmico, al menos dos condensadores están dispuestos en el mismo sumidero de calor.

De acuerdo con un modo particular de realización, la pérdida de carga entre, por una parte, el evaporador capilar, o un intercambiador y, por otra, un condensador situado aguas abajo del citado evaporador capilar, o del citado intercambiador, está adaptada para disminuir por debajo de un valor dado la temperatura de vaporización en los

intercambiadores situados aguas abajo del citado condensador.

En este caso, de acuerdo con un modo de realización, la pérdida de carga es realizada por un dispositivo que disminuye la presión en un conducto de fluido situado entre, por una parte, el citado evaporador capilar, o el citado intercambiador y, por otra, el citado condensador.

- 5 En otro modo de realización, eventualmente utilizado en conjunción, la pérdida de carga es realizada adaptando la longitud y/o el diámetro de un conducto de fluido situado entre, por una parte, el citado evaporador, o el citado intercambiador y, por otra, el citado condensador.

La invención concierne bajo otros aspectos a un instrumento que comprenda un dispositivo de refrigeración o un bucle térmico tales como los expuestos.

- 10 La invención concierne todavía a una tarjeta electrónica que comprenda un dispositivo de refrigeración o un bucle térmico tales como los expuestos. Ventajosamente, el sumidero de calor está constituido por la placa base de la tarjeta electrónica.

La invención concierne, bajo todavía otro aspecto, a un panel portaequipo caracterizado por que el mismo comprenda un dispositivo de refrigeración o un bucle térmico tales como los expuestos.

- 15 De acuerdo con un modo de realización, el panel comprende una primera cara a la cual están fijados equipos, y la cara opuesta a esta primera cara es un sumidero de calor.

En un modo de realización, el dispositivo comprende un evaporador y un conducto cuyas diferentes partes son sucesivamente condensadores e intercambiadores, siendo las partes del conducto conectadas al evaporador condensadores.

- 20 Preferentemente, la circulación del fluido entre el evaporador capilar y el primer condensador se hace en forma vapor.

De acuerdo con una puesta en práctica preferida, el primer condensador está más próximo al primer intercambiador aguas abajo del citado evaporador que del citado evaporador, a fin de limitar las fugas térmicas con el ambiente en los tramos de tubo líquido, o bifásicos (líquido/vapor).

- 25 Asimismo, de acuerdo con una puesta en práctica preferida, el último condensador está más próximo al evaporador que al último intercambiador aguas abajo del evaporador.

Ventajosamente, el fluido bifásico que circula en el bucle cerrado tiene una pendiente pequeña de saturación ( $dP/dT$ , donde  $P$  es la presión y  $T$  la temperatura), permitiendo así vaporizar en el intercambiador a una temperatura de saturación varios grados más baja (orden de magnitud 10 K) con respecto a la temperatura de saturación del evaporador.

- 30 La invención concierne en segundo lugar a un satélite que comprenda al menos un dispositivo o un bucle térmico tales como los expuestos.

### **Presentación de las figuras**

- 35 Las características y ventajas de la invención se apreciarán mejor gracias a la descripción que sigue, descripción que expone las características de la invención a través de un ejemplo no limitativo de aplicación.

La descripción se apoya en las figuras anejas, las cuales representan:

Figura 1 (ya citada): un ejemplo de bucle fluido capilar con evaporador plano en un montaje conocido del estado de la técnica.

- 40 Figura 2: un ejemplo de dispositivo de acuerdo con la invención, que comprende un evaporador, varios intercambiadores y condensadores,

Figura 3: un esquema presión / temperatura representativo del circuito de fluido ilustrado en la figura 2,

Figura 4: un ejemplo de puesta en práctica del dispositivo en una aplicación a un instrumento óptico,

Figura 5: un ejemplo de puesta en práctica del dispositivo en una aplicación a la refrigeración de una tarjeta electrónica,

- 45 Figura 6: un esquema de puesta en práctica del dispositivo en una aplicación a la refrigeración de una pluralidad de equipos electrónicos dispuestos en un panel radiante,

Figura 7: un ejemplo en el que un condensador está integrado en el evaporador.

**Descripción detallada de un modo de realización de la invención**

5 En el presente modo de puesta en práctica, dado en este caso a modo ilustrativo y no limitativo, un dispositivo de acuerdo con la invención es utilizado en el marco de un bucle de refrigeración embarcado a bordo de un vehículo colocado en estado de ingravidez, en este caso un satélite terrestre. Este bucle de refrigeración está concebido y dimensionado según los equipos embarcados a bordo del satélite. Su geometría depende por tanto de la geometría de los equipos embarcados, y de su disposición en el seno del citado satélite.

10 Un dispositivo de refrigeración es, en el presente ejemplo de puesta en práctica, un recinto estanco en el cual circula un fluido bifásico, comprendiendo este recinto como está ilustrado en la figura 2 un evaporador capilar 10, al menos otro intercambiador 14, 19 (en este caso están representados dos), al menos dos condensadores 12, 22 aguas abajo y aguas arriba del evaporador 10, en este caso otro condensador 17 aguas abajo del intercambiador 14 y aguas arriba del intercambiador 19, conductos 11, 13, 16, 18, 21, 23 que unen estos diversos elementos.

Aguas arriba y aguas abajo se definen según el sentido de recorrido teórico del fluido en el circuito.

Un intercambiador es en este caso por definición una parte del dispositivo en la cual el fluido bifásico está en contacto térmico con una fuente de calor. En este sentido, un evaporador es un intercambiador.

15 Un condensador es en este caso por definición una parte del dispositivo en la cual el fluido bifásico está en contacto térmico con un sumidero de calor.

Un evaporador capilar es en este caso por definición un intercambiador en el cual la evaporación del fluido se efectúa en el seno de una masa (micro)porosa 80.

