SISTEMA DE REFRIGERACIÓN ACTIVO/PASIVO

Campo de la invención

[0001] Esta invención se refiere a sistemas de refrigeración y a sistemas y métodos para controlarlos. En particular, esta invención se refiere a un sistema de refrigeración que tiene modos tanto activo como pasivo. Una aplicación especialmente adecuada son, por ejemplo, los sistemas de refrigeración de centros de datos.

Antecedentes de la invención

[0002] Los centros de datos suelen requerir grandes cantidades de energía para funcionar. Los servidores de estos centros de datos generan una gran cantidad de calor y requieren refrigeración. Para reducir el uso de energía de los centros de datos, se desean sistemas de refrigeración más eficientes.

[0003] Los tubos de calor y los termosifones son dispositivos que transfieren energía desde una sección del evaporador de mayor temperatura a una sección del condensador de menor temperatura mediante la evaporación y condensación de un volumen de refrigerante cerrado. La transferencia del refrigerante desde la sección del condensador a la sección del evaporador se realiza por gravedad o fuerza capilar. Los tubos de calor se han utilizado en la refrigeración de centros de datos como economizadores indirectos. En estas instalaciones, por ejemplo, el aire caliente de un centro de datos se recircula a través de la sección del evaporador de un tubo de calor donde el calor del centro de datos vaporiza el refrigerante encerrado, lo que enfría el aire del centro de datos. Se sopla aire ambiente más frío sobre la sección del condensador del tubo de calor donde se condensa el vapor del refrigerante y se expulsa el calor del centro de datos. En algunas aplicaciones, el aire ambiente primero se enfría adiabáticamente con un enfriador evaporativo antes de su paso a través de la sección del condensador del tubo de calor para proporcionar un disipador de calor de temperatura más baja. En otra configuración, la sección de condensador del tubo de calor se puede rociar con agua al mismo tiempo que el aire ambiente pasa a través de su superficie, lo que proporciona una temperatura del disipador de calor cercana a la temperatura ambiente de bulbo húmedo.

[0004] En estas implementaciones, los tubos de calor y los termosifones están limitados por las condiciones de temperatura ambiente y pueden no proporcionar suficiente rechazo de calor cuando las temperaturas ambiente son altas. Una de esas soluciones a esta limitación es un sistema de refrigerante bombeado que incorpora un sistema de refrigeración mecánico, como

un sistema de refrigeración de expansión directa (DX) (un modo activo), con un modo casi pasivo que funciona de manera similar a un termosifón. Estos sistemas incluyen una bomba para mover refrigerante líquido desde el condensador al evaporador. Al utilizar una bomba, el flujo de refrigerante se puede controlar independientemente de las reducciones de presión del evaporador y del condensador y de los efectos de la gravedad. Este enfoque es casi pasivo porque solo se necesita una pequeña cantidad de energía para que la bomba transfiera una cantidad significativa de energía térmica. En los sistemas de refrigerante bombeado, la bomba se puede apagar y, al operar las válvulas, se pueden integrar compresores y válvulas de expansión en el flujo de refrigerante del sistema para permitir que el sistema actúe como un sistema de refrigeración de expansión directa.

[0005] Las limitaciones del diseño del sistema en los sistemas de expansión directa generalmente requieren reducciones de presión modestas en la sección del evaporador y del condensador del sistema para proporcionar un flujo uniforme de refrigerante a través de los múltiples circuitos paralelos del evaporador y del condensador del sistema. Es debido a estas reducciones de presión que el sistema requiere una bomba para hacer circular el fluido refrigerante cuando funciona en modo casi pasivo. Como el circuito de refrigerante incluye un sistema de compresor, el volumen de refrigerante también debe incluir aceite para lubricación. Existen varias restricciones operativas y de diseño, como las mejores prácticas para la velocidad del refrigerante (la llamada «gestión del aceite») para los sistemas de refrigerante bombeados que garantizan que el aceite no quede atrapado en las distintas longitudes de tubería del sistema y regrese de manera confiable al compresor, donde se necesita. Estas limitaciones de gestión de aceite se vuelven problemáticas cuando se opera en el bombeado (modo casi pasivo) porque las vías de flujo y los caudales para el modo de bombo pueden no coincidir con las reglas requeridas para el modo DX. El volumen de refrigerante para el funcionamiento adecuado dentro del sistema también puede ser bastante diferente durante el modo de bombeo y el modo DX debido a los diferentes niveles de sobrecalentamiento y subenfriamiento disponibles y a los niveles de inundación de la bobina, por ejemplo.

[0006] Por lo tanto, se desean sistemas de refrigeración con mayores reducciones en el uso de energía, al igual que sistemas de refrigeración que no requieran una gestión del aceite en modo pasivo o casi pasivo.

Compendio de la invención

[0007] En un aspecto, la presente invención se refiere a un sistema de refrigeración que incluye un evaporador que contiene un medio de refrigeración primario, un condensador pasivo y un intercambiador de calor. El evaporador está configurado para recibir un fluido de proceso y, al recibir el fluido de proceso, cambiar la fase del medio de refrigeración primario de líquido a gas. El condensador pasivo tiene una superficie exterior y está acoplado fluidamente al evaporador. El condensador pasivo está configurado para tener una corriente de aire dirigida sobre su superficie exterior. Cuando la corriente de aire se dirige sobre la superficie exterior del condensador pasivo, el condensador pasivo se configura (i) para recibir el medio de refrigeración primario en la fase gaseosa desde el evaporador, (ii) para transferir calor desde el medio de refrigeración primario, (iii) para cambiar la fase del medio de refrigeración primario de gas a líquido, y (iv) para suministrar el medio de refrigeración primario en la fase líquida al evaporador. El intercambiador de calor está acoplado de manera fluida al evaporador y configurado para tener un medio de refrigeración secundario proporcionado selectivamente a este. Cuando el medio de refrigeración secundario se proporciona al intercambiador de calor, el medio de refrigeración primario en la fase gaseosa pasa de ser recibido por el condensador pasivo al intercambiador de calor sin operar ninguna válvula ubicada entre el evaporador y el condensador pasivo y entre el evaporador y el intercambiador de calor. El intercambiador de calor se configura (i) para recibir el medio de refrigeración primario en la fase gaseosa desde el evaporador, (ii) para transferir calor desde el medio de refrigeración primario, (iii) para cambiar la fase del medio de refrigeración primario de gas a líquido, y (iv) para suministrar el medio de refrigeración primario en la fase líquida al evaporador. Cuando el intercambiador de calor no acepta el medio de refrigeración secundario, el intercambiador de calor no suministra el medio de refrigeración primario en fase líquida al evaporador. El medio de refrigeración primario circula entre el evaporador y el condensador pasivo y entre el evaporador y el intercambiador de calor por circulación natural y gravedad sin una bomba en la trayectoria de flujo del medio de refrigeración primario entre el intercambiador de calor y el evaporador y entre el condensador pasivo y el evaporador para hacer circular el medio de refrigeración primario.

[0008] En otro aspecto, la invención se refiere a un método para enfriar un fluido de proceso. El método incluye dirigir un fluido de proceso a través de un evaporador para transferir calor del fluido de proceso a un medio de refrigeración primario contenido en el evaporador y cambiar el medio de refrigeración primario de una fase líquida a una fase gaseosa y utilizar selectivamente

uno de un intercambiador de calor y un condensador pasivo para cambiar el medio de refrigeración primario de la fase gaseosa a la fase líquida. Cada uno del intercambiador de calor y el condensador pasivo se acopla al evaporador para recibir el medio de refrigeración primario en la fase gaseosa desde el evaporador y suministrar el medio de refrigeración primario en la fase líquida al evaporador. El método también incluye hacer circular el medio de refrigeración primario entre el evaporador y al menos uno del intercambiador de calor y el condensador pasivo mediante circulación natural. El del intercambiador de calor y el condensador pasivo se selecciona sin accionar ninguna válvula en el acoplamiento entre el evaporador y el condensador pasivo y en el acoplamiento entre el evaporador y el intercambiador de calor.

[0009] Estos y otros aspectos, objetos, características y ventajas serán evidentes a partir de la descripción detallada siguiente de las modalidades ilustrativas de estos, los que se deben cuando se tomen en conjunto con las figuras adjuntas.

Breve descripción de las figuras

[0010] La Figura 1 es una vista en alzado de un centro de datos que utiliza un sistema de refrigeración según una modalidad preferida de la invención.

[0011] La Figura 2 es una vista de corte transversal tomada del sistema de refrigeración que se muestra en la Figura 1 a lo largo de la línea 2-2 en la Figura 1.

[0012] La Figura 3 es un esquema de un conjunto de refrigeración de corriente de aire según una modalidad preferida de la invención que funciona en modo pasivo.

[0013] La Figura 4 es un esquema del conjunto de refrigeración de corriente de aire mostrado en la Figura 3 que funciona en modo activo.

[0014] En la Figura 5A se muestra una bobina de enfriamiento de microcanales que se puede usar en el conjunto de refrigeración de corriente de aire que se muestra en la Figura 3. La Figura 5B es una vista de corte transversal de un microcanal de la bobina de refrigeración de microcanales que se muestra en la Figura 5A tomada a lo largo de la línea 5B-5B en Figura 5A.

[0015] La Figura 6 es un esquema de un sistema de refrigeración que tiene múltiples bucles del conjunto de refrigeración de corriente de aire mostrado en la Figura 3 que funciona en un modo pasivo.

[0016] La Figura 7 es un esquema del sistema de refrigeración mostrado en la Figura 6 con uno de los bucles del conjunto de refrigeración de corriente de aire que funciona en un modo activo.

[0017] La Figura 8 es un esquema del sistema de refrigeración mostrado en la Figura 6 con todos los bucles del conjunto de refrigeración de corriente de aire que funciona en un modo activo.

[0018] La Figura 9 es un diagrama de flujo que representa un método de funcionamiento del sistema de refrigeración mostrado en la Figura 4.

[0019] La Figura 10 es un esquema de una unidad de tratamiento de aire de un conjunto de refrigeración según una modalidad preferida de la invención.

[0020] La Figura 11 es un esquema de una unidad condensadora utilizada con la unidad de tratamiento de aire mostrada en la Figura 10.

[0021] La Figura 12 es un esquema de un conjunto de refrigeración según una modalidad preferida de la invención.

[0022] Las Figuras 13A y 13B son ejemplos de bastidores de servidores refrigerados mediante un sistema de que funciona por inmersión utilizado junto con el conjunto de que funciona que se muestra en la Figura 12. En la Figura 13A se muestra un sistema de refrigeración por inmersión monofásico y la Figura 13B muestra un sistema de refrigeración por inmersión de dos fases.

[0023] La Figura 14 es un esquema de un conjunto de refrigeración de corriente de aire según una segunda modalidad preferida de la invención que funciona en modo pasivo.

