

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 913 924**

51 Int. Cl.:

H05K 7/20 (2006.01)

F28D 15/02 (2006.01)

G06F 1/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.07.2017 PCT/US2017/041682**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.02.2018 WO18026478**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2017 E 17837372 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.03.2022 EP 3494766**

54 Título: **Sistema de enfriamiento activo/pasivo**

30 Prioridad:

02.08.2016 US 201662369957 P

11.07.2017 US 201715646731

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

06.06.2022

73 Titular/es:

MUNTERS CORPORATION (100.0%)

**16900 Jordan Road
Selma, TX 78154, US**

72 Inventor/es:

**DINNAGE, PAUL A. y
FANG, WEI**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 913 924 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

Sistema de enfriamiento activo/pasivo

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a sistemas de enfriamiento y sistemas y métodos para controlarlos. En particular, esta invención se refiere a un sistema de enfriamiento por corriente de aire que tiene modos tanto activo como pasivo. Una aplicación particularmente adecuada, por ejemplo, es en sistemas de enfriamiento de centros de datos.

Antecedentes de la invención

10 Los centros de datos a menudo requieren grandes cantidades de energía para operar. Los servidores en estos centros de datos generan una gran cantidad de calor, requiriendo enfriamiento. Para reducir el uso de energía de los centros de datos, se desean sistemas de enfriamiento más eficientes.

15 Los tubos de calor y los termosifones son dispositivos que transfieren energía desde una sección de evaporador de temperatura más alta a una sección de condensador de temperatura más baja mediante la evaporación y condensación de un volumen cerrado de refrigerante. La transferencia del refrigerante desde la sección de condensador a la sección de evaporador tiene lugar o bien por gravedad o bien por fuerza capilar. Los tubos de calor se han usado en la refrigeración de centros de datos como economizadores indirectos. En estas instalaciones, el
 20 aire caliente de un centro de datos, por ejemplo, se recircula a través de la sección de evaporador de una tubería de calor donde el refrigerante encerrado se vaporiza por el calor del centro de datos, enfriando el aire del centro de datos. Se sopla aire del ambiente más frío sobre la sección de condensador de la tubería de calor donde se condensa el vapor refrigerante y se expulsa el calor del centro de datos. En algunas aplicaciones, el aire del
 25 ambiente primero se enfría adiabáticamente con un enfriador evaporativo antes de su paso a través de la sección de condensador de la tubería de calor para proporcionar un sumidero de calor de temperatura más baja. En otra configuración, la sección de condensador de la tubería de calor se puede pulverizar con agua al mismo tiempo que el aire del ambiente pasa a través de su superficie, proporcionando una temperatura de sumidero de calor cercana a la temperatura ambiente de bulbo húmedo.

30 En estas implementaciones, las tuberías de calor y los termosifones están limitados por las condiciones de temperatura ambiente y no pueden proporcionar suficiente rechazo de calor cuando las temperaturas ambiente son altas. Una solución tal a esta limitación es un sistema de refrigerante bombeado que incorpora un sistema de enfriamiento mecánico, tal como un sistema de enfriamiento de expansión directa (DX) (un modo activo), con un modo casi pasivo que opera de manera similar a un termosifón. Estos sistemas incluyen una bomba para mover refrigerante líquido desde el condensador hasta el evaporador. Utilizando una bomba, se puede controlar el flujo de refrigerante independientemente de las caídas de presión del evaporador y condensador y de los efectos de la gravedad. Este planteamiento es casi pasivo porque solamente se necesita una pequeña cantidad de energía para que la bomba transfiera una cantidad significativa de energía térmica. En los sistemas de refrigerante bombeados, la bomba se puede apagar y, operando las válvulas, los compresores y las válvulas de expansión se pueden integrar en el flujo de refrigerante del sistema para permitir que el sistema actúe como un sistema de enfriamiento de expansión directa. Un ejemplo de un sistema de enfriamiento con un circuito de enfriamiento de bucle bombeado que tiene las características del preámbulo de la reivindicación 1 se describe en el documento US 2014/137582 A1.

35 Las restricciones de diseño del sistema en los sistemas de expansión directa generalmente exigen caídas de presión modestas en la sección de evaporador y condensador del sistema para proporcionar flujo de refrigerante uniforme a través de los múltiples circuitos de evaporador y condensador paralelos del sistema. Es debido a estas caídas de presión que el sistema requiere una bomba para circular el fluido refrigerante cuando funciona en modo casi pasivo. Como el circuito refrigerante incluye un sistema de compresor, el volumen de refrigerante también necesita incluir aceite para lubricación. Hay diversas restricciones de diseño y operativas, tales como las mejores prácticas para la velocidad del refrigerante (denominadas "de gestión de aceite") para los sistemas refrigerantes bombeados que aseguran que el aceite no quede atrapado en las diversas longitudes de tubería del sistema y vuelva de manera fiable al compresor donde se necesita. Estas restricciones de gestión de aceite llegan a ser problemáticas cuando se operan en el bombeado (modo casi pasivo) debido a que las trayectorias de flujo y los caudales para el modo bombeado pueden no coincidir con las reglas requeridas para el modo de DX. El volumen de refrigerante para una operación adecuada dentro del sistema también puede ser bastante diferente durante el modo bombeado y el modo de DX debido a los diferentes niveles de sobrecalentamiento y subenfriamiento disponibles, y los niveles de inundación de la bobina, por ejemplo.

Se desean de este modo sistemas de enfriamiento con reducciones adicionales en el uso de energía, en la medida que son sistemas de enfriamiento que no requieran una gestión de aceite en un modo pasivo o casi pasivo.

Compendio de la invención

55 La invención proporciona un conjunto de enfriamiento por corriente de aire como se define en la reivindicación 1.

En otro aspecto, la invención se refiere a un método como se define en la reivindicación 18.

Se definen en las reivindicaciones dependientes realizaciones y aspectos adicionales de la invención.

Estos y otros aspectos, objetos, características y ventajas de la invención llegarán a ser evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de realizaciones ilustrativas de la misma, que se ha de leer en conexión con los dibujos que se acompañan.

5 Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una vista en alzado de un centro de datos que usa un sistema de enfriamiento según una realización preferida de la invención.

La Figura 2 es una vista en sección transversal tomada del sistema de enfriamiento mostrado en la Figura 1 a lo largo de la línea 2-2 en la Figura 1.

10 La Figura 3 es un esquema de un conjunto de enfriamiento por corriente de aire según una realización preferida de la invención operando en un modo pasivo.

La Figura 4 es un esquema del conjunto de enfriamiento por corriente de aire mostrado en la Figura 3 operando en un modo activo.

15 La Figura 5A muestra una bobina de enfriamiento de microcanal que se puede usar en el conjunto de enfriamiento por corriente de aire mostrado en la Figura 3. La Figura 5B es una vista en sección transversal de un microcanal de la bobina de enfriamiento de microcanal mostrada en la Figura 5A tomada a lo largo de la línea 5B-5B en la Figura 5A.

La Figura 6 es un esquema de un sistema de enfriamiento que tiene múltiples bucles del conjunto de enfriamiento por corriente de aire mostrado en la Figura 3 operando en un modo pasivo.

20 La Figura 7 es un esquema del sistema de enfriamiento mostrado en la Figura 6 con uno de los bucles de conjunto de enfriamiento por corriente de aire operando en un modo activo.

La Figura 8 es un esquema del sistema de enfriamiento mostrado en la Figura 6 con todos los bucles del conjunto de enfriamiento por corriente de aire operando en un modo activo.

25 La Figura 9 es un diagrama de flujo que representa un método de operación del sistema de enfriamiento mostrado en la Figura 4.

La Figura 10 es un esquema de un conjunto de enfriamiento por corriente de aire según una segunda realización preferida de la invención operando en un modo pasivo.

La Figura 11 es un esquema del conjunto de enfriamiento por corriente de aire mostrado en la Figura 10 operando en un modo activo.

30 La Figura 12 es un esquema de una configuración alternativa del conjunto de enfriamiento por corriente de aire de la segunda realización operando en un modo pasivo.

La Figura 13 es un esquema del conjunto de enfriamiento por corriente de aire mostrado en la Figura 12 operando en un modo activo.

35 La Figura 14 es un esquema de otra configuración del conjunto de enfriamiento por corriente de aire mostrado en la Figura 12.

La Figura 15 es un esquema de un sistema de enfriamiento que tiene un bucle del conjunto de enfriamiento por corriente de aire mostrado en las Figuras 10 y 11 y un bucle de conjunto de enfriamiento por corriente de aire mostrado en la Figura 14.

La Figura 16 es un esquema de otro sistema de enfriamiento operando en un modo casi pasivo.

40 La Figura 17 es un esquema del sistema de enfriamiento mostrado en la Figura 16 operando en un modo activo.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

45 La Figura 1 muestra un centro de datos 100 que tiene un sistema de enfriamiento 110 según una realización preferida de la invención. La Figura 2 es una vista en sección transversal del sistema de enfriamiento 110 tomada a lo largo de la línea 2-2 de la Figura 1. Aunque el sistema de enfriamiento 110 se muestra y describe con referencia a un centro de datos 100, el sistema de enfriamiento 110 no se limita a esta aplicación y se puede usar en otras aplicaciones de enfriamiento por aire adecuadas. Componentes electrónicos tales como servidores se pueden montar en bastidores 102, y en un centro de datos 100, estos bastidores 102 se pueden disponer en filas formando pasillos 104, 106 entre los mismos. Un pasillo 104 es un pasillo frío y otro pasillo 106 es un pasillo caliente. El aire de suministro frío 112 del sistema de enfriamiento se dirige hacia el pasillo frío 104. El aire de suministro 112

entonces pasa desde el pasillo frío 104 a través de los bastidores y hacia el pasillo caliente 106. A medida que el aire pasa a través de los bastidores 102, extrae calor de los componentes electrónicos, enfriándolos y dando como resultado el aire caliente que pasa hacia el pasillo caliente 106. Este aire entonces se dirige de vuelta al sistema de enfriamiento 110 como aire de retorno 114 caliente. Los ventiladores de aire de suministro 116 se usan para extraer el aire de retorno 114 del centro de datos 100, pasar el aire de retorno 114 a través del sistema de enfriamiento 110, donde se enfría, y luego retornar el aire de retorno 114 ahora enfriado al centro de datos 100 como aire de suministro 112.

El sistema de enfriamiento 110 usa al menos un conjunto de enfriamiento por corriente de aire para enfriar el aire de retorno 114. También se puede hacer referencia a los conjuntos de enfriamiento por corriente de aire descritos en las siguientes realizaciones como bucle de conjunto de enfriamiento por corriente de aire o bucle. Las Figuras 3 y 4 muestran un conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 según una primera realización de la invención. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 tiene dos modos, un modo pasivo y un modo activo. También se puede hacer referencia al modo pasivo como modo de economización. La Figura 3 es un esquema del conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 en el modo pasivo, y la Figura 4 es un conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 esquemático en el modo activo. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 incorpora la eficiencia de un termosifón con la capacidad de proporcionar enfriamiento activo cuando los sumideros de enfriamiento libre ambientales disponibles no están a una temperatura lo suficientemente baja para proporcionar rechazo de calor suficiente. Esto se logra incluyendo dos condensadores 214, 216 separados en el bucle 200, uno de los cuales (el condensador 214) se usa en el modo pasivo y el otro de los cuales (el condensador 216) se usa en el modo activo.

El conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 circula un medio de enfriamiento primario 202 a través de un bucle refrigerante primario 210. El medio de enfriamiento primario 202 circula a través del bucle refrigerante primario 210 mediante circulación natural y gravedad sin necesidad de bombas ni compresores. El medio de enfriamiento primario 202 puede ser cualquier refrigerante adecuado que cambie de fase de líquido a gas. Como se tratará más adelante, el bucle refrigerante primario 210 no requiere ninguna pieza móvil. Como resultado, la gama disponible de refrigerantes que son adecuados como medios de refrigeración primarios 202 se amplía enormemente en comparación con los sistemas de enfriamiento de expansión directa (DX), por ejemplo, y los refrigerantes adecuados incluyen refrigerantes naturales tales como el agua.

El bucle refrigerante primario 210 incluye un evaporador 212, y el medio de enfriamiento primario 202 está contenido dentro del evaporador 212. En esta realización, el evaporador 212 es una bobina y preferiblemente una bobina inundada de un solo paso. Se puede usar cualquier bobina adecuada, incluyendo, por ejemplo, bobinas de microcanal, tales como las que se describen más adelante, o bobinas de tubo con aletas. Tanto en el modo pasivo como en el modo activo, el aire de retorno 114 se dirige sobre la superficie exterior del evaporador 212 por los ventiladores de aire de suministro 116. El aire de retorno 114 caliente evapora el medio de enfriamiento primario 202 en el evaporador 212 a medida que pasa sobre la superficie exterior del evaporador 212. El cambio de fase del medio de enfriamiento primario 202 de una fase líquida 204 a una fase gaseosa (o vapor) 206 enfría el aire de retorno 114, permitiéndole que sea devuelto al centro de datos 100 como aire de suministro 112 frío. El vapor 206 entonces se eleva a través de un tubo de vapor 222 a uno de los dos condensadores 214, 216.