20 El evaporador capilar 10 está adaptado para estar dispuesto de tal modo que esté en intercambio térmico, y preferentemente en contacto con una fuente de calor, denominada fuente de calor primaria 41. En el modo de realización descrito aquí, esta fuente de calor primaria 41 es elegida como la fuente de calor más disipadora de potencia térmica, entre un conjunto predeterminado de fuentes de calor que haya que refrigerar.

25 Este evaporador 10 es de tipo en sí conocido. Se trata de un evaporador capilar por ejemplo un evaporador plano como está representado en la figura 2, o un evaporador cilíndrico de acuerdo con el estado de la técnica, adaptado para ser colocado en contacto por una de sus caras, o por una placa base prevista a tal efecto, con la fuente de calor primaria 41.

30 Se recuerda que en un evaporador capilar, un líquido es mantenido en el seno de una masa microporosa 80, a pesar de la ausencia de gravedad, por las fuerzas de tensión de superficie que existen en el seno de las células de la masa microporosa, siendo alimentada ésta de líquido por un depósito 70 de fluido dispuesto en la proximidad inmediata.

Estando situada la masa microporosa lo más cerca de la fuente de calor primaria 41, el líquido se vaporiza a este nivel. El caudal de fluido resultante es aproximadamente proporcional a la potencia térmica de la fuente de calor primaria 41.

35 El vapor así creado a nivel del evaporador 10 es encaminado a través de un primer conducto 11, de tipo y material en sí conocidos, hacia un primer condensador 12 representado de modo muy esquemático en la figura 2, adaptado para ser dispuesto en contacto térmico con un primer sumidero de calor (no ilustrado en la figura 2).

40 Este primer condensador 12 puede ser, por ejemplo, un tubo de pequeño diámetro (típicamente algunos milímetros) que serpentea la superficie de un radiador plano que radia hacia el espacio libre, desempeñando este radiador la función de sumidero de calor. A nivel de este primer condensador 12, el vapor se transforma todo o en parte en un flujo de líquido gracias al intercambio térmico entre el fluido en fase vapor y el citado sumidero de calor.

45 En un caso óptimo de realización, el sumidero de calor (no representado en la figura 2) y el condensador 12 están dimensionados (por ejemplo en términos de temperatura del sumidero de calor y de longitud del tubo a nivel del condensador 12) de tal modo que el caudal de líquido que sale del condensador 12 sea suficiente para que su vaporización en el intercambiador 14 permita transferir al fluido una gran parte del calor disipado por la fuente de calor 15.

50 Al final de este paso a través del primer condensador 12, el líquido (o la mezcla bifásica líquido-vapor) que sale del primer condensador 12 es empujado por el flujo del vapor (a condición de que la presión motriz del evaporador 10 sea superior a las pérdidas de carga en el dispositivo) y circula a través de un segundo conducto 13 hasta un segundo intercambiador 14 (siendo el evaporador 10 el primer intercambiador en contacto con una fuente de calor), colocado en la proximidad inmediata, y preferentemente en contacto con una segunda fuente de calor 15, denominada fuente de calor secundaria, que ventajosamente disipa una potencia térmica menor que la fuente de calor primaria 41.

El segundo intercambiador 14 permite transferir la potencia térmica de la fuente de calor secundaria 15 al fluido del dispositivo, esencialmente por vaporización del líquido. Este segundo intercambiador 14, representado muy