[0024] La Figura 15 es un esquema del conjunto de refrigeración de corriente de aire mostrado en la Figura 14 que funciona en modo activo.

[0025] La Figura 16 es un esquema de una configuración alternativa del conjunto de refrigeración de corriente de aire de la segunda modalidad que funciona en un modo pasivo.

[0026] La Figura 17 es un esquema del conjunto de refrigeración de corriente de aire mostrado en la Figura 16 que funciona en modo activo.

[0027] La Figura 18 es un esquema de otra configuración del conjunto de refrigeración de corriente de aire que se muestra en la Figura 16.

[0028] La Figura 19 es un esquema de un sistema de refrigeración que tiene un bucle del conjunto de refrigeración de corriente de aire mostrado en las Figuras 14 y 15 y un bucle del conjunto de refrigeración de corriente de aire mostrado en la Figura 18.

[0029] La Figura 20 es un esquema de otro sistema de refrigeración que funciona en un modo casi pasivo.

[0030] La Figura 21 es un esquema del sistema de refrigeración mostrado en la Figura 20 que funciona en un modo activo.

Descripción detallada de las modalidades preferidas

[0031] En la Figura 1 se muestra un centro de datos 100 que tiene un sistema de refrigeración 110 según una modalidad preferida de la invención. La Figura 2 es una vista de corte transversal del sistema de refrigeración 110 tomada a lo largo de la línea 2-2 en la Figura 1. Aunque el sistema de refrigeración 110 se muestra y se describe en referencia a un centro de datos 100, el sistema de refrigeración 110 no limitado a esta aplicación y puede usarse en otras aplicaciones de refrigeración por aire adecuadas. Los componentes electrónicos tales como servidores pueden montarse en bastidores 102, y en un centro de datos 100, estos bastidores 102 pueden disponerse en filas formando pasillos 104, 106 entre ellos. Un pasillo 104 es un pasillo frío y otro pasillo 106 es un pasillo caliente. El aire de suministro frío 112 procedente del sistema de refrigeración se dirige al pasillo frío 104. El aire de suministro 112 pasa luego desde el pasillo frío 104 a través de los bastidores y al 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 que el aire caliente pase al pasillo caliente 106. Este aire luego se dirige de regreso al sistema de refrigeración 110 como aire de retorno caliente 114. Los ventiladores de aire de suministro 116 se usan para extraer el aire de retorno 114 del centro de datos 100, hacer pasar el aire de retorno 114 a través del sistema de refrigeración 110, donde se enfría, y luego devolver el aire de retorno 114 ahora enfriado al centro de datos 100 como aire de suministro 112. La parte del sistema de refrigeración 110 a través de la cual el aire de retorno 114 fluye, se enfría y regresa como aire de suministro 112 se denomina en el presente documento controlador de aire interior 132.

[0032] El sistema de refrigeración 110 utiliza al menos un conjunto de refrigeración de corriente de aire para enfriar el aire de retorno 114. Los conjuntos de refrigeración de corriente de aire descritos en las siguientes modalidades también pueden denominarse bucle o bucle de conjunto de refrigeración de corriente de aire. En las Figuras 3 y 4 se muestra un conjunto de refrigeración de corriente de aire 200 según una primera modalidad de la invención. El conjunto de refrigeración de corriente de aire 200 tiene dos modos, un modo pasivo y un modo activo. El modo pasivo también puede denominarse modo de economización. La Figura 3 es un esquema del conjunto de refrigeración de corriente de aire 200 en el modo pasivo, y la Figura 4 es un

conjunto de refrigeración de corriente de aire esquemático 200 en el modo activo. El conjunto de refrigeración de corriente de aire 200 incorpora la eficiencia de un termosifón con la capacidad de proporcionar refrigeración activa cuando los disipadores de refrigeración libre ambientales disponibles no están a una temperatura lo suficientemente baja para proporcionar suficiente rechazo de calor. Esto se logra al incluir dos condensadores separados 214, 216 en el bucle 200, uno de los cuales (condensador 214) se usa en el modo pasivo y el otro (condensador 216) se usa en el modo activo.

[0033] El conjunto de refrigeración de corriente de aire 200 hace circular un medio de refrigeración primario 202 a través de un bucle de refrigerante primario 210. El medio de refrigeración primario 202 circula a través del bucle de refrigerante primario 210 mediante circulación natural y gravedad sin necesidad de bombas ni compresores. El medio de refrigeración primario 202 puede ser cualquier refrigerante adecuado que cambie de fase de líquido a gas. Como se explicará más adelante, el bucle de 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 refrigeración de expansión directa (DX), por ejemplo, y los refrigerantes adecuados incluyen refrigerantes naturales como el agua.

[0034] El bucle de refrigerante primario 210 incluye un evaporador 212, y el medio de refrigeración primario 202 está contenido dentro del evaporador 212. En esta modalidad, el evaporador 212 es una bobina y preferiblemente una bobina inundada de un paso. Puede usarse cualquier bobina adecuada, lo que incluye, por ejemplo, bobinas de microcanales, tales como las que se describen más adelante, o bobinas de tubos con aletas. Tanto en el modo pasivo como en el modo activo, el aire de retorno 114 es dirigido sobre la superficie exterior del evaporador 212 por los ventiladores de aire de suministro 116. El aire de retorno caliente 114 evapora el medio de refrigeración primario 202 en el evaporador 212 a medida que pasa sobre la superficie exterior del evaporador 212. El cambio de fase del medio de refrigeración primario 202 de una fase líquida 204 a una fase gaseosa (o vapor) 206 enfría el aire de retorno 114, lo que permite que regrese al centro de datos 100 como aire de suministro frío 112. El vapor 206 asciende entonces a través de un tubo de vapor 222 hasta uno de los dos condensadores 214, 216.

[0035] En el modo pasivo, mostrado en la Figura 3, el vapor 206 viaja a un condensador pasivo

214 en el bucle de refrigerante primario 210. Al igual que con el evaporador 212, el condensador pasivo 214 de esta modalidad es una bobina, preferiblemente una bobina de una sola pasada, y se puede usar cualquier bobina adecuada que incluye, por ejemplo, bobinas de microcanales, tales como las que se describen más adelante, o bobinas de tubo (tanto con aletas como sin aletas). El aire depurador 118 es aspirado a través de una superficie exterior del condensador pasivo 214 mediante ventiladores depuradores 120 (véanse las Figuras 1 y 2). En esta modalidad, el aire depurador 118 es aire ambiente extraído del entorno exterior que rodea el sistema de refrigeración 110. A medida que el aire depurador 118 pasa sobre el condensador pasivo 214, el calor del medio de refrigeración primario 202 contenido en el condensador pasivo 214 se libera al aire depurador 118, lo que condensa el vapor 206 en un líquido 204. Luego, la gravedad hace que el medio de refrigeración primario 202, ahora en la fase líquida 204, fluya hacia abajo por una línea de refrigerante líquido 224 y regrese al evaporador 212. El aire depurador 118 es expulsado al exterior por los ventiladores depuradores 120.

[0036] Cuando las condiciones del aire 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 refrigeración de corriente de aire 200 puede operarse en un modo activo mostrado en la Figura 4. En el modo activo, el vapor 206 del medio de refrigeración primario 202 se condensa en un condensador activo 216. En esta modalidad, el condensador activo 216 también puede denominarse aquí intercambiador de calor (HX). En el condensador activo 216, el calor se transfiere desde el medio de refrigeración primario 202 a un medio de refrigeración secundario 208 de un sistema de refrigeración secundario 230. El medio de refrigeración secundario 208 puede ser cualquier medio refrigerante adecuado, incluyendo, por ejemplo, agua enfriada (o enfriada) o un refrigerante de cambio de vapor usado en un sistema de refrigeración de expansión directa. El condensador activo 216 puede ser cualquier intercambiador de calor adecuado que incluya, por ejemplo, un intercambiador de calor de placas, un intercambiador de calor coaxial o un intercambiador de calor de carcasa y tubos. A medida que el calor del medio de refrigeración primario 202 se rechaza al medio de refrigeración secundario 208, el medio de refrigeración primario 202 se condensa desde un vapor 206 a un líquido 204. Como con el condensador pasivo 214, la gravedad hace luego que el medio de refrigeración primario 202, ahora en fase líquida 204, fluya hacia abajo por una línea de refrigerante líquido 224 y regrese al evaporador 212.

[0037] En esta modalidad, el sistema de refrigeración secundario 230 es un sistema de refrigeración de expansión directa (DX) 230 que usa el ciclo de refrigeración común, y el medio de refrigeración secundario 208 es cualquier refrigerante adecuado usado en tales sistemas. El sistema de refrigeración 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 modalidad, el condensador 234 del sistema de refrigeración de expansión directa 230 también puede enfriarse mediante el aire depurador 118 (véanse las Figuras 1 y 2). Luego, el refrigerante 208 pasa a través de una válvula de expansión 236, con reducción de su presión y temperatura, antes de fluir hacia el condensador activo 216.

[0038] Incluso en el modo activo, el conjunto de refrigeración de corriente de aire 200 funciona sin necesidad de bombas, aceites o compresores en el bucle de refrigerante primario 210. El conjunto de refrigeración de corriente de aire 200 incluso funciona sin válvulas para cambiar entre modos. En cambio, el vapor 206 del medio de refrigeración primario 202 viaja naturalmente al más frío de los dos condensadores 214, 216 para condensarse. Así, al activar el sistema de refrigeración secundario 230 para enfriar el condensador activo 216, el conjunto de refrigeración de corriente de aire 200 cambia automáticamente del modo pasivo al modo activo (asumiendo que la temperatura en el condensador activo 216 es menor que en el condensador pasivo 214) y al desactivar el sistema de refrigeración secundario 230, el bucle 200 busca de nuevo el modo pasivo. Como se describe a continuación, se puede usar un controlador 240 para activar y desactivar el sistema de refrigeración secundario 230. Otra ventaja del conjunto de refrigeración de corriente de aire 200 atribuible a la falta de piezas móviles es que no se requiere aceite, lo que permite que el medio de refrigeración primario 202 fluya fuera de las velocidades del refrigerante comúnmente requeridas para arrastrar y mantener el aceite circulando dentro del bucle primario 210.

[0039] Aunque los condensadores 214, 216 del conjunto de refrigeración de corriente de aire 200 se muestran en paralelo en las Figuras 3 y 4, los condensadores 214, 216 también pueden disponerse en serie de modo que la salida de uno de los condensadores activos o pasivos 214, 216 esté corriente arriba del otro condensador 214, 216 y alimente su entrada. El bucle de refrigerante primario 210 también puede incluir trampas 218 y/o válvulas de retención 220 después de cada uno de los condensadores 214, 216. Las trampas 218 y las válvulas de retención 220 evitan el flujo inverso del medio de refrigeración primario 202 a través del

condensador 214, 216 que no está funcionando actualmente en un modo determinado. Se pueden usar otras válvulas o métodos adecuados para evitar el flujo inverso. Dichas válvulas o trampas son opcionales, ya que incluir las trampas 218 y las válvulas de retención 220 puede aumentar la reducción de presión del sistema y así inhibir el flujo de circulación natural del medio de refrigeración primario 202 en el bucle primario 210.