En el modo pasivo, mostrado en la Figura 3, el vapor 206 discurre a un condensador pasivo 214 en el bucle refrigerante primario 210. Como con el evaporador 212, el condensador pasivo 214 de esta realización es una bobina, preferiblemente una bobina de paso único y se puede usar cualquier bobina adecuada, incluyendo, por ejemplo, bobinas de microcanal, tales como las que se describen más adelante, o bobinas de tubo (tanto con aletas como sin aletas). El aire de aspiración 118 es aspirado a través de una superficie exterior del condensador pasivo 214 por los ventiladores de aspiración 120 (véanse las Figuras 1 y 2). En esta realización, el aire de aspiración 118 es aire de ambiente aspirado del entorno exterior que rodea el sistema de enfriamiento 110. A medida que el aire de aspiración 118 pasa sobre el condensador pasivo 214, el calor del medio de enfriamiento primario 202 contenido en el condensador pasivo 214 se libera al aire de aspiración 118, condensando el vapor 206 a un líquido 204. La gravedad entonces hace que el medio de enfriamiento primario 202, ahora en la fase líquida 204, fluya hacia abajo a través de una línea de refrigerante líquido 224 y vuelva al evaporador 212. El aire de aspiración 118 se escapa al exterior mediante los ventiladores de aspiración 120.

Cuando las condiciones de aire de ambiente no son suficientes para enfriar el aire de retorno 114 a las condiciones deseadas (por ejemplo, temperatura) para el aire de suministro 112, el conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 se puede operar en un modo activo mostrado en la Figura 4. En el modo activo, el vapor 206 del medio de enfriamiento primario 202 se condensa en un condensador activo 216. En esta realización, también se puede hacer referencia al condensador activo 216 en la presente memoria como intercambiador de calor (HX). En el condensador activo 216, el calor se transfiere desde el medio de enfriamiento primario 202 a un medio de enfriamiento secundario 208 de un sistema de enfriamiento secundario 230. El medio de enfriamiento secundario 208 puede ser cualquier medio refrigerante adecuado, incluyendo, por ejemplo, agua enfriada (o refrigerada) o un refrigerante de cambio de vapor usado en un sistema de enfriamiento de expansión directa. El condensador activo 216 puede ser cualquier intercambiador de calor adecuado incluyendo, por ejemplo, un intercambiador de calor de placas, un intercambiador de calor coaxial o un intercambiador de calor de armazón y tubo. A medida que el calor del medio de enfriamiento primario 202 se rechaza al medio de enfriamiento secundario 208, el medio de enfriamiento primario 202 se

condensa de un vapor 206 a un líquido 204. Como con el condensador pasivo 214, la gravedad entonces hace que el medio de enfriamiento primario 202, ahora en fase líquida 204, fluya hacia abajo por una línea de refrigerante líquido 224 y vuelva al evaporador 212.

5 En esta realización, el sistema de enfriamiento secundario 230 es un sistema de enfriamiento de expansión directa (DX) 230 que usa el ciclo de enfriamiento común, y el medio de enfriamiento secundario 208 es cualquier refrigerante adecuado usado en tales sistemas. El sistema de enfriamiento de expansión directa 230 incluye un compresor 232 para aumentar la presión y la temperatura del refrigerante 208 antes de que se enfríe en un condensador 234. En esta realización, el condensador 234 del sistema de enfriamiento de expansión directa 230 también se puede enfriar por el aire de aspiración 118 (véanse las Figuras 1 y 2). El refrigerante 208 entonces pasa a través de una válvula de expansión 236, reduciendo su presión y temperatura, antes de volver al condensador activo 216.

10 Incluso en el modo activo, el conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 opera sin necesidad de bombas, aceites o compresores en el bucle refrigerante primario 210. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 funciona incluso sin válvulas para conmutar entre modos. En su lugar, el vapor 206 del medio de enfriamiento primario 202 discurre de manera natural al más frío de los dos condensadores 214, 216 para condensarse. De este modo, activando el sistema de enfriamiento secundario 230 para enfriar el condensador activo 216, el conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 conmuta automáticamente del modo pasivo al modo activo (suponiendo que la temperatura en el condensador activo 216 es más baja que en el condensador pasivo 214) y desactivando el sistema de enfriamiento secundario 230, el bucle 200 busca de nuevo al modo pasivo. Como se describe a continuación, se puede usar un controlador 240 para activar y desactivar el sistema de enfriamiento secundario 230. Otra ventaja del conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 atribuible a la carencia de partes móviles es que no se requiere aceite, permitiendo que fluya el medio de enfriamiento primario 202 fuera de las velocidades de refrigerante comúnmente requeridas para arrastrar y mantener el aceite circulando dentro del bucle primario 210.

15 Aunque los condensadores 214, 216 del conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 se muestran en paralelo en las Figuras 3 y 4, los condensadores 214, 216 también se pueden disponer en serie de modo que la salida de uno de los condensadores activo o pasivo 214, 216 esté aguas arriba de y alimente dentro de la entrada del otro condensador 214, 216. El bucle refrigerante primario 210 también puede incluir sifones 218 y/o válvulas de retención 220 después de cada uno de los condensadores 214, 216. Los sifones 218 y las válvulas de retención 220 evitan el flujo inverso del medio de enfriamiento primario 202 a través del condensador 214, 216 que no está operando actualmente en un modo dado.

20 Las líneas de ventilación 226 se pueden situar después de los sifones 218 de cada condensador 214, 216 y conectarse a la entrada del condensador 214, 216 respectivo. Estas líneas de ventilación 226 permiten que cualquier gas arrastrado en el líquido 204 del medio de enfriamiento primario 202 escape al lado de vapor del bucle y de este modo ayude al flujo de líquido por gravedad al evaporador 212.

25 Las burbujas que se forman durante la evaporación del medio de enfriamiento primario 202 en el evaporador 212 pueden arrastrar líquido a medida que se elevan en los canales del evaporador 212. Se puede situar una línea de retorno de líquido arrastrado 228 en la salida del evaporador 212 y conectarse al colector de entrada del evaporador 212, permitiendo que este líquido arrastrado vuelva al colector de entrada de evaporador sin tener que fluir en sentido contrario a la trayectoria de flujo de ebullición en el evaporador 212.

30 Debido a que el conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 de esta realización opera en circulación natural con la ayuda de la gravedad, el evaporador 212 se coloca a un nivel más bajo que cualquiera de los condensadores 214, 216, para permitir que la gravedad ayude a devolver el medio de enfriamiento primario condensado 202 (líquido 204) al evaporador 212. Es deseable mantener el medio de enfriamiento primario 202 en la fase líquida 204 a lo largo de toda la longitud del evaporador 212. La altura de los condensadores 214, 216 por encima del evaporador es preferiblemente, de este modo, lo suficientemente alta para proporcionar un colector de presión suficiente del medio de enfriamiento primario 202 en la fase líquida 204 para superar la caída de presión del evaporador 212. Aunque el evaporador 212 puede estar nivelado con los colector de líquido y vapor del evaporador 212 que se encuentran en el mismo plano horizontal, el evaporador 212 también se puede inclinar preferiblemente en un ángulo α desde la horizontal con el colector de vapor del evaporador 212 más alto que el colector de líquido para facilitar la expulsión de vapor. El condensador pasivo 214 también se puede inclinar preferiblemente en un ángulo β desde la horizontal con el colector líquido del condensador pasivo 214 más bajo que el colector de vapor para facilitar el flujo de condensado a través de la gravedad. Los ángulos de inclinación (ángulos β) del condensador pasivo preferiblemente son suficientes para proporcionar una trayectoria de drenaje clara y eliminar el reflujos del medio de enfriamiento primario 202 en el condensador pasivo 214.

35 Como se trató anteriormente, el evaporador 212 y el condensador pasivo 214 pueden ser bobinas de microcanal. La Figura 5A muestra una bobina de microcanal 300 que se puede usar como el evaporador 212 y el condensador pasivo 214 de esta realización. El uso de una bobina de microcanal 300 tiene una serie de ventajas, incluyendo, por ejemplo, que el área superficial interna alta de la bobina de microcanal 300 ayuda en la transferencia de calor. Además, una bobina de microcanal 300 reduce enormemente el volumen del medio de enfriamiento primario 202 necesario en el bucle refrigerante primario 210 en comparación con, por ejemplo, las bobinas de tubo con aletas.

Esta reducción en el volumen del medio de enfriamiento primario 202 es beneficiosa por una serie de razones que incluyen costes reducidos y, cuando se usan ciertos refrigerantes, una fuente reducida de emisiones potenciales de gases de efecto invernadero. La bobina de microcanal 300 tiene un lado de líquido 302 y un lado de vapor 304. Como se muestra en la Figura 5A, cuando la bobina de microcanal 300 se usa como evaporador 214, el flujo del medio de enfriamiento primario 202 es del lado de líquido 302 al lado de vapor 304 (de izquierda a derecha), y cuando la bobina de microcanal 300 se usa como condensador pasivo 214, el flujo es opuesto (de derecha a izquierda).

La bobina de microcanal 300 tiene un colector de líquido 310 y un colector de vapor 320 que están conectados por una pluralidad de extrusiones de microcanal 330. En la Figura 5B se muestra una sección transversal, tomada a lo largo de la línea 5B-5B en la Figura 5A, de una extrusión de microcanal. Las extrusiones de microcanal 330 tienen una superficie exterior 332 e incluyen una pluralidad de microcanales 334, 336. Una corriente de aire se dirige sobre la superficie exterior 332 de las extrusiones de microcanal 330 en la dirección A, mostrada en la Figura 5B (dentro y fuera de la página en la Figura 5A). El medio de enfriamiento primario 202 fluye a través de los microcanales 334, 336. Cada una de la pluralidad de extrusiones de microcanal 330 está soldada mecánicamente a aletas de aluminio 340 colocadas entre las extrusiones de microcanal 330 para fomentar la transferencia de calor.

El colector de líquido 310 incluye una conexión de líquido 312 que conecta el colector de líquido 310 a la línea de refrigerante líquido 224. Del mismo modo, el colector de vapor 320 también incluye al menos una conexión de vapor 322 que conecta el colector de vapor 320 a la tubería de vapor 222. Con una bobina de microcanal usada como evaporador 212, puede ser beneficioso tener múltiples conexiones de vapor 322. En esta realización, se muestran tres conexiones de vapor 322. El uso de múltiples conexiones de vapor 322 reduce la contrapresión del vapor en el colector de vapor 320 y fomenta el flujo de circulación natural en el bucle refrigerante primario 210. Cuando se usan múltiples conexiones de vapor 322 para el evaporador 212, se puede usar un número correspondiente de conexiones de vapor 322 para los condensadores tanto pasivo como activo 214, 216, dando como resultado una pluralidad de tuberías de vapor 222 que conectan las conexiones de vapor 322. Otra consideración para la tubería de vapor 222 y las conexiones de vapor 322 es usar tuberías de gran diámetro, disminuyendo la contrapresión de vapor y fomentando el flujo de circulación natural en el bucle refrigerante primario 210. Por ejemplo, cuando se usa R410a como el medio de enfriamiento primario 202, las tuberías de vapor 222 se pueden dimensionar para permitir que la velocidad del medio de enfriamiento primario 202 en la fase de vapor 206 sea preferiblemente menor que 304,8 metros por minuto (1000 ppm) y más preferiblemente menor que 182,88 metros por minuto (600 ppm). Estas características de diseño de colector no se limitan a las bobinas de microcanal, sino que también se pueden aplicar a otros evaporadores y condensadores, incluidos las bobinas de tubo con aletas.

Como se trató anteriormente, el sistema de enfriamiento 110 de esta invención puede incluir una pluralidad de bucles de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200. Por ejemplo, el sistema de enfriamiento 110 mostrado en las Figuras 1 y 2 tiene cuatro bucles de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200. En la siguiente discusión de múltiples bucles, se usan los mismos números de referencia que se han tratado anteriormente con referencia a las Figuras 3 y 4, y se añaden letras a los números de referencia para designar los diferentes bucles. Por ejemplo, la letra "a" se añade a los componentes de un primer bucle de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200a, la letra "b" se añade a los componentes de un segundo bucle de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200b, etc.