- esquemáticamente en la figura 2, puede estar constituido ventajosamente por un conducto que tiene una estructura interna capilar en periferia (perfil ranurado o masa microporosa) dispuesta de modo que el líquido del fluido bifásico se reparta por capilaridad sobre la zona del conducto en la que se produce el intercambio térmico, o más simplemente por un conducto de dimensión pequeña en contacto directo con la fuente de calor secundaria 15, pudiendo ser este conducto un tubo cilíndrico prolongado eventualmente por una placa base plana que favorezca los intercambios térmicos o un conducto en forma de placa diseñada ventajosamente para maximizar la superficie de intercambio.
- En contacto con el calor emitido por la fuente de calor secundaria 15, el líquido se recalienta y se vaporiza todo o en parte, absorbiendo así una cantidad más o menos importante de energía.
- El fluido bifásico emergente del segundo intercambiador 14 es empujado por el flujo forzado creado por el evaporador capilar 10 a través de un tercer conducto 16 hasta un segundo sumidero de calor, eventualmente confundido con el primero, donde el condensador intermedio 17 permite refrigerar el fluido bifásico recalentado por la fuente de calor secundaria.
- En el dispositivo ilustrado por la figura 2, al final de este paso a través del condensador intermedio 17 el líquido (o la mezcla bifásica líquido-vapor) que sale del condensador intermedio 17 es empujado por el flujo del vapor y circula a través de un cuarto conducto 18 hasta un tercer intercambiador 19, colocado en la proximidad inmediata, y preferentemente en contacto con una tercera fuente de calor 20, denominada segunda fuente de calor secundaria, que ventajosamente disipa una potencia térmica menor que la fuente de calor primaria 41.
- El tercer intercambiador 19 permite transferir la potencia térmica de la tercera fuente de calor 20, denominada segunda fuente de calor secundaria al fluido del dispositivo. Este tercer intercambiador 19 puede ser del mismo tipo que el segundo intercambiador 14.
- El fluido bifásico emergente del tercer intercambiador 19 es empujado por el flujo forzado creado por el evaporador capilar 10 a través de un quinto conducto 21 hasta un tercer sumidero de calor, eventualmente confundido con los precedentes, donde un último condensador 22 permite refrigerar el fluido bifásico recalentado por la fuente de calor secundaria 20.
- Un sexto conducto 23 lleva el fluido refrigerado por el último condensador 22 hacia el evaporador capilar 10. Este último condensador 22 se sitúa ventajosamente en la proximidad del evaporador capilar 10 a fin de limitar el recalentamiento del líquido que llega al evaporador capilar 10 por el ambiente más o menos caliente donde se sitúa el conducto 23.
- La figura 2 se da únicamente a modo de ilustración de una realización del dispositivo de acuerdo con la invención.
- Otra realización más simple podría ser sin condensador intermedio 17. Este puede ser ventajosamente el caso cuando la suma de las potencias térmicas de las fuentes de calor secundarias 15, 20 es inferior a la potencia térmica de la fuente de calor primaria 41.
- Otra realización todavía más simple comprendería solamente una fuente de calor secundaria 14 y no condensador intermedio 17.
- A la inversa, para cubrir el conjunto de las realizaciones posibles, el especialista en la materia comprenderá que se puede multiplicar el número de fuentes de calor secundarias y de condensadores en tanto que las pérdidas de carga en el bucle fluido sean inferiores a la presión capilar máxima del evaporador capilar.
- En el caso más general, el dispositivo puede comprender K condensadores C1, ..., CK ( $K \geq 2$ ), debiendo estar los condensadores C1 y CK dispuestos necesariamente respectivamente aguas abajo y aguas arriba del evaporador y, entre dos condensadores sucesivos Ci y Ci+1, el mismo puede comprender Ni intercambiadores Ei,1, Ei,2, ..., Ei,Ni en contacto térmico con Ni fuentes de calor secundarias. Si se indica por E00 el evaporador del bucle fluido capilar situado en la fuente de calor primaria 41, la circulación del fluido sigue el camino siguiente (donde el símbolo « > » indica naturalmente el sentido de circulación del fluido):
- $E00 > C1 > E1,1 > E1,2 > \dots > E1,N1 > C2 > E2,1 > E2,2 > \dots > E2,N2 > C3 > \dots > CK-1 > EK-1,1 > EK-1,2 > \dots > EK-1, NK > CK > E00.$
- En este caso general, será ventajoso que la potencia térmica de la fuente de calor primaria sea superior o igual a la suma de las potencias térmicas de las fuentes de calor secundarias en contacto con los intercambiadores Ei,1, Ei,2, ..., Ei,Ni colocados entre el par de condensadores Ci, Ci+1 y esto cualquiera que sea este par de condensadores.
- Los estados sucesivos del fluido bifásico en el seno del bucle fluido del dispositivo descrito están ilustrados en la figura 3, la cual representa el diagrama presión / temperatura del fluido durante su recorrido de un dispositivo de refrigeración tal como el ilustrado en la figura 2 y descrito anteriormente. En esta figura 3 está representada la curva Psat(Tsat) que representa la presión Psat de saturación en función de la temperatura Tsat de saturación, es decir el límite entre ámbito líquido y ámbito gaseoso del fluido, que circula en el bucle fluido capilar (fuera de la masa

microporosa).

5 Como se ve en esta figura, en la cual los puntos 1 a 7 corresponden a los puntos indicados en la figura 2, el fluido a la salida del evaporador 10 (punto 1 en las figuras 2 y 3) presenta un par presión / temperatura dispuesto en la curva de transición líquido / vapor. Este es aquí el punto que presenta la presión más elevada P(1) y la temperatura más elevada T(1). En todo el bucle térmico, la presión del fluido disminuirá a lo largo de la circulación, debido a las pérdidas de carga en los conductos, condensadores e intercambiadores.

Durante su circulación en el primer conducto 11, el vapor pierde una parte de su presión y entra en el primer condensador 12 en un punto indicado por 101 en la figura 3.

10 En este primer condensador 12, el vapor se condensa. El punto de salida del primer condensador (punto 2 en la figura 3) está en este caso en el ámbito líquido del diagrama si se supone que todo el vapor se ha condensado a nivel del condensador y si el líquido ha sido enfriado por debajo de la temperatura de saturación a la presión en este lugar del bucle fluido.

15 Después, a la salida del primer intercambiador 14 dispuesto aguas abajo de este primer condensador 12, el fluido pasa de nuevo a un estado bifásico en el que está parcialmente en fase vapor (punto 3 en la figura 3) y su par P(3), T(3) está por tanto situado en la recta de cambio de fase.

De nuevo, pérdidas de carga reducen la presión de vapor durante el encaminamiento en el conducto, hasta el punto de entrada en el segundo condensador 17 (punto 201 en la figura 3).

En este segundo condensador 17, el vapor se condensa totalmente y el punto de salida del segundo condensador (punto 4 en la figura 3) está todavía en el ámbito líquido del diagrama.

20 A la salida del segundo intercambiador 19 dispuesto aguas abajo de este segundo condensador 17, el fluido pasa de nuevo parcialmente a fase vapor (punto 5 en la figura 3) y su par P(5), T(5) está situado de nuevo en la recta de cambio de fase.

De nuevo, pérdidas de carga reducen la presión de vapor durante el encaminamiento en el conducto, hasta el punto de entrada en el último condensador 22 (punto 301 en la figura 3).

25 En este último condensador 22, el vapor se condensa y el punto de salida del segundo condensador (punto 6 en la figura 3) está todavía en el ámbito líquido del diagrama.

30 El líquido de refrigeración circula entonces hasta el depósito 70 de líquido (punto 7) en contacto con la masa microporosa 80, después circula a través de la masa microporosa 80 por capilaridad siendo recalentado con respecto a las condiciones normales de vaporización hasta el punto 401 de la figura 3 en el que se vaporiza (retorno al punto 1).

Debe observarse que este diagrama se da aquí únicamente a modo de ejemplo. No hay obligación de condensación y/o vaporización completa al salir de cada condensador / intercambiador y se puede muy bien tener los puntos 2, 4, 6, 201, 301, situados en la curva de saturación. Entonces únicamente el título vapor (proporción de vapor / proporción de líquido) es el que evoluciona al paso de cada tramo.