[0040] Las líneas de ventilación 226 pueden ubicarse después de las trampas 218 de cada condensador 214, 216 y conectarse a la entrada del condensador respectivo 214, 216. Estas líneas de ventilación 226 permiten que cualquier gas arrastrado en el líquido 204 del medio de refrigeración primario 202 escape al lado de vapor del bucle y así ayude al líquido a fluir por gravedad hacia el evaporador 212.

[0041] Las burbujas que se forman durante la evaporación del medio de refrigeración primario 202 en el evaporador 212 pueden arrastrar líquido a medida que ascienden en los canales del evaporador 212. Se puede ubicar una línea de retorno de líquido arrastrado 228 en la salida del evaporador 212 y conectarse al cabezal de entrada del evaporador 212, lo que permite que este líquido arrastrado regrese al cabezal de entrada del evaporador sin tener que fluir en contra de la vía de flujo de ebullición en el evaporador 212.

[0042] Debido a que el conjunto de refrigeración de corriente de aire 200 de esta modalidad 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 refrigeración primario condensado 202 (líquido 204) al evaporador 212. Es deseable mantener el medio de refrigeración primario 202 en la fase líquida 204 a lo largo de toda la longitud del evaporador 212. Por lo tanto, la altura de los condensadores 214, 216 por encima del evaporador es preferiblemente lo suficientemente alta como para proporcionar suficiente altura de presión del medio de refrigeración primario 202 en la fase líquida 204 para superar la reducción de presión del evaporador 212. Aunque el evaporador 212 puede estar nivelado con los cabezales de líquido y vapor del evaporador 212 que se encuentran en el mismo plano horizontal, el evaporador 212 también puede estar preferiblemente inclinado en un ángulo α con respecto a la horizontal con el cabezal de vapor del evaporador 212 más alto que el cabezal de líquido para facilitar la expulsión de vapores. El condensador pasivo 214 también puede estar inclinado preferiblemente en un ángulo β con respecto a la horizontal con el cabezal de líquido del condensador pasivo 214 más bajo que el cabezal de vapor para facilitar

el flujo de condensado por gravedad. Los ángulos de inclinación (ángulos β) del condensador pasivo son preferiblemente suficientes para proporcionar una vía de drenaje clara y eliminar el reflujo del medio de refrigeración primario 202 en el condensador pasivo 214.

[0043] Como se analizó anteriormente, el evaporador 212 y el condensador pasivo 214 pueden ser bobinas de microcanales. En la Figura 5A se muestra una bobina de microcanal 300 que puede usarse como evaporador 212 y condensador pasivo 214 de esta modalidad. El uso de una bobina de microcanal 300 tiene una serie de ventajas, las que incluyen, por ejemplo, que la gran superficie interna de la bobina de microcanal 300 ayuda en la transferencia de calor. Además, una bobina de microcanal 300 reduce en gran medida el volumen del medio de refrigeración primario 202 necesario en el bucle de refrigerante primario 210 en comparación con, por ejemplo, bobinas de tubo con aletas. Esta reducción en el volumen del medio de refrigeración primario 202 es beneficiosa por varias razones que incluyen costos 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 212, el flujo del medio de refrigeración primario 202 es desde el lado del líquido 302 al lado de vapor 304 (de izquierda a derecha), y cuando la bobina de microcanal 300 ese usa como condensador pasivo 214, el flujo es opuesto (de derecha a izquierda).

[0044] La bobina de microcanal 300 tiene un cabezal de líquido 310 y un cabezal 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 microcanales 330 tienen una superficie exterior 332 e incluyen una pluralidad de microcanales 334, 336. Se dirige una corriente de aire sobre la superficie exterior 332 de las extrusiones de microcanales 330 en la dirección A, como se muestra en la Figura 5B (dentro y fuera de la página en la Figura 5A). El medio de refrigeración primario 202 fluye a través de los microcanales 334, 336. Cada una de la pluralidad de extrusiones de microcanales 330 está soldada mecánicamente a aletas de aluminio 340 colocadas entre las extrusiones de microcanales 330 para promover la transferencia de calor.

[0045] El cabezal de líquido 310 incluye una conexión de líquido 312 que conecta el cabezal de líquido 310 a la línea de refrigerante líquido 224. Asimismo, el cabezal de vapor 320 también incluye al menos una conexión de vapor 322 que conecta el cabezal de vapor 320 con el tubo

de vapor 222. Con una bobina de microcanal usada como evaporador 212, puede ser beneficioso tener múltiples conexiones de vapor 322. En esta modalidad, se muestran tres conexiones de vapor 322. El uso de múltiples conexiones de vapor 322 reduce la contrapresión del vapor en el cabezal de vapor 320 y promueve el flujo de circulación natural en el bucle de 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 pasivos y activos 214, 216, lo que da como resultado una pluralidad de tubos 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, lo que disminuye la contrapresión del vapor y promueve el flujo de circulación natural en el bucle de refrigerante primario 210. Por ejemplo, cuando se usa R410a como medio de refrigeración primario 202, las tuberías de vapor 222 pueden modificarse para permitir que la velocidad del medio de refrigeración primario 202 en la fase de vapor 206 sea preferiblemente inferior a 1000 fpm y más preferiblemente inferior a 600 fpm. . Estas características de diseño del cabezal no se limitan a las bobinas de microcanales, sino que también pueden aplicarse a otros evaporadores y condensadores, incluidos los serpentines de tubos con aletas.

[0046] Como se analizó anteriormente, el sistema de refrigeración 110 de esta invención puede incluir una pluralidad de bucles 200 de conjunto de refrigeración de corriente de aire. Por ejemplo, el sistema de refrigeración 110 mostrado en las Figuras 1 y 2 tiene cuatro bucles de ensamblaje de refrigeración de corriente de aire 200. En la siguiente discusión sobre bucles múltiples, se utilizan los mismos números de referencia que se discutieron 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 200a del conjunto de refrigeración de corriente de aire, la letra b se añade a los componentes de un segundo bucle 200b del conjunto de refrigeración de corriente de aire, etc.

[0047] Un par de evaporadores 212a, 212b está dispuesto en paralelo con otro par de evaporadores 212c, 212d con respecto a la corriente de 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. Asimismo, 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 correspondientes 214a, 214b, 214c, 214d están dispuestos de manera similar en pares (primer par 214a, 214b y segundo par 214c, 214d), y el primer par está en paralelo con el segundo par y cada condensador dentro del par se dispone en serie. En el primer par, el aire depurador 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 212d del par.

[0048] En una configuración del sistema de refrigeración 110 que se muestra en las Figuras 1 y 2, el sistema de refrigeración 110 puede estar encerrado con una huella de 32 pies de largo (Figura 1) y 10 pies, 2 pulgadas de ancho (Figura 2) con una altura total (lo que excluye los ventiladores recolectores 120) de 12 pies y 8 pulgadas. En este ejemplo, hay 88 ft^2 de área de la bobina (evaporador 212) disponibles para el proceso de refrigeración. A una velocidad nominal de 500 pies por minuto a través de los evaporadores 212, es posible un flujo de diseño de 44 000 scfm y 348 kW, lo que da como resultado una capacidad de vatios perimetral de 107 kW/m. La longitud de la bobina del evaporador 212 se puede extender fácilmente para aumentar aun más el flujo de aire y, por lo tanto, la capacidad del sistema de enfriamiento 110 sin aumentar su ancho, haciendo posible capacidades de vatios perimetrales aun mayores. El sistema de refrigeración 110 se puede dividir en dos secciones, un controlador de aire interior 132 y una unidad de condensación 134. Como se muestra en las Figuras 1 y 2, los evaporadores 212a, 212b, 212c, 212d y los ventiladores de suministro de aire 116 están ubicados en el controlador de aire interior 132. Los componentes restantes del conjunto de refrigeración de corriente de aire 200, incluido el sistema secundario 230 y los ventiladores de aire de barrido 120, están ubicados en la unidad de condensación 134. En la Figura 1, la unidad de condensación 134 se muestra adyacente al controlador de aire interior 132, pero puede estar en cualquier ubicación adecuada que incluye, por ejemplo, encima del techo del centro de datos 100 (por ejemplo, el edificio que alberga los bastidores 102).

[0049] Se puede utilizar cualquier número de configuraciones adecuadas para múltiples bucles 200 de conjunto de refrigeración de corriente de aire. Por ejemplo, la Figura 6 es un esquema de otra disposición para el sistema de refrigeración 110 que tiene una pluralidad de bucles 200 del conjunto de refrigeración de corriente de aire. En la configuración mostrada en la Figura 6, el sistema de refrigeración 110 tiene cuatro bucles de ensamblaje de refrigeración

de 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 analizó anteriormente los evaporadores 212e, 212f, 212g, 212h también pueden estar dispuestos en paralelo. El aire de retorno se dirige primero sobre el evaporador 212e del primer bucle antes de dirigirse 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, los cuatro condensadores pasivos 214e, 214f, 214g, 214h están dispuestos en paralelo con respecto al aire depurador 118, pero como se analizó anteriormente los condensadores pasivos 214e, 214f, 214g, 214h también pueden estar dispuestos en serie. Cada condensador 234e, 234f, 234g, 234h para el sistema de refrigeración secundario 230 (que en esta modalidad es un sistema de refrigeración de expansión directa) está dispuesto en serie, con respecto al aire depurador 118, con el condensador pasivo 214e, 214f, 214g, 214h del bucle correspondiente.

[0050] En general, la temperatura interna de cada bucle 200 del conjunto de refrigeración de corriente de aire será isotérmica, pero cada uno de los cuatro bucles 200 del conjunto de refrigeración de corriente de aire funcionará a una temperatura y presión diferentes. La temperatura del medio de refrigeración primario 202 en el primer bucle será la más cálida, ya que el aire que entra al 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 se vuelve posteriormente más frío que el del bucle anterior debido al enfriamiento resultante del bucle anterior. Cuando la temperatura del aire ambiente es inferior a la temperatura de cada uno de los bucles 200 del conjunto de refrigeración de corriente de aire, la energía en el medio de refrigeración primario puede transferirse desde el aire de retorno 114 al aire depurador 118 en el modo pasivo con los cuatro bucles funcionando en modo pasivo como se muestra en la Figura 6.