Un par de evaporadores 212a, 212b está dispuesto en paralelo con otro par de evaporadores 212c, 212d con relación a la corriente de aire del aire de retorno 114. Los evaporadores 212a, 212b, 212c, 212d dentro de cada par están dispuestos en serie. En el primer par, el aire de retorno 114 se dirige a través de un primer evaporador 212a del par antes de ser dirigido a través de un segundo evaporador 212b del par. Del mismo modo, en el segundo par, el aire de retorno 114 se dirige a través de un primer evaporador 212c del par antes de ser dirigido a través de un segundo evaporador 212d del par. Los condensadores pasivos 214a, 214b, 214c, 214d correspondientes están dispuestos de manera similar en pares (primer par 214a, 214b y segundo par 214c, 214d) con el primer par que está en paralelo con el segundo par y cada condensador dentro del par que está dispuesto en serie. En el primer par, el aire de aspiración 118 se dirige a través del primer condensador 214a del par antes de ser dirigido a través del segundo condensador 214b del par y, en el segundo par, a través del primer condensador 214c del par antes de ser dirigido a través del segundo condensador 214d del par.

En una configuración del sistema de enfriamiento 110 mostrado en las Figuras 1 y 2, el sistema de enfriamiento 110 se puede encerrar con una huella de 9,754 metros (32 pies) de largo (Figura 1) y 3,099 metros (10 pies, 2 pulgadas) de ancho (Figura 2) con una altura total (excluyendo los ventiladores de aspiración 120) de 3,861 metros (12 pies, 8 pulgadas). En este ejemplo, hay 8,175 m² (88 ft²) de área de bobina (evaporador 212) disponibles para el proceso de enfriamiento. A una velocidad nominal de 152,4 metros por minuto (500 ppm) a través de los evaporadores 212, es posible un flujo de diseño de 4087,73 metros cuadrados por minuto (44000 scfm) y 348 kW, dando como resultado una capacidad de vatios perimetrales de 107 kW/m. La longitud de bobina del evaporador 212 se puede ampliar fácilmente para aumentar aún más el flujo de aire y, de este modo, la capacidad del sistema de enfriamiento 110 sin aumentar su anchura, haciendo posible capacidades de vatios perimetrales incluso mayores.

Se puede usar cualquier número de configuraciones adecuadas para múltiples bucles de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200. Por ejemplo, la Figura 6 es un esquema de otra disposición para el sistema de

enfriamiento 110 que tiene una pluralidad de bucles de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200. En la configuración mostrada en la Figura 6, el sistema de enfriamiento 110 tiene cuatro bucles de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200. Los evaporadores 212e, 212f, 212g, 212h de cada bucle 200 están dispuestos en serie con respecto al aire de retorno 114, pero como se trató anteriormente los evaporadores 212e, 212f, 212g, 212h también se pueden disponer en paralelo. El aire de retorno se dirige primero sobre el evaporador 212e del primer bucle antes de ser dirigido posteriormente sobre el evaporador 212f del segundo bucle, el evaporador 212g del tercer bucle y el evaporador 212h del cuarto bucle, en ese orden. En la configuración mostrada en la Figura 6, todos de los cuatro condensadores pasivos 214e, 214f, 214g, 214h están dispuestos en paralelo con respecto al aire de aspiración 118, pero como se trató anteriormente, los condensadores pasivos 214e, 214f, 214g, 214h también se pueden disponer en serie. Cada condensador 234e, 234f, 234g, 234h para el sistema de enfriamiento secundario 230 (que en esta realización es un sistema de enfriamiento de expansión directa) está dispuesto en serie, con relación al aire de aspiración 118, con el condensador pasivo 214e, 214f, 214g, 214h del bucle correspondiente.

En general, la temperatura interna de cada bucle de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 será isotérmica, pero cada uno de los cuatro bucles de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 operará a diferente temperatura y presión. La temperatura del medio de enfriamiento primario 202 en el primer bucle será la más cálida en la medida que el aire que entra en el evaporador 212e del primer bucle será el más cálido (la temperatura inicial del aire de retorno 114). El aire que entra en los evaporadores 212f, 212g, 212h llega a estar posteriormente más frío que el del bucle anterior debido al enfriamiento resultante del bucle anterior. Cuando la temperatura de aire de ambiente es menor que la temperatura de cada uno de los bucles de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200, la energía del medio de enfriamiento primario se puede transferir desde el aire de retorno 114 al aire de aspiración 118 en el modo pasivo con todos de los cuatro bucles operando en modo pasivo como se muestra en la Figura 6.

Cada bucle se puede operar selectivamente en modo pasivo o activo. La Figura 7 muestra el sistema de enfriamiento 110 operando con el cuarto bucle en modo activo y los otros tres bucles operando en modo pasivo, y la Figura 8 muestra todos de los cuatro bucles operando en modo activo. Se puede usar un controlador 240 para operar el sistema de enfriamiento 110. En esta realización, el controlador 240 es un controlador basado en un microprocesador que incluye un procesador 242 para realizar diversas funciones que se tratarán más adelante y una memoria 244 para almacenar diversos datos. También se puede hacer referencia al controlador 240 como una CPU. En una realización, el control del sistema de enfriamiento 110 se puede implementar por medio de una serie de instrucciones almacenadas en la memoria 244 y ejecutadas por el procesador 242.

El controlador 240 está acoplado comunicativamente a un sensor de temperatura ("TS") 122. En esta realización, el sensor de temperatura 122 se usa para monitorizar la temperatura del aire de suministro 112, permitiendo que el sensor de temperatura 122 transmita (y el controlador 240 reciba) la temperatura del aire de suministro 112. Los sensores de bucle 250 también se pueden usar para medir diversos parámetros de cada bucle de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200. Por ejemplo, los sensores de bucle 250 pueden medir la temperatura y presión del medio de enfriamiento primario 202 en cada bucle usando un sensor de temperatura ("TS") 252 y un sensor de presión ("PS") 254, respectivamente. Preferiblemente, los sensores de temperatura y presión 252, 254 están situados en la línea de refrigerante líquido 224 para monitorizar la temperatura y la presión de la fase líquida 204 del medio de enfriamiento primario 202.

El controlador 240 también se puede acoplar comunicativamente a otros componentes del sistema de enfriamiento 110 y usar para controlar también esos componentes. Por ejemplo, los ventiladores de aire de suministro 116 y los ventiladores de aire de aspiración 120 se pueden acoplar comunicativamente al controlador 240 y, de este modo, el controlador 240 se puede usar para dirigir el aire de retorno 114 y el aire de aspiración 118 sobre los evaporadores 212e, 212f, 212g, 212h y los condensadores 214e, 214f, 214g, 214h, respectivamente, y aumentar o disminuir el flujo de aire. El controlador 240 también se puede acoplar comunicativamente al sistema de enfriamiento secundario 230e, 230f, 230g, 230h de cada bucle y usar para encender o apagar (activar o desactivar) el sistema de enfriamiento secundario 230e, 230f, 230g, 230h.

La Figura 9 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de cómo se puede controlar el sistema de enfriamiento 110 mostrado en las Figuras 6 y 7. En el paso S405, el controlador 240 dirige el aire de retorno 114 sobre los evaporadores 212e, 212f, 212g, 212h. El sensor de temperatura de aire de suministro 122 se usa para medir la temperatura del aire de suministro 112, y el controlador 240 recibe la temperatura del aire de suministro 112 en el paso S410. El controlador 240 entonces compara la temperatura medida del aire de suministro 112 con un punto de referencia en el paso S415. El punto de referencia se puede proporcionar al controlador 240 usando cualquier método o dispositivo adecuado. Por ejemplo, el controlador 240 se puede acoplar comunicativamente a una interfaz de usuario a través de la cual un usuario puede proporcionar una temperatura deseada del aire de suministro 112, y el controlador 240 puede recibir la temperatura deseada del aire de suministro 112 para usar como punto de referencia. Si la temperatura del aire de suministro 112 es igual al punto de referencia (o dentro de un rango de operación adecuado del punto de referencia), el sistema de control 240 vuelve al paso S405 para continuar monitorizando la temperatura del aire de suministro 112.

Si la temperatura del aire de suministro 112 es demasiado fría (por debajo de la temperatura del punto de referencia o rango operativo), el controlador 240 comprueba, en el paso S420, si cualquiera de los bucles 200 está operando en el modo activo. El controlador 240 puede almacenar, por ejemplo, el modo de un bucle en la memoria 244 cuando el controlador activa o desactiva el sistema de enfriamiento secundario 230 para ese bucle. El controlador 240 puede consultar entonces la memoria 244 para determinar el modo de cualquier bucle. El controlador 240 puede almacenar en la memoria 244 otros parámetros adecuados, tales como el caudal del aire de aspiración 118 (por ejemplo, la velocidad y el número de ventiladores de aspiración 120 que funcionan), por ejemplo, el controlador 240 puede comprobar del mismo modo y alterar estos parámetros en una manera similar. Si el controlador 240 determina (en el paso S420) que no ningún bucle 200 está en el modo activo, el controlador 240 reduce el flujo de aire del aire de aspiración 118 en el paso S425 antes de volver al paso S405 para continuar monitorizando la temperatura del aire de suministro 112. Si se hace cualquier cambio en el sistema de enfriamiento 110 en el paso S425 (o cualquier otro paso tratado en la presente memoria), el controlador 240 puede retrasar la monitorización de la temperatura del aire de suministro 112 para permitir que el cambio afecte a la temperatura del aire de suministro 112.

Si el controlador 240 determina, en el paso S420, que al menos un bucle 200 está en el modo activo, el controlador 240 desactiva el sistema de enfriamiento secundario 230 en uno de los bucles 200, en el paso S430. Como se muestra en la Figura 7, por ejemplo, el cuarto bucle está operando en el modo activo. Si la temperatura del aire de suministro es demasiado fría en esta configuración, el controlador 240 desactivaría el sistema de enfriamiento secundario 230h del cuarto bucle, devolviendo el cuarto bucle al modo pasivo, como se muestra en la Figura 6. Preferiblemente, el controlador 240 desactivará el sistema de enfriamiento secundario 230 del bucle que opera en el modo activo que tiene su evaporador 212 el más alejado aguas arriba con relación al aire de retorno 114. El controlador 240 entonces vuelve al paso S405 para continuar monitorizando la temperatura del aire de suministro 112.

Si la temperatura del aire de suministro 112 es demasiado caliente (por encima de la temperatura del punto de referencia o rango operativo), el controlador 240 comprueba primero, en el paso S435, para ver si se puede aumentar el flujo de aire del aire de aspiración 118. Si se puede aumentar el flujo de aire del aire de aspiración 118 (el flujo de aire del aire de aspiración 118 no está en su máximo), el controlador 240 aumenta el flujo de aire del aire de aspiración 118 en el paso S440 antes de volver al paso S405. El controlador 240 puede aumentar el flujo de aire del aire de aspiración 118 por cualquier medio adecuado, incluyendo, por ejemplo, aumentando la velocidad de los ventiladores de aire de aspiración 120. Si no se puede aumentar el flujo de aire del aire de aspiración 118 (el flujo de aire del aire de aspiración 118 está en su máximo), el controlador 240 comprueba, en el paso S445, para ver si todos los bucles 200 están en el modo activo. Si todos los bucles 200 están en el modo activo, como se muestra en la Figura 8, el sistema de enfriamiento 110 está operando a su máxima capacidad de enfriamiento y el controlador 240 vuelve al paso S405. Si al menos un bucle está en modo pasivo, el controlador 240 activará un sistema de enfriamiento secundario 230 para uno de los bucles 200 en el paso S450. Por ejemplo, si todos los bucles están operando en el modo pasivo como se muestra en la Figura 6, el controlador 240 activará el sistema de enfriamiento secundario 230 de uno de los bucles 200, tal como el sistema de enfriamiento secundario 230h del cuarto bucle. Preferiblemente, el controlador 240 activará el sistema de enfriamiento secundario 230 del bucle que opera en el modo pasivo que tiene su evaporador 212 el más alejado aguas abajo con relación al aire de retorno 114. El controlador 240 entonces vuelve al paso S405 para continuar monitorizando la temperatura del aire de suministro 112.

Para sistemas de enfriamiento de centro de datos, a menudo es deseable tener eficiencias del 65% o más en un modo economizador (modo pasivo en esta realización). En el modo pasivo, el refrigerante está virtualmente a la misma presión en todas las ubicaciones dentro del bucle refrigerante primario 210, y la temperatura interna es isotérmica. En base a los requisitos de equilibrio de energía, si las restricciones de transferencia de calor del condensador pasivo 214 y el evaporador 212 son las mismas (flujos de aire iguales sobre la superficie exterior del condensador 214 y el evaporador 212 y características superficiales de la superficie exterior del condensador 214 y del evaporador 212), el refrigerante existiría a una temperatura igual a la media del evaporador 212 y las entradas de condensador pasivo 214 y, en un mundo no ideal, la eficiencia neta de un bucle 200 único sería inferior al 50%. No obstante, es alcanzable una eficiencia de intercambio de calor, cuando se mide en el tamaño de evaporador de más del 50%, con flujos de aire desequilibrados sobre la superficie exterior del condensador 214 y del evaporador 212.