35 Se consideran a continuación cuatro aplicaciones particulares del dispositivo descrito.

#### 1) Instrumento óptico

En una primera aplicación, un dispositivo de acuerdo con la invención puede ser utilizado para refrigerar un Instrumento óptico constituido, por una parte, por un conjunto de detectores que disipan típicamente algunas decenas de vatios y, por otra, por electrónicas desplazadas que disipan típicamente algunos centenares de vatios.

40 El evaporador 10 del dispositivo está colocado en contacto con las electrónicas desplazadas. Un mismo radiador situado en la proximidad de las electrónicas y de los detectores puede servir de único sumidero de calor. El intercambiador 14 está constituido por un tubo de diámetro pequeño que recoge el calor producido por los detectores (correspondientes a las fuentes de calor secundarias 15, 20).

45 En esta aplicación, las electrónicas desplazadas pueden estar situadas típicamente de algunas decenas de centímetros a uno o dos metros.

#### 2) Instrumento que funciona a baja temperatura

50 En una segunda aplicación del dispositivo ilustrado en la figura 4, el equipo 15 que hay que refrigerar funciona a una temperatura extremadamente baja (típicamente menos de 100 K), mientras que otros elementos (por ejemplo elementos estructurales recalentados por el ambiente del satélite) que pueden constituir fuentes de calor primarias 41 están situados fuera de la parte más fría del instrumento y están a una temperatura típicamente 20 K por encima de la temperatura del equipo 15 que haya que refrigerar. El evaporador 10 del dispositivo podrá estar colocado en

uno de estos elementos 41. Esto permite hacer circular el fluido en fase vapor en un ambiente relativamente caliente, lo que limita los intercambios térmicos entre el ambiente y el fluido, y condensarse en la proximidad inmediata (por ejemplo a algunos centímetros) del equipo 15.

5 Cuando se utilizan fluidos tales como el oxígeno líquido, generalmente próximos a su punto triple (estado sólido, líquido y vapor), es posible, por medio de un dispositivo tal como el descrito, realizar una refrigeración en dos etapas favorable desde un punto de vista térmico.

El evaporador 10 del dispositivo está colocado, como en el ejemplo precedente, en contacto con una fuente de calor primaria 41 desplazada.

10 El vapor generado a nivel del evaporador 10 es evacuado hacia un primer condensador 12 situado en la proximidad del equipo 15.

15 El flujo del fluido en fase vapor permite limitar ventajosamente los intercambios térmicos con el ambiente caliente del satélite. Por otra parte, el flujo del vapor en el conducto 11 situado entre el evaporador 10 y el primer condensador 12 genera una pérdida de presión (pérdida de carga) gracias al rozamiento parietal del fluido, tanto mayor cuanto mayor es la longitud del conducto 11. Esta pérdida de carga es ventajosa en este caso al disminuir varios grados la temperatura de saturación a nivel del condensador 12 (siendo la pendiente  $dP/dT$  de la curva de saturación del fluido muy pequeña en la proximidad del punto triple). La vaporización (parcial o total) a nivel del intercambiador 14 se hará entonces a una temperatura más baja (varios grados) que la del evaporador 10. En una variante de realización, puede ser ventajoso colocar un reductor de presión tal como los conocidos en el estado de la técnica en el conducto 20 11 de vapor a fin de acentuar el fenómeno. En otra variante, con el mismo objetivo de acentuar la pérdida de carga, la longitud del conducto 11 de vapor se alarga significativamente con respecto a la longitud mínima que el mismo podría tener, por ejemplo con serpentines o enrollamientos del conducto.

El primer condensador 12 puede estar realizado por un radiador, una máquina de ciclo Stirling o los dos a la vez, situados en la proximidad del equipo que haya que refrigerar 15.

25 El fluido así parcial o totalmente condensado por este primer condensador 12, circula a través de un tubo hasta un intercambiador 14 situado a nivel del equipo 15 que haya que refrigerar. El intercambiador 14 puede ser un tubo de diámetro pequeño.

El flujo del fluido en un tubo que puede ser flexible permite tener un enlace térmico eventualmente flexible entre el primer condensador 12 y el equipo 15 lo que es favorable para la no transmisión al equipo 15 de vibraciones generadas eventualmente por la máquina termodinámica que genera el sumidero de calor.

30 Este intercambiador 14, habida cuenta de las pérdidas de presiones y de la pequeña pendiente ( $dP/dT$ ) de la curva de saturación (típicamente  $< 1000 \text{ Pa / K}$ ), permite la vaporización del fluido (y por tanto la absorción de energía por calor latente) a una temperatura mucho más baja que la temperatura de saturación del evaporador 10.

35 El vapor así formado fluye entonces a través del conducto hacia un segundo condensador 22 situado aguas arriba del evaporador 10. Este intercambiador 22 permite transformar el vapor creado por el intercambiador 14 en líquido antes de circular de nuevo a través del evaporador 10 en el que todo o parte de este líquido se evaporará. La refrigeración del segundo condensador 22 puede hacerse por medio de un radiador o de una máquina específica de ciclo Stirling.

40 Este segundo condensador 22 puede situarse ventajosamente lo más cerca posible del evaporador 10. Así, entre el evaporador 10 y el equipo 15 fluye únicamente vapor, el cual es entonces débilmente recalentado por el ambiente del satélite.

### 3) Tarjeta electrónica

45 En una tercera aplicación, ilustrada en la figura 5, el dispositivo es utilizado en el caso de una tarjeta electrónica 40 que contiene varios componentes 15, 20, 41 muy disipativos y separados uno de otro de algunos milímetros a algunos centímetros. La baja conductividad del circuito impreso (PCB o "Printed Circuit Board") permite difícilmente transferir el calor generado por estos componentes hacia un sumidero de calor 42 que puede ser la placa base de la tarjeta electrónica 40, es decir la interfaz mecánica entre la tarjeta 40 y la caja electrónica 43 en el interior de la cual la misma está situada, o bien la propia caja electrónica 43.