[0051] Cada bucle se puede operar selectivamente en modo pasivo o activo. La Figura 7 muestra el sistema de refrigeración 110 funcionando con el cuarto bucle en modo activo y los otros tres bucles funcionando en modo pasivo, y la Figura 8 muestra los cuatro bucles funcionando en modo activo. Se puede usar un controlador 240 para operar el sistema de refrigeración 110. En esta modalidad, el controlador 240 es un controlador basado en microprocesador que incluye un procesador 242 para realizar diversas funciones que se analizan más adelante y una memoria 244 para almacenar diversos datos. El controlador 240

también puede denominarse CPU. En una modalidad, el control del sistema de refrigeración 110 puede implementarse mediante una serie de instrucciones almacenadas en la memoria 244 y ejecutadas por el procesador 242.

[0052] El controlador 240 está acoplado comunicativamente a un sensor de temperatura (TS) 122. En esta modalidad, el sensor de temperatura 122 se usa para monitorear la temperatura del aire de suministro 112, lo que permite que el sensor de temperatura 122 transmita (y el controlador 240 reciba) la temperatura del aire de suministro 112. También se pueden usar sensores de bucle 250 para medir diversos parámetros de cada bucle de conjunto de refrigeración de corriente de aire 200. Por ejemplo, los sensores de bucle 250 pueden medir la temperatura y la presión del medio de refrigeración 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 ubicados en la línea de refrigerante líquido 224 para monitorear la temperatura y presión de la fase líquida 204 del medio de refrigeración primario 202.

[0053] El controlador 240 también puede estar acoplado comunicativamente a otros componentes del sistema de refrigeración 110 y usarse para controlar también esos componentes. Por ejemplo, los ventiladores de aire de suministro 116 y los ventiladores de aire depurador 120 pueden estar acoplados comunicativamente al controlador 240 y, por lo tanto, el controlador 240 puede usarse para dirigir el aire de retorno 114 y el aire depurador 118 sobre los evaporadores 212e, 212f, 212g. 212h y condensadores 214e, 214f, 214g, 214h, respectivamente, y aumentan o disminuyen el flujo de aire. El controlador 240 también puede estar acoplado comunicativamente al sistema de refrigeración secundario 230e, 230f, 230g, 230h de cada bucle y usarse para encender o apagar (activar o desactivar) el sistema de refrigeración secundario 230e, 230f, 230g, 230h.

[0054] La Figura 9 es un diagrama de flujo en el que se muestra un ejemplo de cómo se puede controlar el sistema de refrigeración 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 del 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. Luego, el controlador 240 compara la temperatura medida del aire de suministro 112 con un punto de ajuste en el paso S415. El punto de ajuste puede proporcionarse al controlador 240

usando cualquier método o dispositivo adecuado. Por ejemplo, el controlador 240 puede estar acoplado 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 ajuste. Si la temperatura del aire de suministro 112 es igual al punto de ajuste (o dentro de un rango operativo adecuado del punto de ajuste), el sistema de control 240 vuelve al paso S405 para continuar monitoreando la temperatura del aire de suministro 112.

[0055] Si la temperatura del aire de suministro 112 es demasiado fría (por debajo de la temperatura del punto de ajuste o rango operativo), el controlador 240 verifica, en el paso S420, si alguno de los bucles 200 está funcionando 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 refrigeración secundario 230 para ese bucle. El controlador 240 puede entonces consultar 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 depurador 118 (por ejemplo, velocidad y número de ventiladores depuradores 120 en funcionamiento), por ejemplo, el controlador 240 también puede comprobar y alterar estos parámetros en un manera similar. Si el controlador 240 determina (en el paso S420) que no hay bucles 200 en el modo activo, el controlador 240 reduce el flujo de aire del aire depurador 118 en el paso S425 antes de regresar al paso S405 para continuar monitoreando la temperatura del aire de suministro 112. Si se realiza algún cambio en el sistema de refrigeración 110 en el paso S425 (o cualquier otro paso discutido en el presente documento), el controlador 240 puede retrasar el monitoreo de la temperatura del aire de suministro 112 para permitir que el cambio afecte la temperatura del aire de suministro 112.

[0056] 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 refrigeración 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 funcionando en modo activo. Si la temperatura del aire de suministro es demasiado fría en esta configuración, el controlador 240 desactivaría el sistema de refrigeración secundario 230h del cuarto bucle, lo que devuelve el cuarto bucle al modo pasivo, como se muestra en la Figura 6. Preferiblemente, el controlador 240 desactivará el sistema de refrigeración secundario 230 del bucle que opera en el modo activo que tiene su evaporador 212 más arriba con respecto

al aire de retorno 114. El controlador 240 luego regresa al paso S405 para continuar monitoreando la temperatura del aire de suministro 112.

[0057] Si la temperatura del aire de suministro 112 es demasiado alta (por encima de la temperatura del punto de ajuste o rango operativo), el controlador 240 verifica primero, en el paso S435, para ver si se puede aumentar el flujo de aire del aire depurador 118. Si se puede aumentar el flujo de aire del aire depurador 118 (el flujo de aire del aire depurador 118 no está en su máximo), el controlador 240 aumenta el flujo de aire del aire depurador 118 en el paso S440 antes de regresar al paso S405. El controlador 240 puede aumentar el flujo de aire del aire depurador 118 mediante cualquier medio adecuado que incluye, por ejemplo, aumentar la velocidad de los ventiladores de aire depurador 120. Si no se puede aumentar el flujo de aire del aire depurador 118 (el flujo de aire del aire depurador 118 está en su máximo), el controlador 240 comprueba, en el paso S445, 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 refrigeración 110 está funcionando a su máxima capacidad de refrigeración y el controlador 240 vuelve al paso S405. Si al menos un bucle está en modo pasivo, el controlador 240 activará un sistema de refrigeración secundario 230 para uno de los bucles 200 en el paso S450. Por ejemplo, si todos los bucles funcionan en modo pasivo como se muestra en la Figura 6, el controlador 240 activará el sistema de refrigeración secundario 230 de uno de los bucles 200, tal como el sistema de refrigeración secundario 230h del cuarto bucle. Preferiblemente, el controlador 240 activará el sistema de refrigeración secundario 230 del bucle que opera en el modo pasivo que tiene su evaporador 212 más abajo en relación con el aire de retorno 114. El controlador 240 luego regresa al paso S405 para continuar monitoreando la temperatura del aire de suministro 112.

[0058] Para los sistemas de refrigeración de centros de datos, a menudo es deseable tener eficiencias del 65 % o más en un modo economizador (modo pasivo en esta modalidad). En el modo pasivo, el refrigerante está prácticamente a la misma presión en todas las ubicaciones dentro del depurador de refrigerante primario 210, y la temperatura interna es isotérmica. Según los requisitos del equilibrio energético, si las restricciones de transferencia de calor del condensador pasivo 214 y del evaporador 212 son las mismas (flujos de aire iguales sobre la superficie exterior del condensador 214 y del evaporador 212 y características de la superficie exterior del condensador 214 y evaporador 212), el refrigerante existiría a una temperatura igual al promedio de las entradas del evaporador 212 y del condensador pasivo 214 y, en un mundo

no ideal, la eficiencia neta de un único depurador 200 sería inferior al 50 %. Sin embargo, se puede lograr una eficiencia de intercambio de calor, cuando se mide en el tamaño del evaporador, superior al 50 %, con flujos de aire desequilibrados sobre la superficie exterior del condensador 214 y el evaporador 212.

[0059] Usando múltiples bucles 200 con contraflujo de aire al flujo en el bucle de refrigerante primario 210, las eficiencias de cada bucle tendrán un efecto aditivo y se pueden lograr eficiencias mayores que las eficiencias de un solo bucle. Por ejemplo, si se usan dos bucles 200, cada uno con una eficiencia del 50 %, con el aire depurador 118 fluyendo en serie a través del primer bucle y luego el segundo bucle, y el aire de retorno 114 fluyendo en la dirección opuesta (a través del segundo bucle y luego el primer bucle) se puede lograr una eficiencia superior al 70 %. Sin embargo, si la eficiencia de un único bucle 200 se reduce al 39 %, se pueden colocar tres bucles 200, en lugar de dos, en contracorriente para lograr una eficiencia neta superior al 70 %. Los cálculos anteriores utilizaron aire depurador 118 que tenía una temperatura de 70 °F entregado a 10 000 cfm y aire de retorno 114 que tenía una temperatura de 100 °F entregado a 5000 cfm.

[0060] Los siguientes ejemplos (Casos 1 a 6) se construyeron para evaluar la eficiencia de un único bucle 200. Los resultados de estas evaluaciones se presentan en la Tabla 1 a continuación. Los siguientes casos utilizaron un flujo de aire desequilibrado donde el ventilador depurador 120 se seleccionó para proporcionar al menos una relación de flujo de aire de 2:1 de aire depurador 118 al aire de retorno 114 basado en una velocidad nominal de 500 fpm del aire de retorno 114 sobre el evaporador 212. Sin embargo, en los siguientes casos experimentales, se logró una relación de flujo más cercana a 2,2:1 con el flujo de aire total a través del evaporador 212 de 5000 scfm y el flujo de aire total a través del condensador pasivo 214 de 11 000 scfm. La velocidad frontal a través del condensador pasivo 214 fue de 500 fpm.

[0061] El primer caso (Caso 1) utilizó bobinas de tubo con aletas (FT) tanto para el evaporador 212 como para el condensador pasivo 214. La bobina para el evaporador 212 era uns bobina inundada de dos filas y de una sola pasada, y la bobina para el condensador pasivo 214 era una bobina de tres filas y de una sola pasada. Ambas bobinas usaban tubos de media pulgada en una disposición de tubos típica y tenían 10 aletas por pulgada. Cada bobina tenía 5 pies de largo. Tanto el evaporador 212 como el condensador pasivo 214 se montaron en un ángulo de 15 grados con respecto a la horizontal para facilitar la expulsión de vapor y el flujo de

condensado por gravedad. El condensador pasivo 214 se montó con su extremo inferior a 2 pies por encima de la descarga superior del evaporador 212. Las líneas de vapor y líquido entre las bobinas fueron sobredimensionadas, se usó un tubo de 1 1/8 de pulgada para la línea de refrigerante líquido 224 y un tubo de 2 1/8 para el tubo de vapor 222, para no inhibir el flujo de refrigerante y afectar el rendimiento resultante. Se utilizó R410a como refrigerante.

[0062] El segundo caso (Caso 2) fue el mismo que el primer caso, pero se usó una bobina de microcanal inundada (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 (en más del 47 %) en comparación con la bobina de tubo de media pulgada. Cada extrusión de microcanales 330 tenía un ancho de 38 mm con 28 microcanales 334, 336. El ancho de cada uno de los 26 microcanales internos 334 fue de 0,92 mm y los dos microcanales externos 336 (ver Figura 5B) estaban redondeados con un radio de 0,55 mm y tenían un ancho total de 0,94 mm. La extrusión de microcanal 330 tenía una altura total de 1,8 mm con un espesor de pared externa t de 0,35 mm. El espesor de la pared interna que separaba los microcanales 334 era de 0,40 mm. Se utilizaron sesenta y siete extrusiones de microcanales 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.