Usando múltiples bucles 200 con contraflujo de aire al flujo en el bucle refrigerante primario 210, las eficiencias de cada bucle tendrán un efecto aditivo y se pueden lograr eficiencias mayores que las eficiencias de un bucle único. Por ejemplo, si se usan dos bucles 200, cada uno que tiene una eficiencia del 50%, con el aire de aspiración 118 fluyendo en serie a través del primer bucle y luego el segundo bucle y el aire de retorno 114 que fluye en la dirección opuesta (a través del segundo bucle y luego el primer bucle) se puede lograr una eficiencia mayor que el 70%. Si, no obstante, la eficacia de un bucle 200 único cae al 39%, se pueden colocar tres bucles 200, en lugar de dos, en contraflujo para conseguir una eficacia neta mayor que el 70%. Los cálculos anteriores usaron aire de aspiración 118 que tiene una temperatura de 21,11°C (70°F) entregado a 283,17 metros cúbicos por minuto (10000 cfm) y aire de retorno 114 con una temperatura de 37,78°C (100°F) entregado a 141,58 metros cúbicos por minuto (5000 cfm).

Los siguientes ejemplos (Casos 1 hasta 6) se construyeron para evaluar la eficiencia de un bucle 200 único. Los resultados de estas evaluaciones se presentan en la Tabla 1 a continuación. Los siguientes casos usaron un flujo de

ES 2 913 924 T3

aire desequilibrado donde el ventilador de aspiración 120 se seleccionó para proporcionar una relación de flujo de aire de al menos 2:1 de aire de aspiración 118 a aire de retorno 114 en base a una velocidad de cara de 152,4 metros por minuto (500 ppm) del aire de retorno 114 sobre el evaporador 212. No obstante, en los siguientes casos experimentales, se logró una relación de flujo más cercana a 2,2:1, siendo el flujo de aire total a través del evaporador 212 de 141,58 metros cúbicos por minuto (5000 scfm) y el flujo de aire total a través del condensador pasivo 214 de 311,48 metros cúbicos por minuto (11000 scfm). La velocidad de cara a través del condensador pasivo 214 fue de 152,4 metros por minuto (500 ppm).

El primer caso (Caso 1) usó bobinas de tubo con aletas ("FT") tanto para el evaporador 212 como para el condensador pasivo 214. La bobina para el evaporador 212 era una bobina inundada de dos filas y un paso, y la bobina para el condensador pasivo 214 era una bobina de un paso de tres filas. Ambas bobinas usaban tubos de 1,27 centímetros (media pulgada) en una disposición típica de tubo y tenían 10 aletas por pulgada. Cada bobina tenía 1,52 metros (5 pies) de largo. Tanto el evaporador 212 como el condensador pasivo 214 se montaron en un ángulo de 15 grados con relación a la horizontal para facilitar la expulsión de vapor y el flujo de condensado a través de la gravedad. El condensador pasivo 214 se montó con su extremo inferior 60,96 centímetros (2 pies) por encima de la descarga superior del evaporador 212. Las líneas de vapor y líquido entre las bobinas se sobredimensionaron, usando una tubería de 2,857 centímetros (1 1/8 pulgada) para la línea de refrigerante líquido 224 y una de 5,397 centímetros (2 1/8 pulgada) para la tubería de vapor 222, para no inhibir el flujo de refrigerante y afectar al rendimiento resultante. Se usó R410a como refrigerante.

El segundo caso (Caso 2) era igual que el primer caso, pero se usó una bobina de microcanal inundado (MC) como evaporador 212 en lugar de una bobina de tubo con aletas. El uso de una bobina de microcanal redujo significativamente la carga de refrigerante necesaria porque el volumen interno de la bobina de microcanal se redujo considerablemente (por encima del 47%) en comparación con la bobina de tubo de 1,27 centímetros (media pulgada). Cada extrusión de microcanal 330 tenía un ancho de 38 mm con 28 microcanales 334, 336. El ancho de cada uno de los 26 microcanales internos 334 era de 0,92 mm y los dos microcanales externos 336 (véase la Figura 5B) estaban redondeados con un radio de 0,55 mm y tenían una anchura total de 0,94 mm. La extrusión de microcanal 330 tenía una altura total de 1,8 mm con un espesor de pared exterior t de 0,35 mm. El espesor de la pared interna que separaba los microcanales 334 era de 0,40 mm. Se usaron sesenta y siete extrusiones de microcanal 330 y cada una tenía una longitud de 1,57 m. Se usó una única conexión de líquido 312 con un diámetro exterior de 22,2 mm y se usó una única conexión de vapor 322 con un diámetro exterior de 25 mm.

El tercer caso (Caso 3) era igual que el segundo caso, pero se usó una bobina de microcanal (MC) como el condensador pasivo 214 en lugar de una bobina de tubo con aletas. La bobina de microcanal para el condensador pasivo 214 se diseñó de manera similar a la bobina de microcanal para el evaporador 212 (descrito anteriormente en el Caso 2), pero el condensador pasivo 214 usó 100 extrusiones de microcanal 330, cada una que tenía una longitud de 1,57 m.

El cuarto caso (Caso 4) era igual que el tercer caso, pero se usaron tres tuberías de vapor 222 y conexiones de vapor 322 en lugar de una (MC Mod). También se evaluó la configuración de los bucles 200 en los Casos 3 y 4 con un diferencial de temperatura más alto entre el evaporador 212 y el condensador pasivo 214 (Casos 5 y 6, respectivamente). El diferencial de temperatura entre el evaporador 212 y el condensador pasivo 214 en los Casos 5 y 6 se aumentó aumentando la temperatura del aire de retorno 114 de -6,67°C a -3,89°C (20°F a 25°F), con relación a los Casos 3 y 4. La Tabla 1 a continuación presenta los resultados de cada uno de los casos y en la tabla "Evap" se refiere al evaporador 212 y "Cond" se refiere al condensador pasivo 214.

Tabla 1

Caso	Tipo de bobina		Temperatura		Eficiencia (%)	Energía (kW)
	Evap	Cond	Evap	Cond		
1	FT	FT	35,05°C (95,1°F)	19,89°C (67,8°F)	34	14,8
2	MC	FT	35°C (95,0°F)	19,5°C (67,1°F)	57	25,3
3	MC	MC	35°C (95,0°F)	23,17°C (73,7°F)	57	19,3
4	MC Mod	MC Mod	38,05°C (100,5°F)	19,94°C (67,9°F)	60	31,0
5	MC	MC	48,89°C (120,0°F)	26,61°C (81,7°F)	31	18,9
6	MC Mod	MC Mod	50,17°C (122,3°F)	20,22°C (68,4°F)	55	47,0

Como se puede ver en la Tabla 1 anterior comparando el Caso 1 con el Caso 2, el uso de una bobina de microcanal en lugar de una bobina de tubo con aletas en el evaporador 212 marcó la diferencia más significativa en rendimiento, aumentando la eficiencia de intercambio de calor del 34% al 57%. Cambiar el condensador pasivo 214 a una bobina de microcanal tuvo poco efecto sobre los resultados de rendimiento en condiciones normales (compárese el Caso 2 con el Caso 3). Modificar el evaporador 212 y el condensador pasivo 214 para tener conexiones de vapor 322 adicionales dio como resultado una ganancia de eficiencia del 3% en condiciones normales (compárese el Caso 3 con el Caso 4). Cuando se aumentó la diferencia de temperatura entre el evaporador 212 y el condensador pasivo 214, la eficiencia cayó (compárense los Casos 3 y 4 con los Casos 5 y 6, respectivamente), pero tener múltiples conexiones de vapor 322 dio como resultado una menor caída de eficiencia y la transferencia total de energía aumentó enormemente a casi 50 kW.

Usando las propiedades de R410a y una tasa de transferencia de calor conocida, se puede calcular un flujo másico del medio de enfriamiento primario 202 en base a los calores específicos del vapor y líquido. En el caso del evaporador de microcanal 212, el límite de flujo de calor estaba en el rango de 20 kW. Usando una diferencia de entalpía entre líquido y vapor para R410a, se calculan un flujo másico de 387 kg/hr y un caudal de 5,88 m³/hr. Aplicando el diámetro interior de un único tubo de 2,22 centímetros (7/8 de pulgada), la velocidad del gas es de 4,2 m/s. Añadir dos conexiones de vapor adicionales a la bobina aumenta la capacidad en 50 kW y da como resultado una velocidad de 3,1 m/s. Así, con propósitos prácticos, cuando se usa R410a, las conexiones de tubería se dimensionan preferiblemente para una velocidad máxima por debajo de alrededor de 4 m/s. El caudal de vapor dentro de las extrusiones de microcanal 330 es de 2,1 m/s para la tasa de intercambio de calor de 50 kW. El dimensionamiento variará para otros refrigerantes en base a su densidad y viscosidad, pero se puede determinar experimentalmente.

Se usó un intercambiador de calor de placas como el condensador activo 216 en cada uno de los Casos 1 a 6. El condensador activo 216 se dispuso en paralelo con el condensador pasivo 214, y se usó agua enfriada como el medio de enfriamiento secundario 208. En el modo activo, los datos de eficiencia y los datos de energía máxima imitaron de cerca los datos de aire a aire, confirmando la superioridad del evaporador de microcanal 212 con respecto al evaporador de tubo con aletas 212 y el aumento en la capacidad total después de la adición de las conexiones de colector adicionales al microcanal para el transporte de vapor.

En las Figuras 10 y 11 se muestra una segunda realización preferida de un bucle de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 500. En esta realización, el evaporador 512 y el condensador pasivo 514 están incorporados en un intercambiador de calor integral 510, que opera como una tubería de calor. El evaporador 512 es una parte inferior del intercambiador de calor integral 510 y también se puede hacer referencia al mismo como parte del evaporador 512. Del mismo modo, el condensador pasivo 514 es una parte superior del intercambiador de calor integral 510 y también se puede hacer referencia al mismo como parte de condensador 516. Como con la primera realización, se puede usar cualquier intercambiador de calor adecuado, incluyendo bobinas de tubo con aletas o bobinas de microcanal. En esta realización, el intercambiador de calor integral 510 se muestra como una bobina de tubo con aletas con tubos 516 que conectan dos colectores fijos, un colector superior 522 y un colector inferior 524. Como se describirá a continuación, la gravedad también juega un papel en el proceso de enfriamiento y como resultado, los tubos 516 están orientados preferiblemente rectos y más preferiblemente verticalmente.

El conjunto de enfriamiento por corriente de aire 500 que opera en modo pasivo se muestra en la Figura 10. El aire de retorno 114 caliente se dirige sobre la parte de evaporador 512 del intercambiador de calor integral 510. El medio de enfriamiento primario 202, que está contenido dentro de los tubos 516, cambia de la fase líquida 204 a la fase gaseosa 206, aspirando calor del aire de retorno 114 y, como resultado, enfriando el aire de retorno 114. A medida que el medio de enfriamiento primario 202 se evapora, el vapor 206 se eleva en el tubo 516 a la parte de condensador 514 del intercambiador de calor. En el modo pasivo, el aire de aspiración 118 se dirige sobre la parte de condensador 516. El calor se rechaza desde el medio de enfriamiento primario 202 hacia el aire de aspiración 118, condensando el medio de enfriamiento primario de la fase gaseosa 206 a la fase líquida 204. El líquido 204 del medio de enfriamiento primario 202 entonces se filtra por los lados del tubo 516, ayudado por la gravedad, de vuelta a la parte de evaporador 512.

El conjunto de enfriamiento por corriente de aire 500 que funciona en modo activo se muestra en la Figura 11. Como con el conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 de la primera realización, el evaporador 512 del conjunto de enfriamiento por corriente de aire 500 también está conectado a un segundo condensador, un condensador intercambiador de calor activo 216. Una tubería de vapor 526 conecta el colector superior 522 del intercambiador de calor integral 510 con el condensador activo 216. El vapor 206 del medio de enfriamiento primario 202 discurre a través de la tubería de vapor 526 al condensador activo 216. Como en la primera realización, el calor se rechaza del medio de enfriamiento primario 202 al medio de enfriamiento secundario 208 del sistema de enfriamiento secundario 230 en el condensador activo, lo que hace que el medio de enfriamiento primario 202 cambie de fase de vapor 206 a un líquido 204. El líquido condensado 204 entonces discurre, con la ayuda de la gravedad, a través de una línea de refrigerante líquido 528 al colector inferior 524, estableciendo un flujo de refrigerante recirculado.

También como la primera realización, el conjunto de enfriamiento por corriente de aire 500 de esta realización opera sin necesidad de bombas, aceites, compresores o incluso válvulas para conmutar entre modos. En su lugar, activando el sistema de enfriamiento secundario 230 para enfriar el condensador activo 216, el vapor 206 del medio

de enfriamiento primario 202 discurre de manera natural al condensador activo más frío 216 para condensarse, y el conjunto de enfriamiento por corriente de aire 500 conmuta automáticamente del modo pasivo al modo activo. Además, un controlador 240, que se puede acoplar de manera comunicativa a los sensores de temperatura 122, 252, se puede usar para controlar el conjunto de enfriamiento por corriente de aire 500 de esta realización.