50 Un dispositivo de acuerdo con la invención puede ser utilizado ventajosamente para transferir el calor producido por los componentes 15, 20, 41 de la tarjeta 40 a la caja electrónica 43 en el sumidero de calor. El dispositivo puede ser un microbucle fluido conocido por el especialista en la materia. Este microbucle está constituido por un tubo de diámetro constante (típicamente algunos milímetros).

El evaporador 10 del bucle fluido está en contacto térmico con el componente 41 más disipativo de la tarjeta (por ejemplo el microprocesador). Aguas abajo del evaporador 10, el tubo está dirigido hacia el sumidero de calor 42 en cuyo contacto el fluido bifásico es refrigerado. El tubo es dirigido después hacia otro componente 15 que haya que



refrigerar y es puesto en contacto térmico con este componente 15. El mismo es redirigido después hacia el sumidero de calor 42, antes de ir a refrigerar otro componente 20, etc.

#### 4) Panel radiante portaequipos

5 Como muestra la figura 6, el dispositivo de acuerdo con la invención puede ser adaptado para la refrigeración de un conjunto de equipos 15, 20, 41 dispuestos en una de las caras 51 de un panel portaequipo 50, estando la otra cara 52 del panel en intercambio térmico con un sumidero de calor que puede ser el espacio frío que circunda al sistema. El panel puede ser por ejemplo un panel sándwich de pieles 51, 52 de aluminio y estructura 53 en nido de abeja de aluminio. Un evaporador 10 está dispuesto ventajosamente en intercambio térmico con el equipo más disipativo 41 que constituye la fuente de calor primaria.

10 El bucle térmico de acuerdo con la invención esta realizado en este caso con un simple tubo cuyas diferentes partes constituyen alternativamente condensadores e intercambiadores. Como muestra la figura 6 vista en corte, el tubo puede estar integrado en el interior del panel (en el caso de un panel sándwich), y por ejemplo pegado a la piel del panel en la cual están colocados los equipos 15, 20, 41.

15 El fluido en fase vapor 91 sale del evaporador 10 en una primera parte 11, 12, 13 del tubo que no está en intercambio térmico con ningún equipo. En esta parte, el tubo está en intercambio térmico con la piel externa 53 del panel, por conducción a través de la estructura interna 53 del panel y por radiación. La parte 11, 12, 13 del tubo constituye así un condensador en cuyo seno el fluido se refrigera.

20 Si se sigue el encaminamiento del fluido, el mismo circula después en una parte 14 dispuesta por debajo del equipo 15 que constituye de hecho una primera fuente de calor secundaria. El fluido se recalienta y se evapora en esta parte que de esta manera constituye un intercambiador 14.

Sin describir en detalle el seguimiento del encaminamiento del fluido, se ve que el fluido circula en partes del tubo que constituyen alternativamente condensadores y evaporadores, hasta la parte final 21, 22, 23 que constituye el último condensador 22 antes del retorno al evaporador 10.

25 Se observa que en este caso particular de aplicación del dispositivo de acuerdo con la invención, los intercambiadores 14, 19 están igualmente en intercambio térmico con el sumidero de calor. Sin embargo se les debe considerar como intercambiadores y no como condensadores cuando los equipos 15 y 20 están en funcionamiento, porque su función es recoger el calor emitido por estos equipos. Por el contrario, cuando uno de los equipos 15 o 20 está parado y no disipa, el intercambiador 14 o 19 correspondiente se convierte de nuevo en un condensador, puesto que el mismo solamente está en intercambio térmico con el sumidero de calor.

30 Se tiene en este caso un ejemplo de bucle térmico en el que un intercambiador puede convertirse en un condensador, y recíprocamente según el estado de las fuentes de calor cuya refrigeración debe asegurarse.

#### Ventajas

35 La presente invención concierne a un bucle fluido de bombeo capilar que se caracteriza por la presencia de una estructura capilar (porosa, malla) en la que la dimensión de los poros es al menos de un orden de magnitud más pequeño (diez veces menos) que la dimensión del tubo a fin de crear una presión motriz capilar suficiente para funcionar contra la gravedad (con la fuente caliente situada al menos 0,1 m por encima de la fuente fría) y o soportar densidades de las potencias superiores a 10 W/cm<sup>2</sup>. Esto se opone a los dispositivos que utilizan conductos de calor oscilantes que tienen una capacidad de bombeo limitada.

40 La presente invención concierne a la combinación del caudal capilar que es creado por uno o varios evaporadores capilares con uno o varios intercambiadores térmicos, los cuales, contrariamente especialmente al dispositivo tal como el descrito en el documento de patente WO2011/007604, tienen la característica de poder intercambiar térmicamente (absorber energía) con una o varias fuentes calientes sin que el fluido que circula a través del intercambiador sea totalmente líquido.

45 En efecto, para que un evaporador capilar funcione es preciso que éste sea alimentado de líquido, si no el mismo se para porque el vapor es bloqueado por el material poroso. Esta característica permite al sistema ser robusto en funcionamiento transitorio y en funcionamiento a baja potencia y o subdimensionar los intercambiadores.

En el dispositivo tal como el descrito en el documento de patente WO2011/007604, cada intercambiador capilar está dimensionado para evacuar la totalidad de la potencia transmitida al evaporador que le precede (situado aguas arriba del mismo en el sentido de flujo del bucle fluido).

50 Por el contrario, en la presente invención, cada condensador (intercambiador) y la fuente de calor (evaporador) situada aguas abajo del mismo en el sentido de flujo, están dimensionados (por ejemplo en términos de temperatura de la fuente de calor y de longitud del tubo a nivel del condensador) de tal modo que el caudal de líquido que sale del condensador sea suficiente para que su vaporización en el intercambiador que le sigue permita transferir al fluido una gran parte del calor disipado por la fuente de calor.