[0063] El tercer caso (Caso 3) fue el mismo 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 microcanales para el condensador pasivo 214 se diseñó de manera similar a la bobina de microcanales para el evaporador 212 (descrita anteriormente en el Caso 2), pero el condensador pasivo 214 usó 100 extrusiones de microcanales 330, cada una de las cuales tenía una longitud de 1,57 m.

[0064] El cuarto caso (Caso 4) fue el mismo que el tercer caso, pero se usaron tres tuberías de vapor 222 y conexiones de vapor 322 en lugar de una (MC Mod). La configuración de los bucles 200 en los Casos 3 y 4 también se evaluó 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 incrementó al aumentar la temperatura del aire de retorno 114 de 20 °F a 25 °F con respecto a los Casos 3 y 4. En la Tabla 1 a continuación se presentan los resultados de cada

uno de los casos y en ella, «Evap» se refiere al evaporador 212 y «Cond» se refiere al condensador pasivo 214.

Tabla 1

Caso	Tipo de bobina		Temperatura (°F)		Eficiencia (%)	Potencia (kW)
	Evap.	Cond.	Evap.	Cond.		
1	FT	FT	95,1	67,8	34	14,8
2	MC	FT	95,0	67,1	57	25,3
3	MC	MC	95,0	73,7	57	19,3
4	Mod MC	Mod MC	100,5	67,9	60	31,0
5	MC	MC	120,0	81,7	31	18,9
6	Mod MC	Mod MC	122,3	68,4	55	47,0

[0065] Como se puede ver en la Tabla 1 anterior al comparar 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 el rendimiento, aumentando la eficiencia del intercambio de calor del 34 % al 57 %. Cambiar el condensador pasivo 214 a una bobina de microcanal tuvo poco efecto en los resultados de rendimiento en condiciones normales (comparar el Caso 2 con el Caso 3). La modificación del evaporador 212 y del condensador pasivo 214 para tener conexiones de vapor adicionales 322 dio como resultado un aumento de eficiencia del 3 % en condiciones normales (compare el Caso 3 con el Caso 4). Cuando se incrementó la diferencia de temperatura entre el evaporador 212 y el condensador pasivo 214, la eficiencia disminuyó (compare los Casos 3 y 4 con los Casos 5 y 6, respectivamente), pero tener múltiples conexiones de vapor 322 dio como resultado una reducción de eficiencia menor y la transferencia total de energía aumentó considerablemente hasta casi 50 kW.

[0066] Utilizando las propiedades del R410a y una tasa de transferencia de calor conocida, se puede calcular un flujo de masa de medio de refrigeración primario 202 con base en los calores específicos del vapor y el líquido. En el caso del evaporador de microcanal 212, el límite del flujo de calor estaba en el rango de 20 kW. Utilizando una diferencia de entalpía entre líquido y vapor para R410a, se calcula un flujo de masa de 387 kg/h y un caudal de 5,88 m^3/h. Aplicando el diámetro interior de un solo tubo de 7/8 de pulgada, la velocidad del gas es 4,2 m/s. Agregar 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. Por lo tanto, a efectos prácticos, cuando se utiliza R410a, las conexiones de tuberías se dimensionan preferentemente para una velocidad máxima inferior a aproximadamente 4 m/s. El caudal de vapor dentro de las extrusiones de microcanales 330 es de 2,1 m/s para una tasa de intercambio de calor de 50 kW. El tamaño variará para otros refrigerantes según su densidad y viscosidad, pero se puede determinar experimentalmente.

[0067] Se usó un intercambiador de calor de placas como 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 medio de refrigeración secundario 208. En el modo activo, los datos de eficiencia y los datos de potencia máxima imitaron fielmente los datos de aire a aire, lo que confirma la superioridad del evaporador de microcanal 212 sobre el evaporador de tubo con aletas 212 y el aumento en la capacidad total después de la adición de conexiones de cabezal adicionales al microcanal para el transporte de vapor.

[0068] Otro sistema de refrigeración 110 se muestra en las Figuras 10 y 11. Las características y componentes del sistema de refrigeración 110 mostrado en las Figuras 10 y 11 son similares a los analizados anteriormente en las Figuras 1 a 9. Los mismos números de referencia se utilizan en las Figuras 10 y 11 para describir componentes iguales y similares a los discutidos anteriormente, y una descripción detallada de estos componentes se omite en la siguiente discusión. En la Figura 10 se muestra el controlador de aire interior 132 y en la Figura 11 se muestra la unidad condensadora 134 del sistema de refrigeración 110 de esta modalidad.

[0069] Al igual que con el sistema de refrigeración 110 mostrado en la Figura 1, el sistema de refrigeración 110 mostrado en las Figuras 10 y 11 incluye una pluralidad de evaporadores 212, que en esta modalidad son cuatro evaporadores 212i, 212j, dos primeros evaporadores 212i y dos segundos evaporadores 212j. Los primeros evaporadores 212i están dispuestos en paralelo con respecto al aire de retorno 114 entre sí y están conectados tanto a un primer tubo de vapor común 262 como a la primera línea de refrigerante líquido común 266. Asimismo, los segundos evaporadores 212j están dispuestos en paralelo con respecto al aire de retorno 114 entre sí y están conectados tanto a un segundo tubo de vapor común 264 como a una segunda línea de refrigerante líquido común 268. Cada una de la primera línea de refrigerante líquido común 266 y la segunda línea de refrigerante líquido común 268 son similares a la tubería de vapor 222 y a la línea de refrigerante líquido 224, respectivamente, como se analizó anteriormente. Cada primer evaporador 212i está dispuesto en serie con uno de los segundos evaporadores 212j

con respecto al aire de retorno 114. El aire de retorno 114 se dirige a través del primer evaporador 212i antes de ser dirigido a través del segundo evaporador 212j.

[0070] La unidad condensadora 134 mostrada en la Figura 11 incluye cuatro circuitos, un primer circuito (Circuito 1), un segundo circuito (Circuito 2), un tercer circuito (Circuito 3) y un cuarto circuito (Circuito 4). En la siguiente discusión de cada uno de estos circuitos, se utilizan los mismos números de referencia que se discutieron anteriormente con referencia a las Figuras 3 y 4, y se añaden caracteres de referencia a los números de referencia para designar los diferentes circuitos. El carácter de referencia c1 se añade a los componentes del primer circuito. El carácter de referencia c2 se añade a los componentes del segundo circuito. El carácter de referencia c3 se añade a los componentes del tercer circuito. El carácter de referencia c4 se añade a los componentes del cuarto circuito. Sin embargo, cuando la descripción del componente es común a cualquiera de los circuitos, se omite el carácter de referencia que se refiere a un circuito en particular. Aunque en el presente documento se describe que la unidad condensadora 134 tiene cuatro circuitos, se puede utilizar cualquier número adecuado de circuitos. Además, aunque se describen con componentes específicos en cada uno de estos cuatro circuitos (por ejemplo, condensadores pasivos 214 y condensadores activos 216), se contempla que varias disposiciones de estos componentes estén dentro del alcance de la invención.

[0071] Además, en cada uno de los circuitos primero, segundo y tercero, dos condensadores pasivos 214 están asociados con los primeros evaporadores 212i (parte de un primer circuito de termosifón 200i) y dos condensadores pasivos 214j están asociados con los segundos evaporadores 212j (parte de un segundo bucle de termosifón 200j). Estos condensadores 214 también tendrán i o j añadidos a los números de referencia para designar en qué bucle está ubicado el condensador pasivo 214. Por ejemplo, 214ic1 se usa para designar uno de los dos condensadores pasivos 214 en el primer circuito que forman parte del primer bucle de termosifón 200i.

[0072] Como se muestra en la Figura 11, los primeros evaporadores 212i están conectados a seis condensadores pasivos 214i en paralelo. Dos de los seis condensadores pasivos 214i están situados en cada uno de los circuitos primero, segundo y tercero. El primer bucle de termosifón 200i incluye un condensador activo 216c4 en paralelo con los seis condensadores pasivos 214i. El condensador activo 234c4 del primer bucle de termosifón 200i está situado en

el cuarto circuito. En esta modalidad, el cuarto circuito incluye el condensador activo 216c4 y su correspondiente sistema de refrigeración secundario 230c4, pero no incluye ningún condensador pasivo 214. Los ventiladores de aire de barrido 120c4 están configurados para dirigir el aire de barrido 118 sobre la superficie exterior de los condensadores 234c4 del sistema de refrigeración secundario 230c4.

[0073] Los segundos evaporadores 212j también se conectan a seis condensadores pasivos 214j en paralelo. Dos de los seis condensadores pasivos 214j están situados en cada uno de los circuitos primero, segundo y tercero. El segundo bucle de termosifón 200j incluye tres condensadores activos 216j. Uno de cada uno de los tres condensadores activos 216jc1, 216jc2, 216jc3 está ubicado en cada uno de los circuitos primero, segundo y tercero. Cada uno de los cuatro circuitos incluye así un sistema de refrigeración secundario 230. En esta modalidad, cada uno de los sistemas de refrigeración secundarios 230c1, 230c2, 230c3, 230c4 incluye dos condensadores 234 conectados en paralelo entre sí. En otras modalidades, se puede usar un preenfriador 124 (ver Figura 12) para enfriar el aire depurador 118 antes de que pase a través de los condensadores pasivos 214j del segundo bucle de termosifón 200j. En tal caso, puede ser posible omitir los condensadores activos 216jc1, 216jc2, 216jc3 en el segundo bucle de termosifón 200j.

[0074] La disposición de cada uno de los circuitos primero, segundo y tercero es similar entre sí. La siguiente descripción del primer circuito se aplica igualmente al segundo y al tercer circuito. Los condensadores 214ic1, 214jc1, 234c1 en el primer circuito están dispuestos en dos conjuntos, un primer conjunto de condensadores 272c1 y un segundo conjunto de condensadores 274c1. El primer conjunto de condensador 272c1 y el segundo conjunto de condensador 274c1 están dispuestos en paralelo entre sí con respecto al flujo de aire del aire depurador 118. Cada uno del primer conjunto de condensadores 272c1 y el segundo conjunto de condensadores 274c1 contiene uno de cada uno del condensador pasivo 214jc1 del segundo bucle de termosifón 200j, el condensador pasivo 214ic1 del primer bucle de termosifón 200i y el condensador 234c1 del sistema de refrigeración secundario 230. . Los condensadores 214jc1, 214ic1, 234c1 están dispuestos en serie con respecto al flujo de aire del aire depurador 118. El aire depurador 118 es aspirado por ventiladores de aire depurador 120c1 del primer circuito a través de cada uno de los condensadores de la siguiente manera. El aire depurador 118 es aire ambiental extraído del entorno exterior que rodea la unidad condensadora 134 y primero se

hace pasar a través del condensador pasivo 214jc1 del segundo bucle de termosifón 200j. A continuación, el aire depurador 118 pasa a través del condensador pasivo 214ic1 del primer bucle de termosifón 200i. Luego, el aire depurador 118 pasa a través del condensador 234c1 del sistema de refrigeración secundario 230 antes de ser expulsado al exterior por los ventiladores depuradores 120. Cada uno de los ventiladores de aire depurador 120 puede ser variable independientemente o al menos variable entre diferentes circuitos.