5 Como se ha tratado anteriormente, en lugar de que se use una bobina de tubo con aletas para el intercambiador de calor integral 510, se puede usar una bobina de microcanal. No obstante, el flujo de calor total disponible puede estar limitado en un modo pasivo que depende solo de la operación de la tubería de calor a medida que el líquido condensado y el gas evaporado fluyen uno contra otro en los pequeños canales de la extrusión de microcanal. Las Figuras 12 y 13 muestran otra configuración de la segunda realización que incluye un segundo condensador pasivo
10 530 (tercer condensador). En esta realización, el tercer condensador 530 es una bobina de microcanal colocada en serie, con relación al aire de aspiración 118, con la parte de condensador 514 del intercambiador de calor integral 510. Preferiblemente, el tercer condensador 530 se coloca en el lado aguas arriba de la parte de condensador 514 del intercambiador de calor integral. El tercer condensador 530 tiene un colector de vapor 532 y un colector de líquido 534. El colector de vapor 530 del tercer condensador está conectado al colector superior 522 del
15 intercambiador de calor integral 510 mediante la tubería de vapor 526.

En el modo pasivo (mostrado en la Figura 12), el vapor 206 del medio de enfriamiento primario 202 fluiría a través de la tubería de vapor 526 y hacia el tercer intercambiador de calor, donde ocurrirá la mayor parte de la condensación del medio de enfriamiento primario 202. Como con el condensador pasivo 214 de la primera realización, el aire de aspiración 118 se conduce a través de una superficie exterior del tercer condensador 530, y el calor del medio de
20 enfriamiento primario 202 contenido en el tercer condensador 530 se libera al aire de aspiración 118, condensando el vapor 206 a un líquido 204. El líquido 204 del medio de enfriamiento primario 202 entonces discurre, con la ayuda de la gravedad, a través de una línea de refrigerante líquido 528 al colector inferior 524 como flujo de refrigerante recirculado.

En el modo activo (mostrado en la Figura 13), el vapor 206 fluye de manera natural hacia el condensador activo 216 más frío para ser condensado, como se ha tratado anteriormente, y hay un flujo mínimo, si lo hay, del medio de enfriamiento primario 202 a través del tercer condensador 530 en el modo activo. Como con la primera realización, puede ser beneficioso incluir sifones de vapor (no mostrados) y/o válvulas de retención 220 en las líneas de refrigerante líquido 528 para evitar el flujo inverso del medio de enfriamiento primario 202 a través del condensador 216, 530 que actualmente no está operando en un modo dado.

30 El segundo condensador pasivo 530 también se puede usar en una configuración sin el condensador activo 216, como se muestra en la Figura 14. La configuración solamente tiene un modo pasivo, pero el evaporador 512 aún está conectado a dos condensadores, la parte de condensación 514 del intercambiador de calor integral 510 y el segundo condensador pasivo 530.

Como con el conjunto de enfriamiento por corriente de aire 200 de la primera realización, el sistema de enfriamiento
35 110 puede incluir una pluralidad de conjuntos de enfriamiento por corriente de aire 500 de la segunda realización. Por ejemplo, un sistema de enfriamiento 110 puede incluir dos bucles 500a, 500b como se muestra en la Figura 15. El primer bucle 500a es similar a la configuración mostrada en la Figura 14 sin un condensador activo 216, y el segundo bucle 500b es similar a la configuración mostrada en las Figuras 10 y 11, pero con una bobina de microcanal para el intercambiador de calor integral 510b. En esta configuración, los dos evaporadores 512a, 512b
40 están dispuestos en serie con respecto al aire de retorno 114. El intercambiador de calor integral 510b del segundo bucle 500b (que tiene el condensador activo 216) está situado aguas arriba del intercambiador de calor integral 510a del primer bucle 500a.

En las Figuras 16 y 17 se muestra otro sistema de enfriamiento 110 que tiene dos bucles de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 600, un primer bucle de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 600a y un
45 segundo bucle de conjunto de enfriamiento por corriente de aire 600b, aunque se puede usar cualquier número de bucles, incluyendo un único bucle. Como con la discusión anterior, se añade una letra a un número de referencia para designar el bucle en el que se sitúa el componente. En este sistema de enfriamiento 110, el aire de retorno 114 se dirige a través de dos bobinas de enfriamiento 612a, 612b que están dispuestas en paralelo con respecto al aire de retorno 114, aunque las bobinas de enfriamiento 612a, 612b también pueden estar dispuestas en paralelo. A
50 medida que el aire de retorno 114 fluye a través de la bobina de enfriamiento 612, el calor se transfiere desde el aire de retorno a un medio de enfriamiento primario 602 contenido dentro de un bucle de enfriamiento primario 610, calentando el medio de enfriamiento primario 602. Se puede usar cualquier medio de enfriamiento primario 602 adecuado, incluyendo, por ejemplo, agua o mezclas de agua y glicol.

El calor absorbido por el medio de enfriamiento primario 602 se rechaza posteriormente o bien en una segunda bobina 614 en un modo economizador o bien en un intercambiador de calor 616 en un modo activo. El medio de enfriamiento primario 602 se hace circular a través del bucle de enfriamiento primario 610 y o bien hasta la segunda bobina 614 o bien hasta el intercambiador de calor 616 mediante una bomba 618. Una válvula de desviación 620 dirige selectivamente el medio de enfriamiento primario 602 bombeado o bien hasta la segunda bobina 614 o bien hasta el intercambiador de calor 616, dependiendo del modo.

- 5 La Figura 16 muestra el sistema de enfriamiento 110 en el modo economizador. El modo economizador se usa, como con los modos pasivos tratados en las realizaciones anteriores, cuando la temperatura de aire del ambiente es menor que la temperatura del medio de enfriamiento primario 602 después de que haya absorbido el calor del aire de retorno 114 (por ejemplo, medido a un punto en el bucle de enfriamiento primario 610 después de la bobina de enfriamiento 612). Como con las realizaciones tratadas anteriormente, se puede imponer un diferencial de temperatura predeterminado para determinar cuándo se usa el modo economizador o el modo activo. En el modo economizador, la válvula de desvío 620 dirige el medio de enfriamiento primario 602 desde la bobina de enfriamiento 612 hasta la segunda bobina 614 para enfriar el medio de enfriamiento primario 602. El aire de aspiración 118 se dirige a través de una superficie exterior de la segunda bobina 614 por los ventiladores de aspiración 120. El calor en el medio de enfriamiento primario 602 entonces se rechaza desde el medio de enfriamiento primario 602 y se absorbe por el aire de aspiración 118. El medio de enfriamiento primario 602 entonces vuelve a la bobina de enfriamiento 612. La bobina de enfriamiento 612 y la segunda bobina 614 pueden ser cualquier bobina adecuada incluyendo bobinas de tubo con aletas o bobinas de microcanal, por ejemplo. Se puede situar un depósito de expansión 622 aguas arriba de la bomba 618 y después de la bobina de enfriamiento 612.
- 10
- 15 La Figura 17 muestra el sistema de enfriamiento 110 en el modo activo. Como con los modos activos tratados anteriormente, el modo activo de esta realización se usa cuando la temperatura ambiente es mayor que la temperatura del medio de enfriamiento primario 602 después de que haya absorbido el calor del aire de retorno 114 o dentro del diferencial de temperatura predeterminado. En el modo activo, la válvula de desvío 620 dirige el medio de enfriamiento primario 602 desde la bobina de enfriamiento 612 al intercambiador de calor 616 para enfriar el medio de enfriamiento primario 602. El calor en el medio de enfriamiento primario 602 entonces se rechaza desde el medio de enfriamiento primario 602 y se absorbe por un medio de enfriamiento secundario 208 de un sistema de enfriamiento secundario 230. Como se ha tratado en las realizaciones anteriores, el sistema de enfriamiento secundario 230 puede ser cualquier sistema de enfriamiento adecuado incluyendo un sistema de enfriamiento de expansión directa. El medio de enfriamiento primario 602 entonces vuelve a la bobina de enfriamiento 612.
- 20
- 25 Aunque esta invención se ha descrito en ciertas realizaciones ejemplares específicas, serán evidentes para los expertos en la técnica a la luz de esta descripción modificaciones y variaciones adicionales dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) que comprende:
- un evaporador (212) que tiene una superficie exterior y que contiene un medio de enfriamiento primario (202), el evaporador (212) que está configurado para tener una primera corriente de aire (114) dirigida sobre la superficie exterior del mismo y, cuando la primera corriente de aire (114) se dirige sobre la superficie exterior, para cambiar la fase del medio de enfriamiento primario (202) de líquido (204) a gas (206);
- un condensador pasivo (214) que tiene una superficie exterior y está acoplado de manera fluida al evaporador (212), el condensador pasivo (214) que está configurado para tener una segunda corriente de aire dirigida sobre la superficie exterior del mismo; y
- un intercambiador de calor (216) acoplado de manera fluida al evaporador (212) y configurado para aceptar un medio de enfriamiento secundario (208),
- en donde cada uno del condensador pasivo (214) y el intercambiador de calor (216) está configurado para ser utilizado selectivamente y cuando uno del condensador pasivo (214) y el intercambiador de calor (216) se utiliza selectivamente, el seleccionado del condensador pasivo (214) y el intercambiador de calor (216) recibe el medio de enfriamiento primario (202) en la fase gaseosa (206) desde el evaporador (212), transferir calor del medio de enfriamiento primario (202), y cambia la fase del medio de enfriamiento primario (202) de gas (206) a líquido (204), suministrar el medio refrigerante primario (202) en la fase líquida (204) al evaporador (212),
- caracterizado por que
- el condensador pasivo (214) y el intercambiador de calor (216) están dispuestos en paralelo con relación al flujo del medio de enfriamiento primario (202), y
- por que la circulación del medio de enfriamiento primario (202) entre el evaporador (212) y al menos uno del condensador pasivo (214) y el intercambiador de calor (216) se logra por medio de circulación natural y gravedad.
2. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 1, en donde al menos uno del evaporador (212) y el condensador pasivo (214) es una bobina de tubo.
3. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 1, en donde al menos uno del evaporador (212) y el condensador pasivo (214) es una bobina de microcanal.
4. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 1, en donde el evaporador (212) es una bobina de microcanal (300) que tiene un lado de líquido (302) y un lado de vapor (304) y que incluye un colector (320) en el lado de vapor (304) que tiene una pluralidad de conexiones de vapor (322).
5. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 1, en donde el condensador pasivo (214) tiene un lado de líquido (302) y un lado de vapor (304) y el condensador pasivo (214) es una bobina de microcanal (300) que incluye un colector (320) en el lado de vapor (304) que tiene una pluralidad de conexiones de vapor (322).
6. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 1, en donde el intercambiador de calor (216) es un intercambiador de calor de placa y utiliza un medio de enfriamiento secundario.
7. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 1, en donde el intercambiador de calor (216) es un intercambiador de calor coaxial y utiliza un medio de enfriamiento secundario (208).
8. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 1, en donde el intercambiador de calor (216) se enfría mediante un sistema de enfriamiento de expansión directa (230).
9. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 1, en donde el intercambiador de calor (216) se enfría mediante agua fría.
10. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 1, en donde el conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) es operable en un modo activo y un modo pasivo.
- en donde, en el modo pasivo, el condensador pasivo (214) está configurado para:
- recibir el medio de enfriamiento primario (202) en la fase gaseosa (206) del evaporador (212),
- recibir una segunda corriente de aire (118) dirigida sobre su superficie exterior para cambiar la fase del medio de enfriamiento primario (202) de gas (206) a líquido (204), y
- suministrar el medio de enfriamiento primario (202) en la fase líquida (204) al evaporador (212), y

en donde, en el modo activo, el intercambiador de calor (216) está configurado para:

recibir el medio de enfriamiento primario (202) en la fase gaseosa (206) del evaporador (212),

transferir calor del medio de enfriamiento primario (202) para cambiar el medio de enfriamiento primario (202) de gas (206) a líquido (204), y

5 suministrar el medio de enfriamiento primario (202) en la fase líquida (204) al evaporador (212).

11. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 10, que comprende además un controlador (240) configurado para controlar selectivamente el modo del conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200).

10 12. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 11, en donde el controlador (240) está configurado para conmutar al modo activo suministrando un medio de enfriamiento secundario (208) para enfriar el intercambiador de calor (216), y

en donde el controlador (240) está configurado para conmutar al modo pasivo apagando el suministro del medio de enfriamiento secundario (208).

13. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 11, que comprende además:

15 un sensor de temperatura de corriente de aire (122) acoplado comunicativamente con el controlador (240) y configurado para medir la temperatura de la primera corriente de aire (112) en una posición aguas abajo del evaporador (212),

en donde el controlador (240) está configurado además para:

20 recibir una señal representativa de la temperatura de la primera corriente de aire (112) desde el sensor de temperatura de corriente de aire (122); y

conmutar al modo activo cuando la temperatura de la primera corriente de aire (112) esté por encima de un punto de referencia.

14. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 11, que comprende además:

25 un sensor de temperatura de corriente de aire (122) acoplado comunicativamente al controlador (240) y configurado para medir la temperatura de la primera corriente de aire (112) en una posición aguas abajo del evaporador (212),

en donde el controlador (240) está configurado además para:

recibir una señal representativa de la temperatura de la primera corriente de aire (112) desde el sensor de temperatura de corriente de aire (122); y

30 conmutar al modo pasivo cuando la temperatura de la primera corriente de aire (112) esté por debajo de un punto de referencia.

15. Un sistema de enfriamiento (110) que comprende una pluralidad de conjuntos de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 1.

35 16. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 1, en donde, cuando se acepta el medio de enfriamiento secundario (208), el intercambiador de calor (216) está configurado para recibir el medio de enfriamiento primario (202) en la fase gaseosa (206) desde el evaporador (212), transferir calor del medio de enfriamiento primario (202), y cambiar la fase del medio de enfriamiento primario (202) de gas (206) a líquido (204), y

40 en donde, cuando el intercambiador de calor (216) no está aceptando el medio de enfriamiento secundario (208), el condensador pasivo (214) está configurado para recibir el medio de enfriamiento primario (202) en la fase gaseosa (206) desde el evaporador (212), transferir calor desde el medio de enfriamiento primario (202) y cambiar la fase del medio de enfriamiento primario (202) de gas (206) a líquido (204),

en donde el evaporador (212) está configurado para recibir el medio de enfriamiento primario (202) en la fase líquida (204) desde o bien el intercambiador de calor (216) o bien el condensador pasivo (214).

45 17. El conjunto de enfriamiento por corriente de aire (200) de la reivindicación 1, en donde el condensador pasivo (214) está configurado para tener aire de ambiente dirigido sobre la superficie exterior del mismo, transferir calor desde el medio de enfriamiento primario (202), y cambiar la fase del medio de enfriamiento primario (202) de gas (206) a líquido (204); y

en donde el intercambiador de calor (216) está configurado para aceptar calor de manera selectiva mediante enfriamiento mecánico usando el medio de enfriamiento secundario (208), transferir calor desde el medio de enfriamiento primario (202) y cambiar la fase del medio de enfriamiento primario (202) de gas (206) a líquido (204),

5 en donde el evaporador (212) está configurado para recibir el medio de enfriamiento primario (202) en la fase líquida (204) desde el condensador pasivo (214) o el intercambiador de calor (216), el evaporador (212) que está configurado para recibir el medio de enfriamiento primario (202) en la fase líquida (204) desde el intercambiador de calor (216) cuando el intercambiador de calor (216) está aceptando calor mediante enfriamiento mecánico.

10 18. Un método de enfriamiento de una corriente de aire por medio de un conjunto de enfriamiento por corriente de aire según la reivindicación 1 que comprende un evaporador que tiene una superficie exterior y que contiene un medio de enfriamiento primario, un condensador pasivo que tiene una superficie exterior y que está acoplado de manera fluida al evaporador; y un intercambiador de calor acoplado de manera fluida al evaporador, el método que comprende:

dirigir una corriente de aire sobre la superficie exterior del evaporador para cambiar el medio de enfriamiento primario contenido en el mismo de una fase líquida a una fase gaseosa; y

15 utilizar selectivamente uno del intercambiador de calor y el condensador pasivo para cambiar el medio de enfriamiento primario de la fase gaseosa a la fase líquida, cada uno del intercambiador de calor y el condensador pasivo que está acoplado al evaporador para recibir el refrigerante primario en la fase gaseosa desde el evaporador y suministrar el medio de enfriamiento primario en la fase líquida al evaporador,

20 en donde el condensador pasivo (214) y el intercambiador de calor (216) están dispuestos en paralelo con relación al flujo del medio de enfriamiento primario (202), y

en donde la circulación del medio de enfriamiento primario entre el evaporador y al menos uno del intercambiador de calor y el condensador pasivo se logra mediante circulación natural y gravedad.