Finalmente, la presente invención combina: - la presión motriz de bombeo de un evaporador capilar, localizado en una fuente caliente y que tiene necesidad de una densidad de potencia mínima para funcionar, con – la capacidad de recoger calor en una o varias fuentes de calor que pueden ser extendidas (panel grande, plano focal, varios equipos ...) gracias a los intercambiadores que pueden funcionar cualquiera que sea la densidad de potencia.

- 5 Tal dispositivo presenta así la ventaja de refrigerar una pluralidad de fuentes de calor utilizando solamente un evaporador capilar. Se produce de modo pasivo un flujo de fluido gracias al evaporador capilar colocado en la fuente de calor primaria. Este flujo puede ser más o menos importante según la potencia térmica aplicada al evaporador.

La presente invención permite utilizar un evaporador de gran tamaño, a fin de facilitar un elevado caudal de fluido y una gran presión de bombeo.

- 10 Por otra parte, la presente invención permite multiplicar a voluntad zonas de intercambio de calor (que pueden estar constituidas por micro-intercambiador tal como un tubo de dimensión muy pequeña). Pueden ser refrigeradas eventualmente varias fuentes de calor secundarias entre dos puntos de condensación (según la potencia térmica disipada por cada una). Mientras que quede líquido en los intercambiadores, será posible absorber energía térmica disipada por una fuente de calor secundaria por cambio de fase.

15 Variantes

En una variante del dispositivo, un recalentador puede estar colocado en contacto térmico con el evaporador del dispositivo, y ser utilizado transitoriamente o continuamente para aportar una potencia térmica suplementaria al evaporador, y por tanto aumentar el caudal de fluido que sale del evaporador, por ejemplo a fin de aumentar las transferencias térmicas realizadas por el dispositivo.

- 20 En otra variante del dispositivo representado en la figura 7, el último condensador 22 está integrado en el evaporador 10. Éste es por ejemplo una cara 22 del evaporador en intercambio térmico con un sumidero de calor 60, pudiendo ser creado éste localmente por una máquina termodinámica. Es ventajoso que esta cara fría del evaporador esté en el lado opuesto a la cara del evaporador en intercambio térmico con la fuente de calor primaria 41.

25

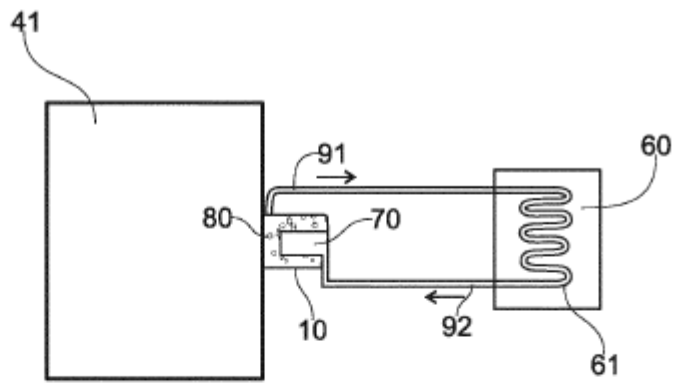
**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo de refrigeración de al menos dos fuentes de calor distintas, caracterizado por que comprende:
  - un circuito cerrado en el cual circula un fluido bifásico,
  - un evaporador capilar (10) adaptado para estar en contacto térmico con una de las fuentes de calor, denominada fuente de calor primaria (41),
  - por cada otra fuente de calor, denominada fuente de calor secundaria (15, 20), que haya que refrigerar, al menos un intercambiador (14, 19) adaptado para ser colocado en contacto térmico con la citada fuente de calor secundaria,
  - al menos un condensador, denominado primer condensador (12), dispuesto aguas abajo del evaporador (10), y aguas arriba del al menos un intercambiador (14, 19),
  - al menos un condensador, denominado último condensador (22), dispuesto aguas arriba del evaporador (10) y aguas abajo del al menos un intercambiador (14, 19),
 estando dimensionados estos intercambiadores y condensadores de tal modo que las pérdidas de carga en el circuito sean inferiores a la presión capilar máxima del evaporador capilar.
2. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el mismo comprende al menos un condensador, denominado condensador secundario (17), dispuesto entre dos fuentes de calor secundarias (15, 20).
3. Dispositivo de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que el mismo comprende, por cada intercambiador (14, 19), condensadores (12, 17, 22) colocados aguas arriba y aguas abajo del citado intercambiador (14, 19), estando los condensadores adaptados para ser dispuestos en contacto térmico con sumideros de calor.
4. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que al menos un intercambiador está constituido por un tubo de pequeño diámetro (algunas décimas de milímetros a algunos milímetros).
5. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el circuito cerrado está realizado en forma de un tubo, presentando el citado tubo una estructura interna capilar al menos a nivel de un intercambiador (14, 19).
6. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el último condensador (22) está integrado en el depósito (70) del evaporador capilar (10).
7. Bucle térmico que comprende al menos dos fuentes de calor (41, 15, 20) y al menos un sumidero de calor, caracterizado por que el mismo comprende un dispositivo de refrigeración de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
8. Bucle térmico de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado por que el evaporador (10) está dispuesto en la fuente de calor más disipadora, denominada fuente de calor primaria (41).
9. Bucle térmico de acuerdo con las reivindicaciones 7 u 8, caracterizado por que la fuente de calor primaria (41) es de potencia térmica superior o igual a la suma de potencias térmicas de las fuentes de calor secundarias (15, 20) situadas entre cualquier par (12, 17) (17, 22) de condensadores sucesivos
10. Bucle térmico de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado por que el mismo comprende igualmente un recalentador, adaptado para ser dispuesto a nivel de la fuente de calor primaria a fin de crear una potencia térmica que se añade a la potencia térmica de la fuente de calor primaria (41), de tal modo que la suma de las potencias disipadas por la citada fuente de calor primaria (41) y el citado recalentador sea superior o igual a la suma de las potencias térmicas de las fuentes de calor secundarias (15, 20) situadas entre cualquier par (12, 17) (17, 22) de condensadores sucesivos.
11. Bucle térmico de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizado por que al menos dos condensadores (12, 17, 22) están dispuestos en un mismo sumidero de calor.
12. Bucle térmico de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 11, caracterizado por que la pérdida de carga entre, por una parte, el evaporador capilar (10), o un intercambiador (14, 19) y, por otra, un condensador (12, 17) situado aguas abajo del citado evaporador capilar (10), o del citado intercambiador (14, 19), está adaptada para disminuir por debajo de un valor dado la temperatura de vaporización en los intercambiadores (14, 19) situados aguas abajo del citado condensador (12, 17)
13. Bucle térmico de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado por que la pérdida de carga es realizada por un dispositivo reductor de la presión en un conducto de fluido situado entre, por una parte, el citado evaporador capilar,