[0075] Esta disposición de condensadores 214jc1, 214ic1, 234c1 en el primer circuito permite un diseño de contraflujo. El medio de refrigeración primario 202 en el segundo bucle de termosifón 200j es más frío que el medio de refrigeración primario 202 en el primer bucle de termosifón 200i. Por lo tanto, el aire depurador 118 más frío pasa primero a través del condensador 214jc1 más frío y luego, después de ser calentado por el condensador pasivo 214jc1 del segundo bucle de termosifón 200j, el aire depurador 118 pasa a través del condensador pasivo 214ic1 más caliente del primer bucle de termosifón 200j.

[0076] El sistema de refrigeración 110 mostrado en las Figuras 10 y 11, al igual que los sistemas de refrigeración 110 discutidos anteriormente, no usa válvulas en el primer bucle de termosifón 200i y el segundo bucle de termosifón 200j para cambiar entre los modos activo y pasivo. En su lugar, al activar el sistema de refrigeración secundario 230 para enfriar el condensador activo 216, el vapor 206 del medio de refrigeración primario 202 se desplaza naturalmente al condensador activo más frío 216 para condensarse y el conjunto de refrigeración de corriente de aire 100, a través de fuerzas termodinámicas, cambia de modo pasivo a modo activo.

[0077] El sistema de refrigeración 110 mostrado en las Figuras 10 y 11 se puede controlar de manera similar a los sistemas de refrigeración 110 descritos anteriormente, tal como usando el proceso mostrado y descrito con referencia a la Figura 9. La temperatura del aire de suministro 112 se puede controlar a un punto de ajuste (ver paso S415). Primero, si la temperatura del aire de suministro 112 está por encima del punto de ajuste, el controlador 240 que se usa para controlar el sistema de refrigeración 110 aumentará el caudal del aire depurador 118, por ejemplo, al aumentar la velocidad del ventilador de los ventiladores depuradores 120 (ver paso S440). Si la temperatura del aire de suministro 112 está por debajo del punto de ajuste, el controlador 240 disminuirá el caudal del aire depurador 118 (por ejemplo, disminuirá la velocidad del ventilador de los ventiladores depuradores 120) (ver paso S425).

[0078] Si la temperatura del aire de suministro 112 está por encima del punto de ajuste y el caudal de aire depurador 118 está en su máximo, el controlador 240 energizará entonces un sistema de refrigeración secundario 230 (ver paso S450). En el sistema de refrigeración 110 mostrado en las Figuras 10 y 11, el controlador 240 puede establecer etapas en el sistema de refrigeración secundario 230 mediante circuitos según sea necesario para mantener la temperatura del aire de suministro 112 en el punto de ajuste. Aunque el sistema de refrigeración secundario 230 de los circuitos se puede montar en diferentes secuencias, un enfoque es montar los sistemas de refrigeración secundarios 230 sucesivamente, según sea necesario, en el orden del primer circuito, luego el segundo circuito, luego el tercer circuito y luego el cuarto circuito. Por lo tanto, en esta modalidad, los sistemas de refrigeración secundarios 230 del segundo bucle de termosifón 200j pueden disponerse antes que el sistema de refrigeración secundario 230c4 del primer bucle de termosifón 200i. Si la temperatura del aire de suministro 112 está por debajo del punto de ajuste, el controlador 240 puede entonces desactivar un sistema de refrigeración secundario 230 (ver paso S430) en, por ejemplo, el orden opuesto al que se ponen en marcha los circuitos.

[0079] Si la temperatura del aire de suministro 112 está por debajo del punto de ajuste y todos los sistemas de refrigeración secundarios 230 (modos de refrigeración activos) están apagados con la velocidad de los ventiladores depuradores 120 al mínimo, el controlador 240 puede entonces apagar los ventiladores depuradores 120 según sea necesario para mantener la temperatura del aire de suministro 112 en el punto de ajuste. En el caso de que todos los ventiladores depuradores 120 menos uno estén apagados, el controlador 240 puede operar solo uno del primer bucle de termosifón 200i y el segundo bucle de termosifón 200j. Esto se puede lograr al cerrar las válvulas de control de flujo 276 (que se analizan más adelante) para el bucle que se ha desactivado, que, por ejemplo, puede ser el segundo bucle de termosifón 200j.

[0080] Incluso cuando algunos o todos los condensadores activos 216 están funcionando y, por lo tanto, el sistema está funcionando en el modo activo, los inventores han descubierto inesperadamente que hay cierta economía (enfriamiento del medio de refrigeración primario 202 de los condensadores pasivos 214) incluso en el modo activo, como lo demuestran los resultados de las pruebas en la Tabla 2, a continuación. En la Tabla 2 se muestran los resultados de una prueba con una carga térmica nominal de 350 kW sobre los evaporadores 212. Al menos un circuito del primer bucle de termosifón 200i y del segundo bucle de termosifón 200j está

funcionando en modo activo para las condiciones de la siguiente tabla. La prueba se realizó para diferentes temperaturas del aire ambiente (aire depurador 118) y se midió el rechazo de calor tanto de los condensadores activos 216 como de los condensadores pasivos 214. Los modos activos de los circuitos se encendieron y se apagaron según la temperatura del aire ambiente, pero a la temperatura del aire ambiente más alta todos los sistemas de refrigeración secundarios 230 estaban funcionando.

Tabla 2

Prueba de 350 kW nominales				
Temperatura ambiente (°F)	Rechazo total de calor (kW)	Rechazo activo de calor (kW)	Rechazo pasivo de calor (kW)	% economización
78,2	358,7	271,6	87,1	24,3 %
80,1	352,5	307,9	44,6	12,7 %
81,8	340,2	303,2	37	10,9 %
83,1	342,2	310,7	31,5	9,2 %
84,1	354,0	352,2	1,8	0,5%

En la Tabla 2 anterior, el rechazo de calor se calculó usando la ecuación (1) a continuación.

$$\text{Rechazo de calor (kW)} = \frac{V(T_I - T_O)}{5{,}9605 \times f_a (T_O + 459{,}67)} \qquad (1)$$

En la ecuación (1), V es el volumen de aire (como el aire de suministro 112) en pies cúbicos reales por minuto a través de un condensador o evaporador, T_I es la temperatura, en Fahrenheit, del aire que entra al condensador o el evaporador (tal como el aire de retorno 114), T_O es la temperatura, en Fahrenheit, que sale del condensador o del evaporador (tal como el aire de suministro 112), y f_a es un factor basado en la altitud. El factor de altitud (f_a) se puede calcular utilizando la ecuación (2) siguiente, donde A es la altitud en pies.

$$f_a = \left(1 - \left(6{,}8754 \times 10^{-6}\right) A\right)^{-5{,}2559} \qquad (2)$$

[0081] Aunque las válvulas no se usan para cambiar entre modos, se pueden usar válvulas para ayudar a regular el sistema de refrigeración 110. En esta modalidad, se coloca una válvula de control de flujo 276 en la entrada de cada evaporador 212 en la primera línea de refrigerante líquido común 266 y la segunda línea de refrigerante líquido común 268. Puede usarse cualquier

válvula adecuada como válvula de control de flujo 276, pero en esta modalidad la válvula de control de flujo 276 es una válvula de globo operada por un motor paso a paso. Aquí, la válvula de control de flujo 276 permite el ajuste continuo del flujo que pasa por el tapón o disco de la válvula de control de flujo 276 y el tapón o disco es operado por el motor paso a paso. La válvula de control de flujo 276 incluye una posición cerrada y una pluralidad de posiciones abiertas, cada una de las cuales tiene un área de apertura diferente. La pluralidad de posiciones abiertas permite así que una cantidad diferente del medio de refrigeración primario 202 en la fase líquida 204 fluya más allá de la válvula de control de flujo 276 en función del área de apertura de esa posición.

[0082] La válvula de control de flujo 276 se usa para controlar con precisión el nivel de líquido en el evaporador 212 (cantidad de medio de refrigeración primario 202 en la fase líquida 204) y mantener una temperatura deseada del vapor 206 que sale del evaporador 212. Los inventores han descubierto que el uso de la válvula de control de flujo 276 permite que el medio de refrigeración primario 202 circule eficientemente a través del primer bucle de termosifón 200i y el segundo bucle de termosifón 200j mediante circulación natural y gravedad para una amplia gama de cargas de calor y condiciones de aire ambiental. La válvula de control de flujo 276 se puede usar para evitar que demasiado líquido 204 entre en el evaporador 212 (por ejemplo, que inunde el evaporador 212), lo que podría inhibir el flujo de vapor 206 que sale del evaporador 212. Además, la válvula de control de flujo 276 se puede usar para evitar que entre muy poco líquido 204 en el evaporador 212 (por ejemplo, que prive al evaporador 212), lo que podría inhibir la condensación efectiva y eficiente en los condensadores 214, 216. Tales consideraciones, y por lo tanto el uso de la válvula de control de flujo 276, pueden ser particularmente relevantes cuando el controlador de aire interior 132 y la unidad de condensación 134 están separados, ya que distancias mayores requieren cantidades mayores del medio de refrigeración primario 202, lo que exacerba aun más los problemas discutidos anteriormente, como inundaciones.

[0083] Se pueden usar varios enfoques para establecer la posición de la válvula de control de flujo 276 y, por tanto, la cantidad de líquido 204 que fluye hacia el evaporador 212. Por ejemplo, la posición de la válvula de control de flujo 276 puede basarse en la absorción de calor en el evaporador 212, el rechazo de calor del aire de retorno 114/aire de suministro 112, el rechazo de calor en los condensadores 214, 216, la absorción de calor por el aire depurador 118 o el

sobrecalentamiento del vapor 206. Como se analizó anteriormente, el controlador 240 está acoplado comunicativamente a varios sensores tales como los sensores de bucle 250 (por ejemplo, sensores de temperatura 252 y sensores de presión 254) ubicados en el primer bucle de termosifón 200i y el segundo bucle de termosifón 200j o sensores de temperatura usados para monitorear el temperatura del aire de suministro 112, aire de retorno 114 y aire depurador 118. Usando salidas de estos sensores (entradas al controlador), el controlador 240 puede determinar la posición apropiada de la válvula de control de flujo 276 y accionar el motor paso a paso de la válvula de control de flujo 276 según corresponda.