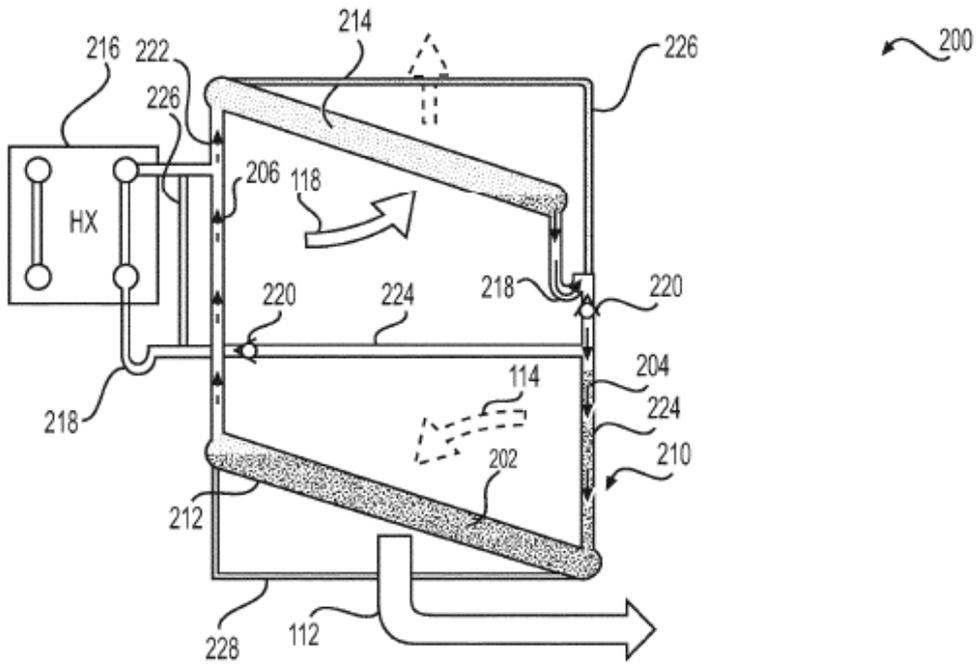


FIG. 3

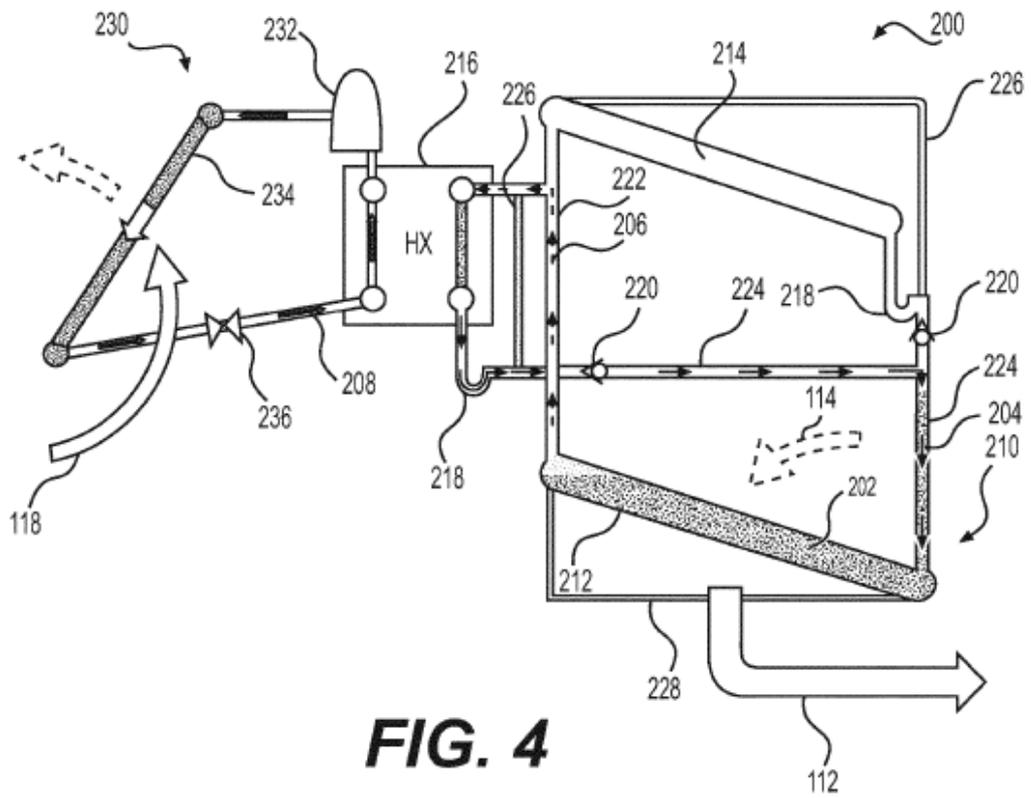


FIG. 4

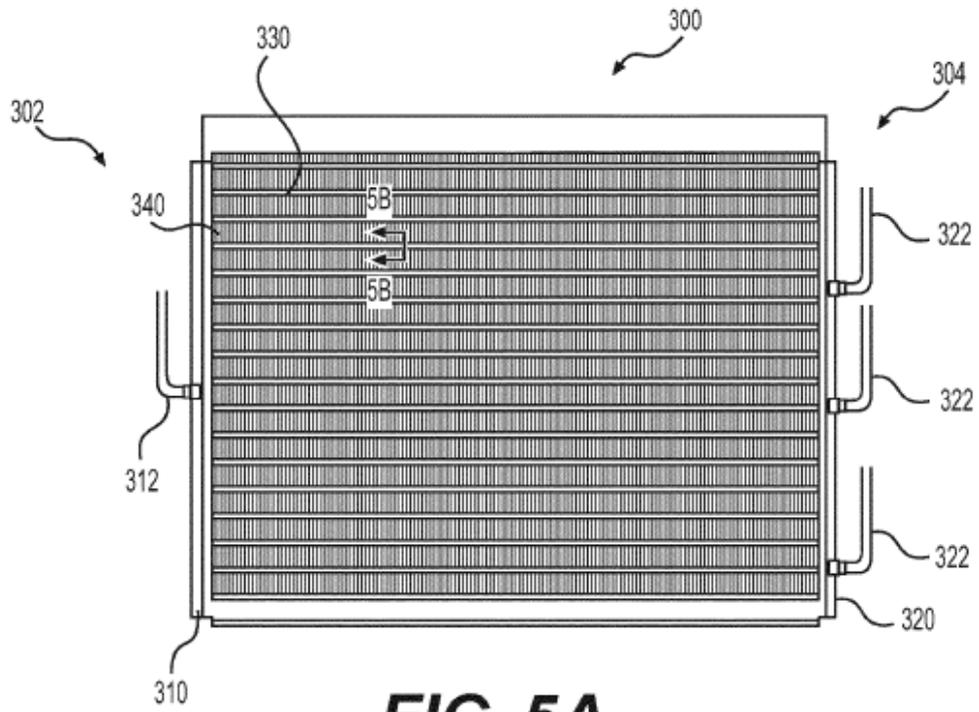


FIG. 5A

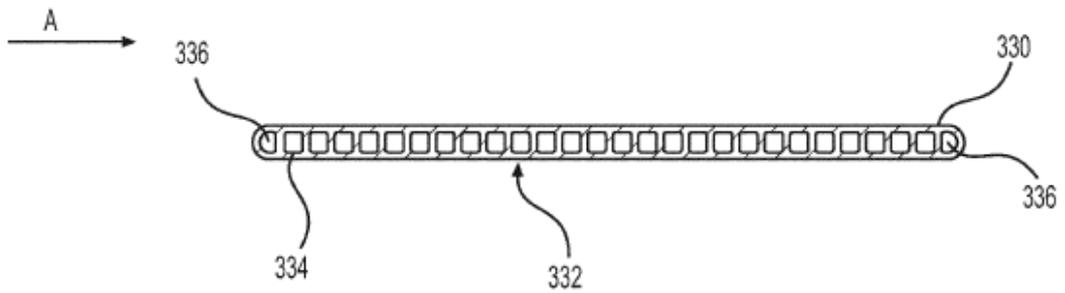


FIG. 5B

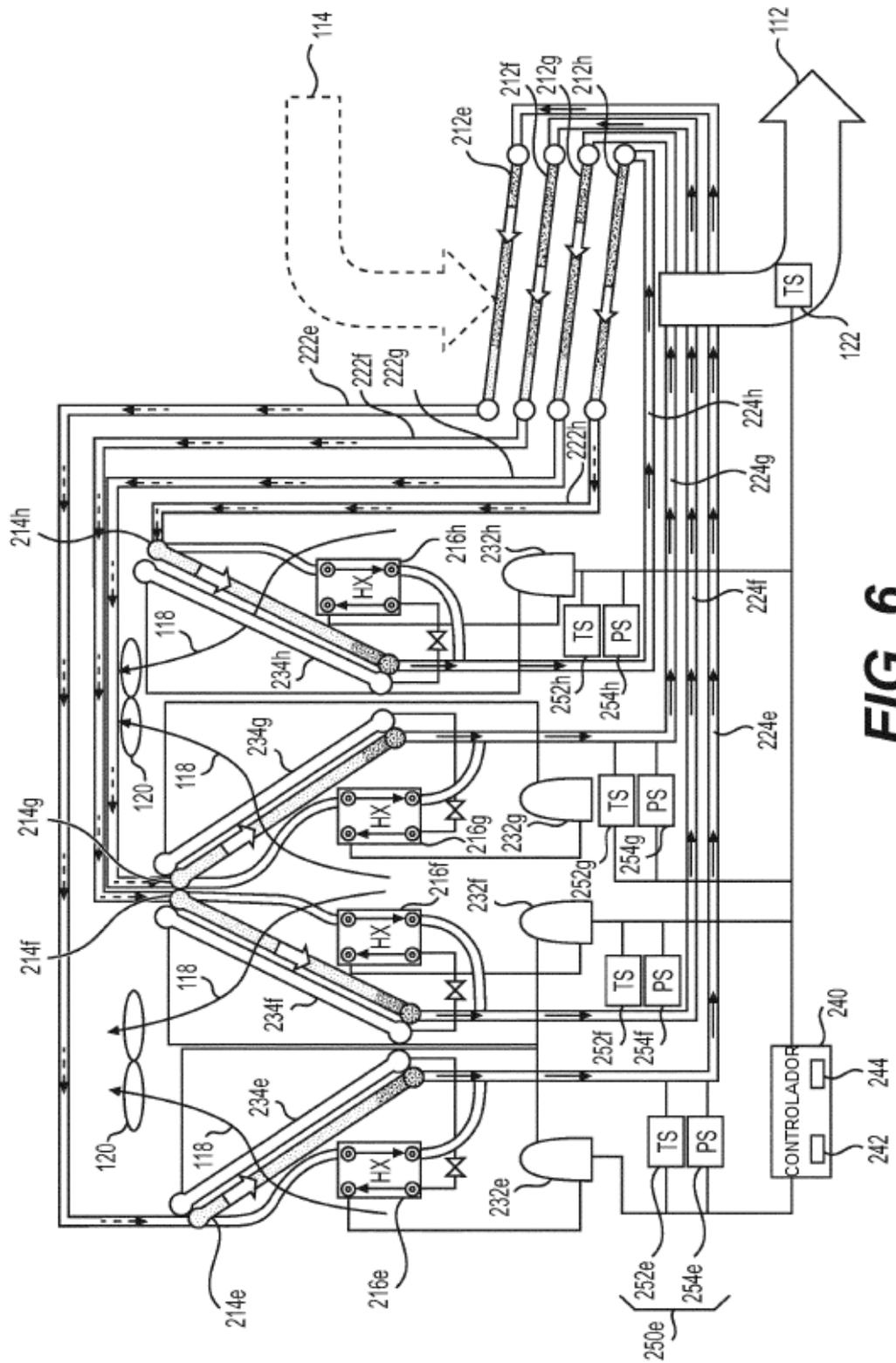


FIG. 6

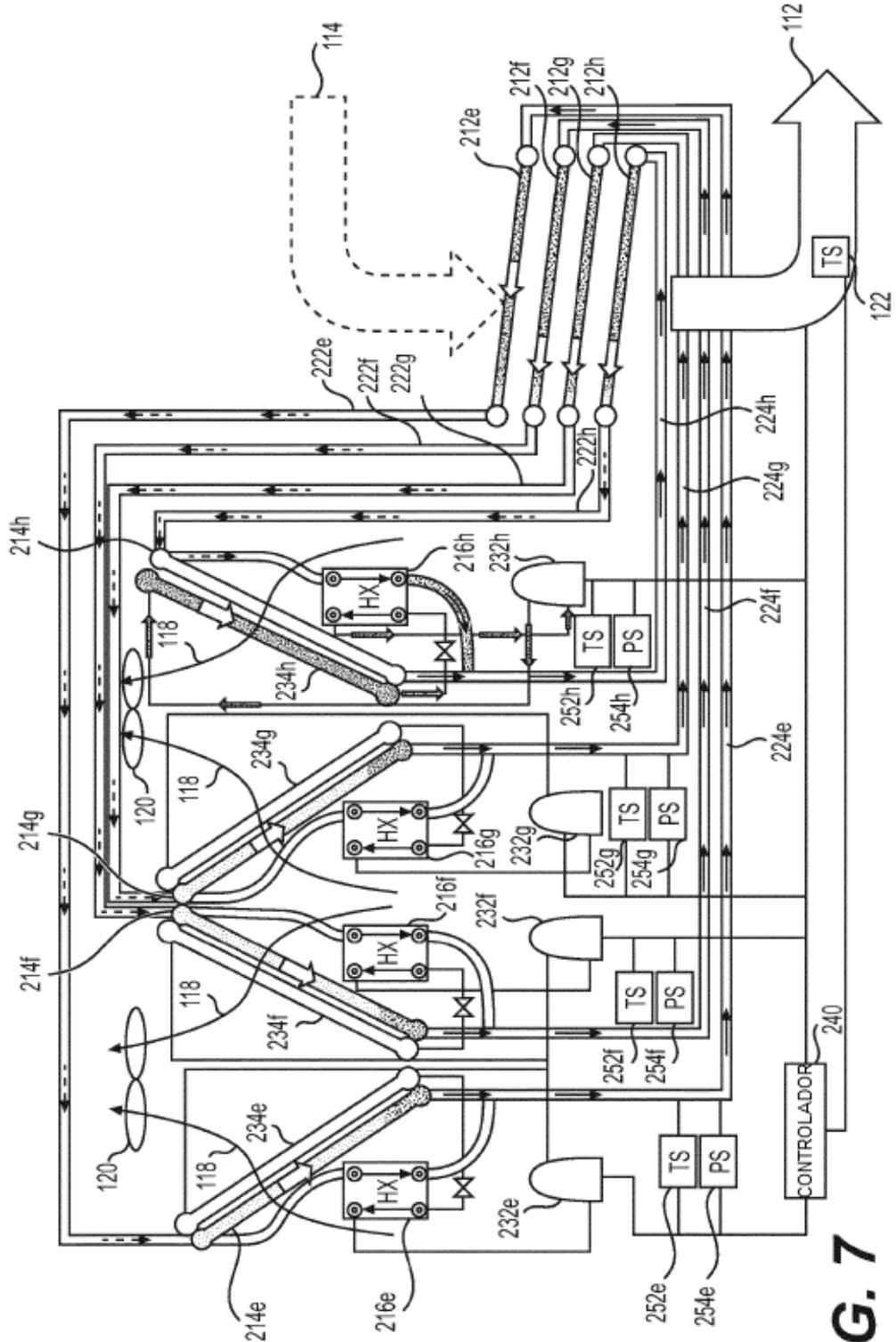


FIG. 7