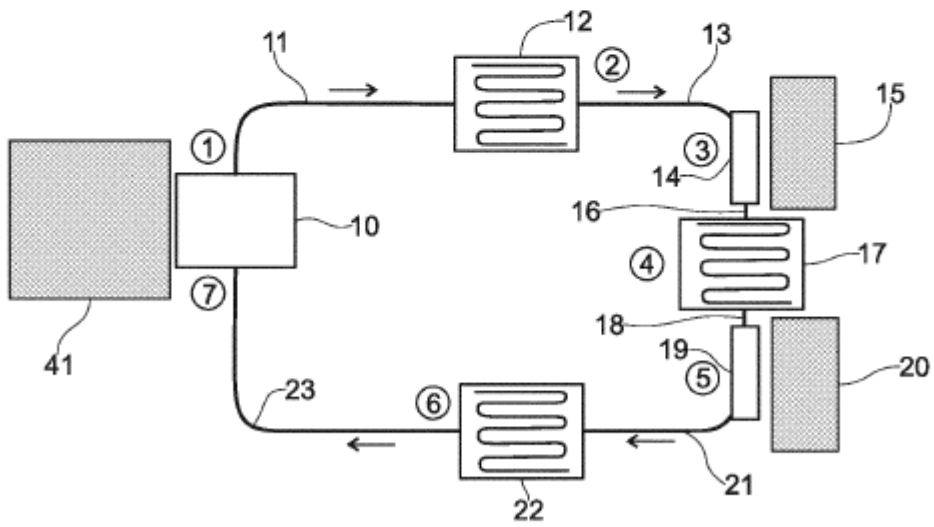
o el citado intercambiador y, por otra, el citado condensador.

14. Bucle térmico de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado por que la pérdida de carga es realizada adaptando la longitud y/o el diámetro de un conducto de fluido situado entre, por una parte, el citado evaporador, o el citado intercambiador y, por otra, el citado condensador.
- 5 15. Instrumento, caracterizado por que el mismo comprende un dispositivo de refrigeración de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, o un bucle térmico de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 14
16. Tarjeta electrónica, caracterizada por que la misma comprende un dispositivo de refrigeración de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, o un bucle térmico de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 14.
- 10 17. Tarjeta electrónica de acuerdo con la reivindicación 16, estando constituido el sumidero de calor por la placa base de la citada tarjeta electrónica.
18. Panel portaequipo caracterizado por que el mismo comprende un dispositivo de refrigeración de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, o un bucle térmico de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 14.
19. Panel portaequipo de acuerdo con la reivindicación 18, caracterizado por que el mismo comprende una primera cara, a la cual están fijados equipos, y por que la cara opuesta a esta primera cara es un sumidero de calor.
- 15 20. Panel portaequipo de acuerdo con una de las reivindicaciones 18 a 19, comprendiendo el dispositivo un evaporador (10) y un conducto cuyas diferentes partes son sucesivamente condensadores e intercambiadores, siendo las partes del conducto conectadas al evaporador condensadores.
21. Satélite, caracterizado por que el mismo comprende un dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, o un bucle térmico de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 14.