[0084] Al controlar la válvula de control de flujo 276 con base en la absorción de calor en el evaporador 212, la absorción de calor puede determinarse con base en el aumento de temperatura a través del evaporador 212. Una forma de determinar el aumento de temperatura es medir la temperatura del medio de refrigeración primario 202 en la entrada del evaporador 212 (u otra ubicación adecuada en la parte inferior del evaporador 212) y la temperatura del medio de refrigeración primario 202 en la salida del evaporador 212 (u otra ubicación adecuada en la parte superior del evaporador 212). Otra forma de determinar el aumento de temperatura es medir la temperatura del aire de suministro 112 que sale del tercio inferior del evaporador 212 (el tercio del evaporador 212 próximo a la entrada) y la temperatura del aire de suministro 112 que sale del tercio superior del evaporador 212 (el tercio del evaporador 212 próximo a la salida). Luego, se puede determinar el aumento de temperatura tomando la diferencia entre las temperaturas medidas y comparándola con un punto establecido. Si la diferencia es menor que el punto de ajuste, el controlador 240 controla el motor paso a paso para mover la válvula de control de flujo 276 en una dirección cerrada para reducir el flujo de líquido 204 hacia el evaporador 212. Si la temperatura es mayor que el punto de ajuste, el controlador 240 controla el motor paso a paso para mover la válvula de control de flujo 276 en una dirección abierta para aumentar el flujo de líquido 204 hacia el evaporador 212.

[0085] Otra forma de controlar las válvulas de control de flujo 276 es medir el calor rechazado por el aire de retorno 114/aire de suministro 112. Cuando se controla la válvula de control de flujo 276 basándose en el rechazo de calor del aire de retorno 114/aire de suministro 112, la temperatura del aire de retorno 114 puede medirse antes de que alcance el evaporador 212 y luego nuevamente después de pasar a través del evaporador 212 usando un sensor de temperatura. . El controlador 240 puede entonces usarse para calcular una cantidad de rechazo

de calor en ese bucle de termosifón (por ejemplo, el primer bucle de termosifón 200i o el segundo bucle de termosifón 200j) basándose en las temperaturas medidas y el caudal del aire de retorno 114/aire de suministro 112. . Luego, el controlador establece la posición de las válvulas de control de flujo 276 en el bucle de termosifón 200i, 200j en función de la cantidad de calor absorbido en ese bucle de termosifón 200i, 200j basándose en curvas o una tabla de consulta. Se podrían usar diferentes curvas o valores para diferentes modos de funcionamiento, tales como una curva para cuando cada circuito funciona en un modo activo.

[0086] Al controlar la válvula de control de flujo 276 basándose en el rechazo de calor en los condensadores 214, 216, el rechazo de calor puede determinarse basándose en la reducción de temperatura a través de cada uno de los condensadores 214, 216. Al igual que con la medición del aumento de temperatura, como se analizó anteriormente, una forma de determinar la reducción de temperatura es medir la temperatura del medio de refrigeración primario 202 en la entrada de un condensador respectivo 214, 216 (u otra ubicación adecuada en la parte superior del condensador 214, 216) y la temperatura del medio de refrigeración primario 202 en la salida del condensador 214, 216 (u otra ubicación adecuada en la parte inferior del condensador 214, 216). Otra forma de determinar el aumento de temperatura es medir la temperatura del aire depurador 118 que sale del tercio superior del condensador 214, 216 (el tercio del condensador 214, 216 próximo a la entrada) y la temperatura del aire depurador 118 que sale del tercio inferior del condensador 214, 216 (el tercio del condensador 214, 216 próximo a la salida). La reducción de temperatura se puede entonces determinar tomando la diferencia entre las temperaturas medidas. La reducción de temperatura para cada condensador 214, 216 se puede usar para calcular una cantidad total de calor rechazado por los condensadores 214, 216 en ese bucle de termosifón (por ejemplo, el primer bucle de termosifón 200i o el segundo bucle de termosifón 200j) y el controlador 240 luego establece la posición de las válvulas de control de flujo 276 en el bucle de termosifón 200i, 200j en función de la cantidad de calor rechazado en ese bucle de termosifón 200i, 200j basándose en curvas o una tabla de consulta. Tal como se discutió anteriormente, se podrían usar curvas o valores diferentes para modos de operación diferentes, tales como una curva para cuando cada circuito opera en un modo activo. En tal caso, las válvulas de control de flujo 276 se pueden ajustar, como se analizó anteriormente, para que estén más abiertas con más rechazo de calor o más cerradas con menos rechazo de calor. Alternativamente, en lugar de usar el controlador 240

para calcular el rechazo de calor, la reducción de temperatura se puede usar directamente como base de las curvas o la tabla de consulta.

[0087] Otra forma de determinar la cantidad de calor rechazada por la unidad condensadora 134 es medir el calor absorbido por el aire eliminador 118. Cuando se controla la válvula de control de flujo 276 basándose en la absorción de calor por el aire depurador 118, la temperatura del aire depurador 118 se puede medir antes de que alcance los condensadores 214, 216, 234 y después de pasar a través de los condensadores 214, 216, 234 usando un sensor de temperatura. El controlador 240 puede entonces usarse para calcular una cantidad de absorción en ese bucle de termosifón (por ejemplo, el primer bucle de termosifón 200i o el segundo bucle de termosifón 200j) basándose en las temperaturas medidas y el caudal del aire depurador 118, y luego el controlador establece la posición de las válvulas de control de flujo 276 en el bucle de termosifón 200i, 200j en función de la cantidad de calor absorbido en ese bucle de termosifón 200i, 200j basándose en curvas o una tabla de consulta, de una manera similar a la analizada anteriormente para controlar la válvula de control de flujo 276 basándose en el rechazo de calor en los condensadores 214, 216.

[0088] Cuando se controla la válvula de control de flujo 276 con base en un valor predeterminado de vapor sobrecalentado 206 (un punto de ajuste), se puede abrir la válvula de control de flujo 276 para permitir que entre más líquido condensado 204 en el evaporador 212, lo que reduce la temperatura de sobrecalentamiento del vapor 206, si la temperatura de sobrecalentamiento del vapor 206 aumenta por encima del punto de ajuste. De manera similar, si la temperatura de sobrecalentamiento del vapor 206 se reduce por debajo del punto de ajuste, se puede cerrar la válvula de control de flujo 276, lo que reduce el flujo de líquido condensado 204 al evaporador 212 y aumenta así la temperatura de sobrecalentamiento del vapor 206. Los sensores de bucle 250, tales como un sensor de temperatura 252 y un sensor de presión 254, pueden estar ubicados en la salida del evaporador 212. Dichos sensores 250 también pueden estar ubicados adecuadamente en el propio evaporador 212 o en las líneas de vapor que conducen a los condensadores 214, 216. El controlador 240 calcula entonces el sobrecalentamiento basándose en las mediciones de temperatura y presión y lo compara con el punto de ajuste (por ejemplo, un nivel predeterminado (deseado)). Luego, el controlador 240 ajusta la válvula de control de flujo 276, como se analizó anteriormente. En cualquiera de los métodos de control, el ajuste no podrá realizarse tan pronto como los valores medidos o

calculados crucen el punto de ajuste; en su lugar, el controlador 240 puede ajustar la válvula de control de flujo 276 cuando se cruzan una temperatura (o valor) de umbral superior y una temperatura (o valor) de umbral inferior que están por encima y por debajo del punto de ajuste, respectivamente. Si bien la invención se describe aquí con controles basados en puntos de ajuste, una persona con conocimientos habituales en la técnica entendería que estas bandas operativas están incluidas en dicha descripción.

[0089] Como con cualquiera de los sistemas de refrigeración 110 descritos en el presente documento, se puede variar la velocidad de los ventiladores de suministro de aire 116 que impulsan el flujo de aire (aire de retorno 114) a través de los evaporadores 212. Los ventiladores de aire de suministro 116 pueden estar corriente abajo de los evaporadores 212 (en la dirección de desplazamiento del aire de retorno 114/aire de suministro 112) como se muestra en la Figura 10. Alternativamente, los ventiladores 116 de aire de suministro pueden estar corriente arriba de los evaporadores 212, como se muestra en la Figura 1, y los ventiladores 116 de aire de suministro también pueden denominarse ventiladores de aire de retorno. En un caso, el flujo de aire del aire de retorno 114/aire de suministro 112 puede ser impulsado por los requisitos del centro de datos 100. El centro de datos 100 puede tener un controlador (no mostrado), al que se hace referencia en el presente documento como el sistema de gestión de edificios (BMS), que está separado del controlador 240 para el sistema de refrigeración 110. El BMS determina cuál debe ser la velocidad de los ventiladores de aire de suministro 116 en función de las necesidades en el centro de datos 100. Estas necesidades pueden variar de un centro de datos a otro. El BMS puede enviar una señal de velocidad del ventilador de suministro al controlador 240 para el sistema de enfriamiento 110 y el controlador 240 puede modular los ventiladores 116 de aire de suministro (por ejemplo, la velocidad y el número de ventiladores 116 de aire de suministro en funcionamiento) para que coincidan con la señal dada por el BMS.

[0090] Otra forma de controlar los ventiladores 116 de aire de suministro en el sistema de refrigeración 110, tal como si la señal BMS está ausente, es controlar los ventiladores 116 de aire de suministro a un punto de ajuste de temperatura del aire de retorno para la temperatura del aire 114 de retorno. El controlador 240 puede modular el caudal del aire de retorno 114/aire de suministro 112 ajustando la velocidad de los ventiladores de aire de suministro 116 (o el número de ventiladores de aire de suministro 116 en funcionamiento) para mantener la temperatura del aire de retorno 114 al punto de ajuste de temperatura de aire de retorno. Si la

temperatura del aire de retorno 114 está por encima del punto de ajuste de la temperatura del aire de retorno, se aumenta la velocidad (o el número) de los ventiladores de aire de suministro 116. Si la temperatura del aire de retorno 114 está por debajo del punto de ajuste de la temperatura del aire de retorno, se reduce la velocidad (o el número) de los ventiladores de aire de suministro 116.

[0091] El fluido que se enfría mediante los sistemas de refrigeración 110 discutidos en el presente documento puede denominarse fluido de proceso 142. En las modalidades analizadas anteriormente, el fluido de proceso 142 enfriado por los sistemas de refrigeración 110 es aire. En las discusiones anteriores, el aire (fluido de proceso 142) se dirige sobre bastidores 102 que contienen componentes electrónicos y se calienta antes de dirigirlo sobre un evaporador 212 (aire de retorno 114) para enfriarlo. Sin embargo, los sistemas de refrigeración 110 descritos en el presente documento no se limitan a enfriar aire y pueden usarse para enfriar cualquier fluido adecuado. El fluido de proceso 142 puede incluir, por ejemplo, líquidos tales como agua, mezclas de agua y glicol, y un fluido no conductor (dieléctrico).