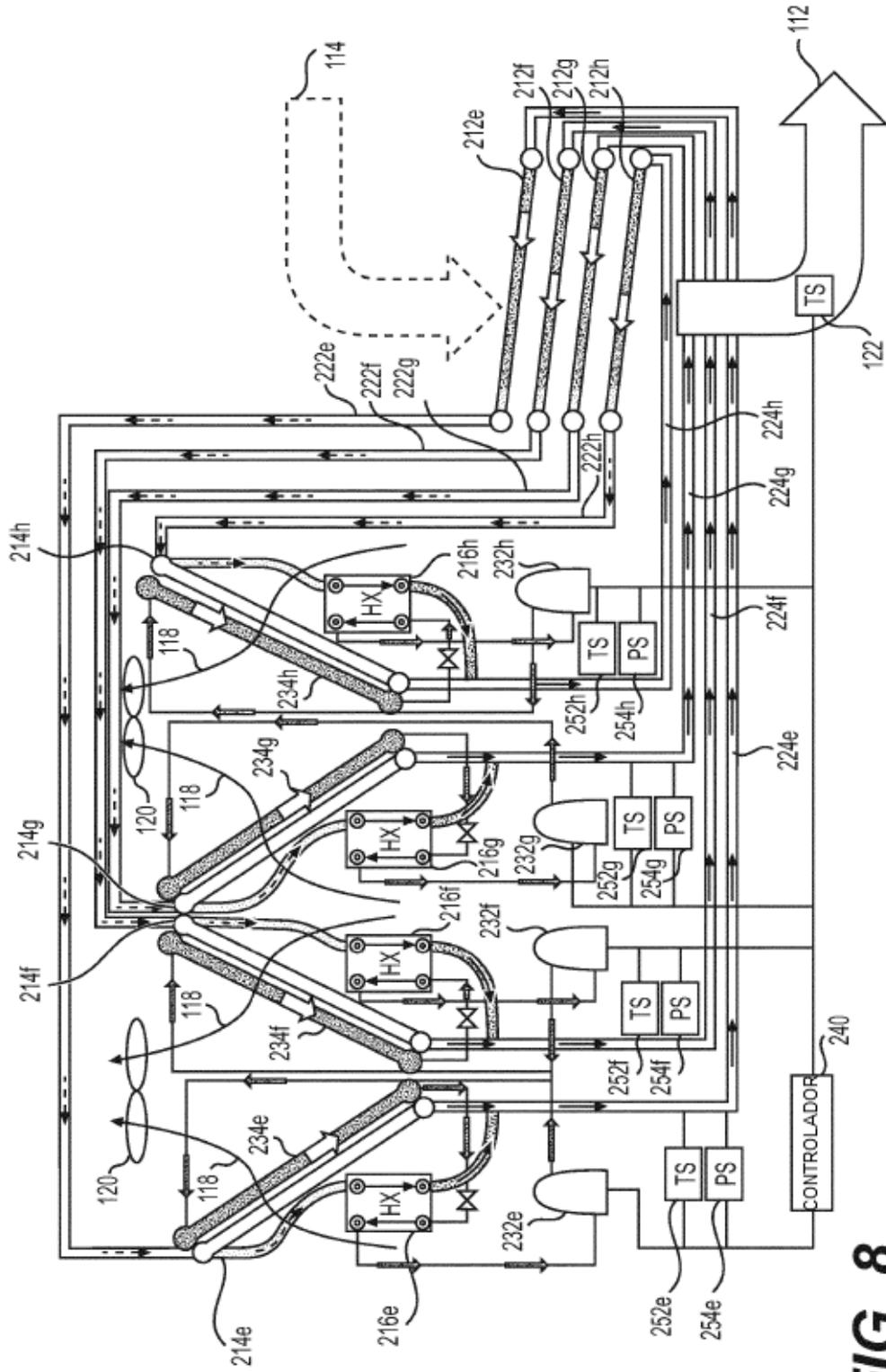


FIG. 8

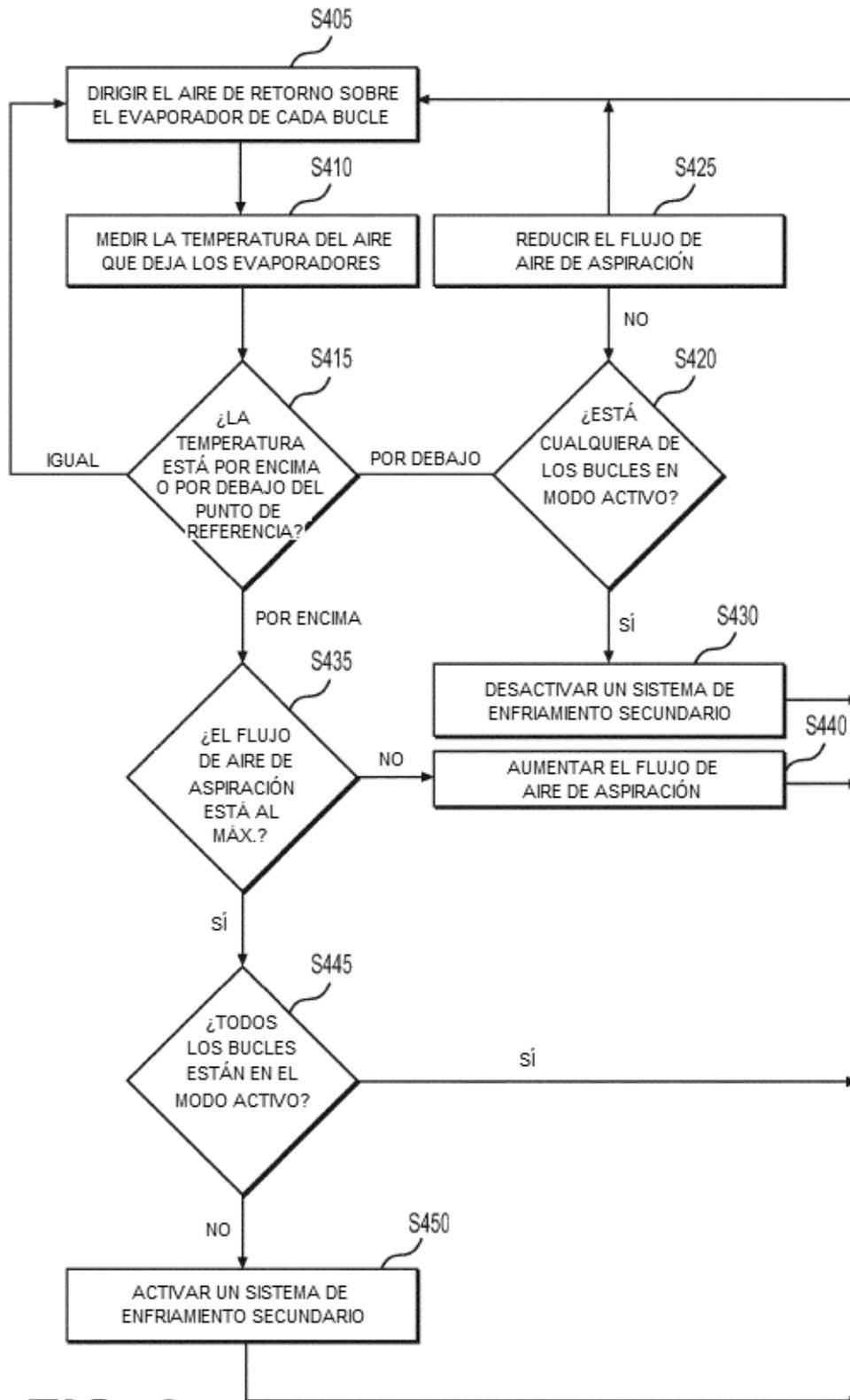


FIG. 9

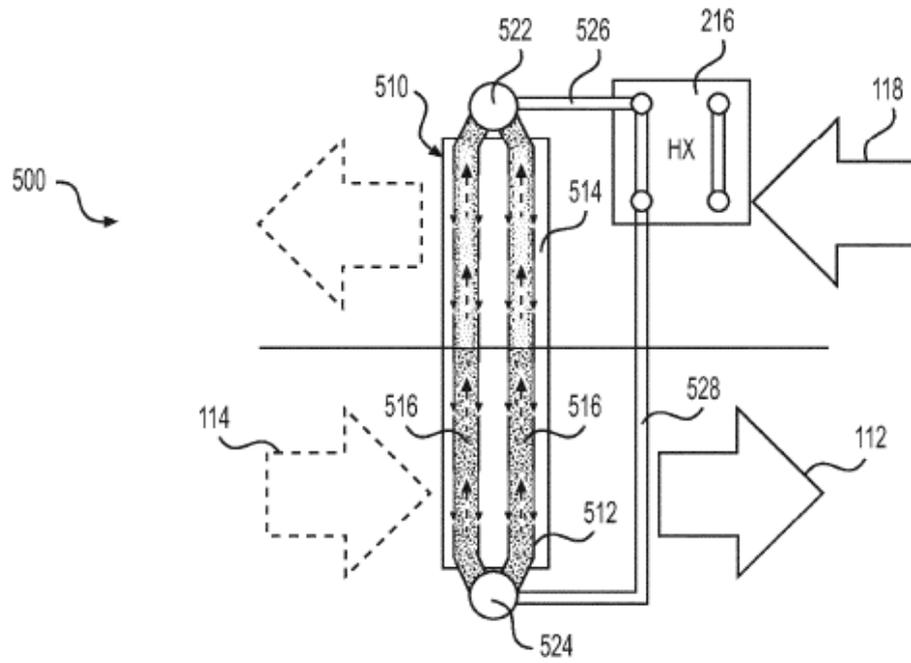


FIG. 10

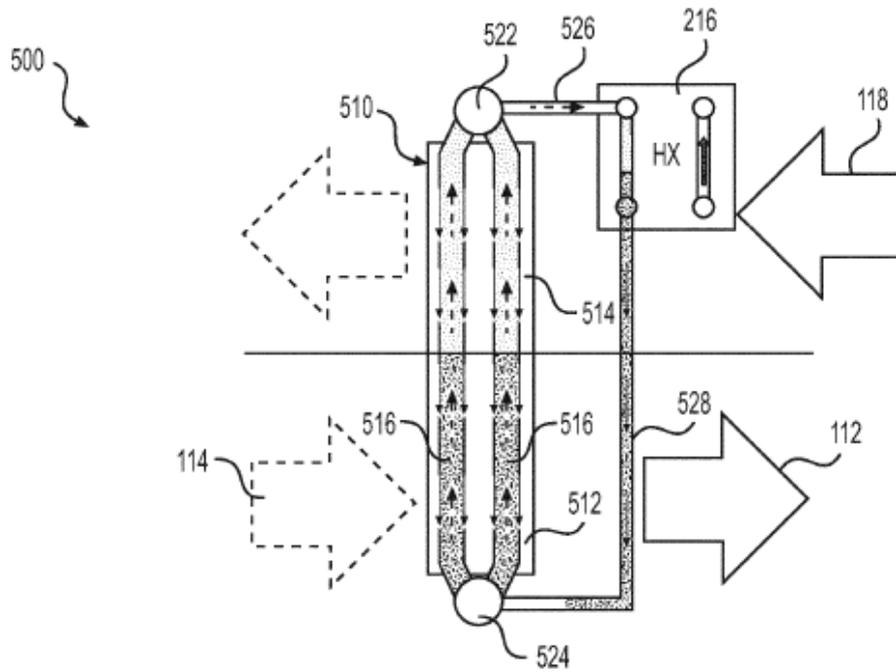


FIG. 11

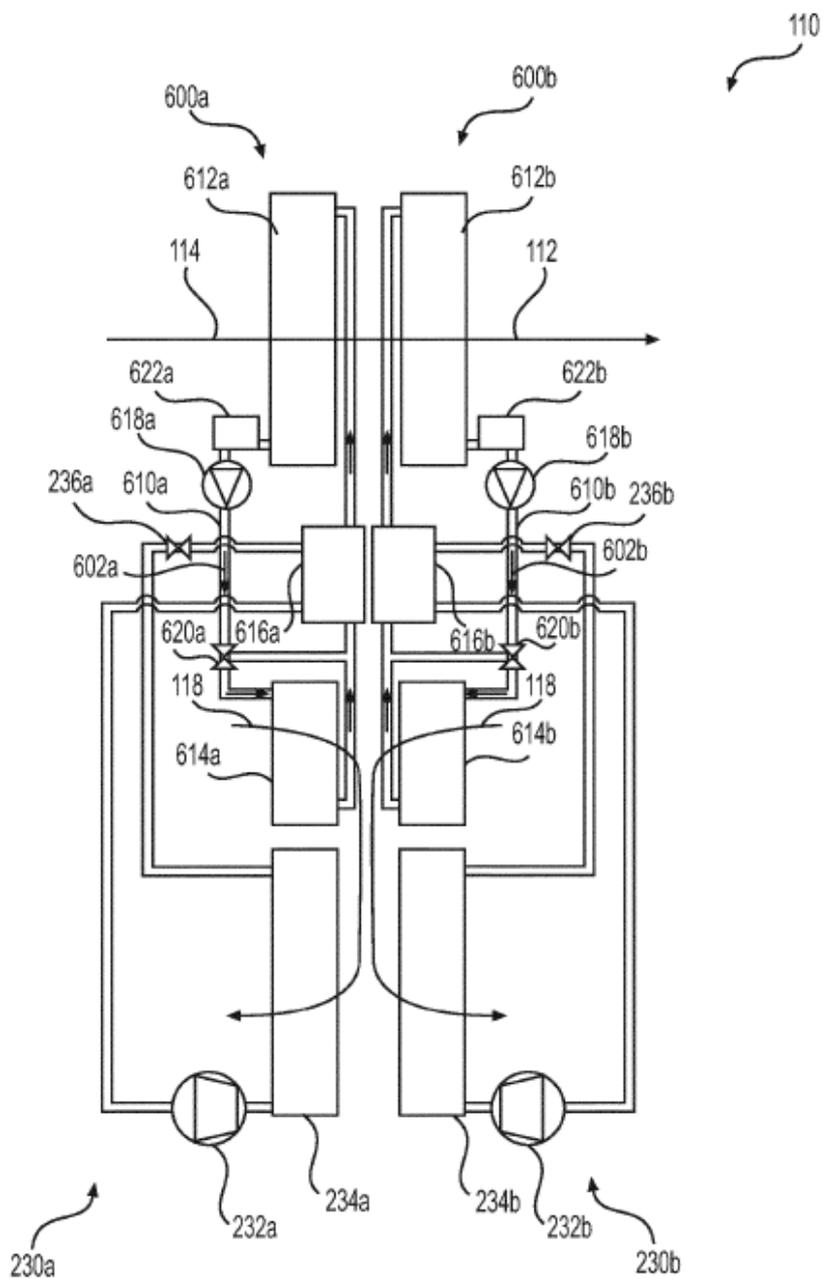


FIG. 16

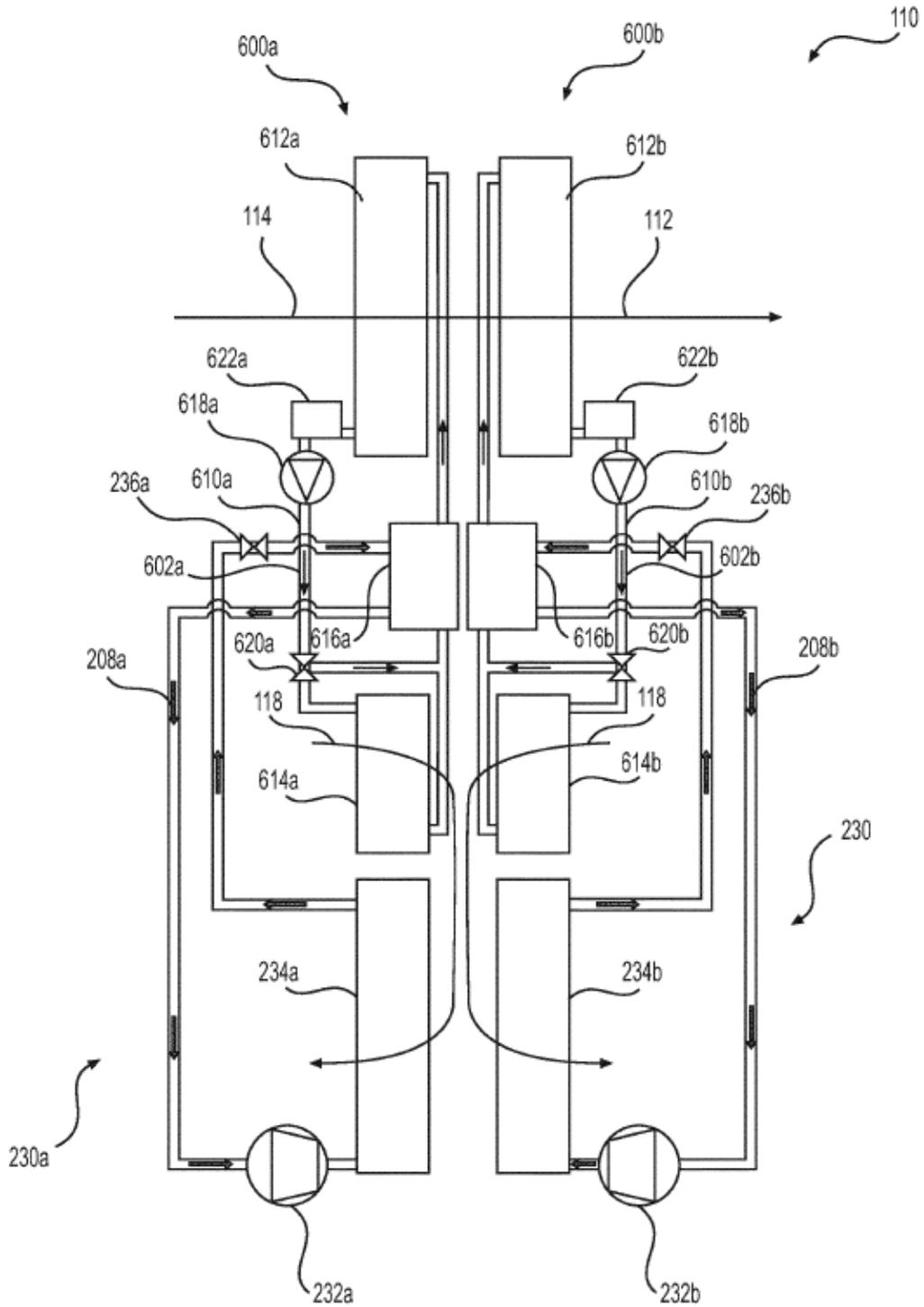


FIG. 17