20



**Fig. 1**



**Fig. 2**

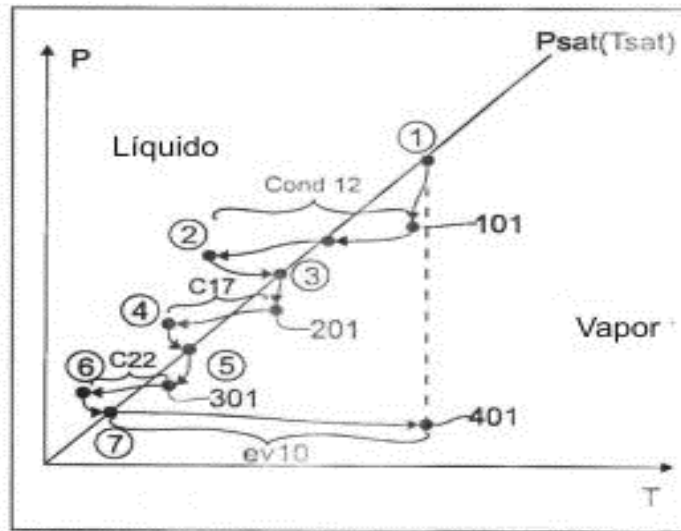


Fig. 3

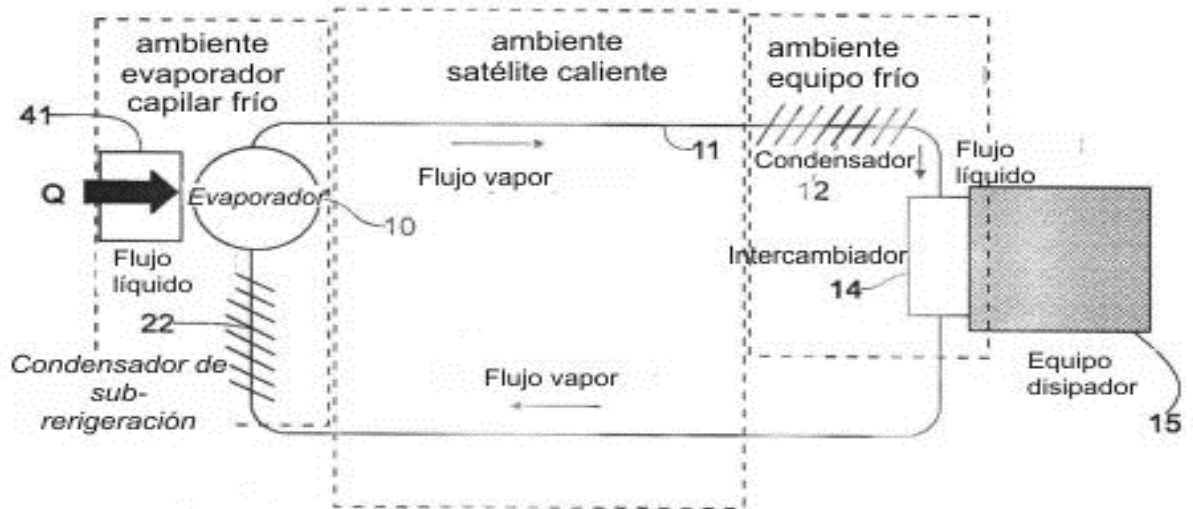
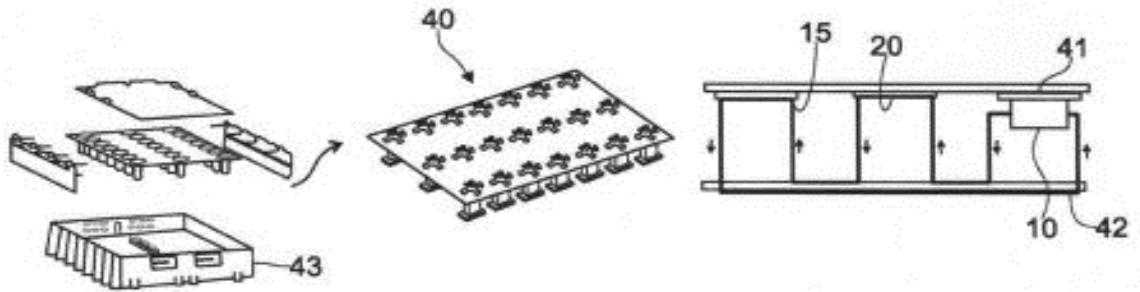
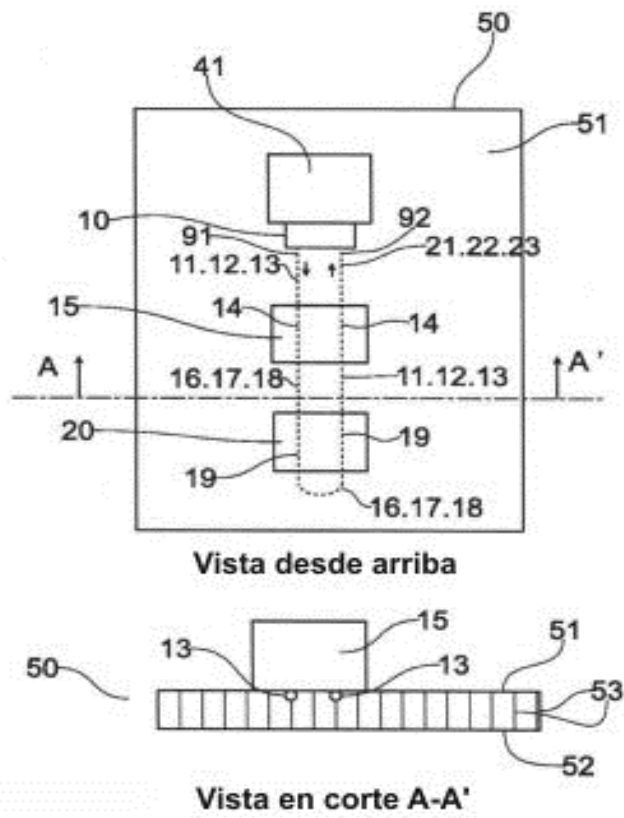


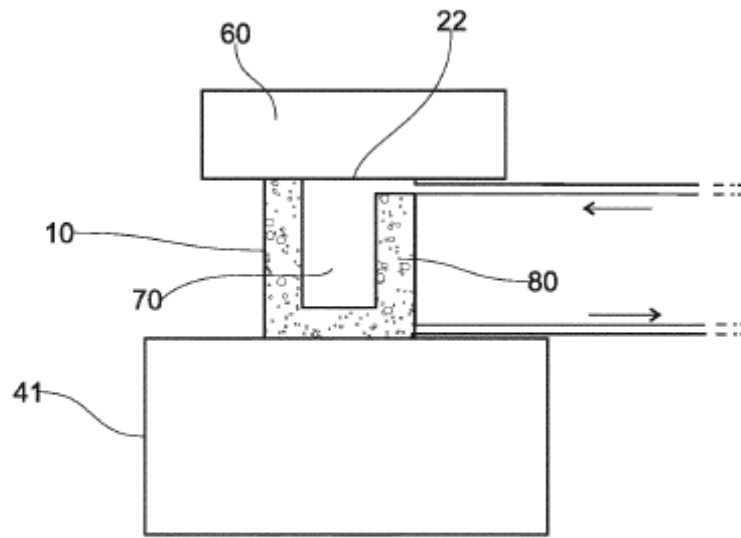
Fig. 4



**Fig. 5**



**Fig. 6**



**Fig.7**