[0092] En las modalidades analizadas anteriormente, donde el fluido de proceso 142 es aire, el evaporador 212 era adecuadamente una bobina de microcanal o bobinas de tubo con aletas. Cuando el fluido de proceso 142 es un líquido en lugar de un vapor (gas), se pueden usar otros evaporadores 212 adecuados, lo que incluye, por ejemplo, un intercambiador de calor de placas, un intercambiador de calor coaxial o un intercambiador de calor de carcasa y tubos. En la Figura 12 se muestra un sistema de refrigeración 110 en el que los evaporadores 212 se diseñan adecuadamente para enfriar un fluido de proceso 142 que es un líquido. El fluido de proceso 142 se hace circular en un bucle de fluido de proceso 140 mediante una bomba 144. Esta modalidad incluye un primer evaporador 212k y un segundo evaporador 212l ubicados en serie en el bucle de fluido de proceso 140. El fluido de proceso 142 se calienta mediante una carga térmica, tal como servidores 103 en un bastidor 102 (véanse las Figuras 13A y 13B). Luego, el fluido de proceso 142 se enfría mediante el primer evaporador 212k y el segundo evaporador 212l antes de regresar para enfriar los servidores 103.

[0093] En esta modalidad, el segundo evaporador 212l está conectado de manera fluida tanto a un condensador pasivo 214 (condensador pasivo 214l) como a un condensador activo 216 (condensador activo 216l) y funciona como el bucle 200 descrito anteriormente en las Figuras 3 y 4. El primero El evaporador 212k está conectado de manera fluida a un condensador pasivo

214 (condensador pasivo 214k), que está ubicado corriente abajo del condensador pasivo 214l con respecto a la dirección del flujo de aire del aire depurador 118 entre el condensador pasivo 214l y el condensador 234 del sistema de refrigeración secundario 230. Al igual que con las modalidades analizadas anteriormente, el primer evaporador 212k también puede estar conectado de manera fluida tanto al condensador pasivo 214k como a un condensador activo 216 (condensador activo 216k) para operar como el bucle 200 descrito anteriormente en las Figuras 3 y 4. La unidad condensadora 134 de esta modalidad también puede incluir un preenfriador adiabático 124 para preenfriar el aire depurador 118 antes de que pase a través de cualquiera de los condensadores 214, 234. Puede usarse cualquier preenfriador adiabático 124 adecuado, incluido, por ejemplo, el humidificador/enfriador evaporativo Munters FA6™ fabricado por Munters Corporation de Buena Vista, Virginia, EE. UU.

[0094] Como se analizó anteriormente, el fluido de proceso 142 puede calentarse mediante una carga de calor, tal como servidores 103 ubicados en un bastidor 102 del centro de datos 100. El sistema de refrigeración 110 mostrado en la Figura 12 puede ser adecuado para su uso con sistemas de refrigeración por inmersión para servidores 103. Las figuras 13A y 13B muestran ejemplos de un bastidor 102 usado en un sistema de refrigeración por inmersión. En la Figura 13A, los servidores 103 están sumergidos en un dieléctrico 146. Los servidores 103 calientan el dieléctrico 146, pero el dieléctrico 146 permanece líquido (monofásico). El dieléctrico calentado 146 circula como fluido de proceso 142 a través del circuito de fluido de proceso 140 para ser enfriado y devuelto al bastidor 102 para enfriar aun más los servidores 103.

[0095] En la Figura 13B, los servidores 103 también están sumergidos en el dieléctrico 146. En este caso, el dieléctrico 146 enfría los servidores 103 mediante enfriamiento en dos fases. Los servidores 103 calientan el dieléctrico 146, y el dieléctrico 146 cambia de fase a vapor (gas). El vapor dieléctrico sube a la parte superior del bastidor 102. La parte superior del bastidor 102 incluye una bobina 148. Un fluido de proceso apropiado 142 pasa a través de la bobina 148 y condensa el dieléctrico 146. En otra modalidad, el dieléctrico 146 en fase de vapor puede ser enfriado directamente por el segundo evaporador 212l y el primer evaporador 212k como fluido de proceso 142 en lugar de usar otro fluido.

[0096] En las modalidades descritas anteriormente, los servidores 103 están físicamente separados del primer evaporador 212k y del segundo evaporador 212l y el circuito de fluido de

proceso 140 se usa para transportar calor desde los servidores 103 u otros equipos de tecnología de la información (IT). Sin embargo, las invenciones descritas en el presente documento no están tan limitadas y los evaporadores 212 pueden ser cualquier intercambiador de calor de líquido a refrigerante, donde un líquido circulante (fluido dieléctrico, agua u otro fluido) transporta calor desde el equipo de IT al refrigerante que es integral. al bucle de termosifón de dos fases. Dichos otros evaporadores adecuados 212 incluyen, por ejemplo, una placa fría integrada en los servidores 103 o componente de IT para absorber directamente el calor del componente y/o chips en este o una pluralidad de superficies tubulares directamente integradas en un sistema de refrigeración por inmersión.

[0097] En las Figuras 14 y 15 se muestra una segunda modalidad preferida de un bucle 500 de conjunto de refrigeración de corriente de aire. En esta modalidad, el evaporador 512 y el condensador pasivo 514 están incorporados en un intercambiador de calor integral 510, que funciona como un tubo de calor. El evaporador 512 es una porción inferior del intercambiador de calor integral 510 y también se puede hacer referencia a esta como una porción de evaporador 512. Asimismo, el condensador pasivo 514 es una parte superior del intercambiador de calor integral 510 y también se puede hacer referencia a esta como una parte de condensador. Al igual que con la primera modalidad, se puede utilizar cualquier intercambiador de calor adecuado, incluidas bobinas de tubos con aletas o bobinas de microcanales. En esta modalidad, el intercambiador de calor integral 510 se muestra como una bobina de tubo con aletas con tubos 516 que conectan dos cabezales fijos, un cabezal superior 522 y un cabezal inferior 524. Como se describirá más adelante, la gravedad también desempeña una función en el proceso de enfriamiento y, como resultado, los tubos 516 están orientados preferiblemente en posición recta y más preferiblemente, de forma vertical.

[0098] El conjunto de refrigeración de corriente de aire 500 que funciona en modo pasivo se muestra en la Figura 14. El aire de retorno caliente 114 se dirige sobre la porción de evaporador 512 del intercambiador de calor integral 510. El medio de refrigeración primario 202, que está contenido dentro de los tubos 516, cambia de la fase líquida 204 a la fase gaseosa 206, extrae calor del aire de retorno 114 y, como resultado, enfría el aire de retorno 114. A medida que el medio de refrigeración primario 202 se evapora, el vapor 206 sube por el tubo 516 hasta la porción de condensador 514 del intercambiador de calor. En el modo pasivo, el aire depurador 118 se dirige sobre la porción de condensador 514. El calor se rechaza desde el medio de

refrigeración primario 202 al aire depurador 118, al condensar el medio de refrigeración primario de la fase gaseosa 206 a la fase líquida 204. El líquido 204 del medio de refrigeración primario 202 luego baja por los lados del tubo 516, asistido por la gravedad, de regreso a la porción del evaporador 512.

[0099] El conjunto de refrigeración de corriente de aire 500 que funciona en modo activo se muestra en la Figura 15. Al igual que con el conjunto de refrigeración de corriente de aire 200 de la primera modalidad, el evaporador 512 del conjunto de refrigeración de corriente de aire 500 también está conectado a un segundo condensador, un condensador intercambiador de calor activo 216. Un tubo de vapor 526 conecta el cabezal superior 522 del intercambiador de calor integral 510 con el condensador activo 216. El vapor 206 del medio de refrigeración primario 202 viaja a través del tubo de vapor 526 hasta el condensador activo 216. Como en la primera modalidad, el calor se rechaza desde el medio de refrigeración primario 202 al medio de refrigeración secundario 208 del sistema de refrigeración secundario 230 en el condensador activo, lo que provoca que el medio de refrigeración primario 202 cambie de fase de vapor 206 a líquido 204. Luego, el líquido condensado 204 viaja, con la ayuda de la gravedad, a través de una línea de refrigerante líquido 528 hasta el cabezal inferior 524, lo que establece un flujo de refrigerante recirculado.

[0100] También como en la primera modalidad, el conjunto de refrigeración de corriente de aire 500 de esta modalidad funciona sin la necesidad de bombas, aceites, compresores o incluso válvulas para cambiar entre modos. En su lugar, al activar el sistema de refrigeración secundario 230 para enfriar el condensador activo 216, el vapor 206 del medio de refrigeración primario 202 se desplaza naturalmente al condensador activo más frío 216 para condensarse y el conjunto de refrigeración de corriente de aire 500 cambia automáticamente de modo pasivo a modo activo. Además, se puede usar un controlador 240, que puede estar acoplado comunicativamente a sensores de temperatura 122, 252, para controlar el conjunto de refrigeración de corriente de aire 500 de esta modalidad.

[0101] Como se analizó anteriormente, en lugar de usar una bobina de tubo con aletas para el intercambiador de calor integral 510, se puede usar una bobina de microcanal. Sin embargo, el flujo de calor total disponible puede estar limitado en un modo pasivo que depende únicamente del funcionamiento del tubo de calor, ya que el líquido condensado y el gas evaporado fluyen en sentido contrario entre sí en los pequeños canales de la extrusión de

microcanales. En las Figuras 16 y 17 se muestra otra configuración de la segunda modalidad que incluye un segundo condensador pasivo 530 (tercer condensador). En esta modalidad, el tercer condensador 530 es una bobina de microcanal colocada en serie, con respecto al aire depurador 118, con la porción de condensador 514 del intercambiador de calor integral 510. Preferiblemente, el tercer condensador 530 está colocado corriente arriba de la porción de condensador 514 del intercambiador de calor integral. El tercer condensador 530 tiene un cabezal de vapor 532 y un cabezal de líquido 534. El cabezal de vapor 532 del tercer condensador está conectado al cabezal superior 522 del intercambiador de calor integral 510 mediante el tubo de vapor 526.

[0102] En el modo pasivo (mostrado en la Figura 16), el vapor 206 del medio de refrigeración primario 202 fluirá a través del tubo de vapor 526 y hacia el tercer intercambiador de calor, donde ocurrirá la mayor parte de la condensación del medio de refrigeración primario 202. Al igual que con el condensador pasivo 214 de la primera modalidad, el aire depurador 118 se conduce a través de una superficie exterior del tercer condensador 530, y el calor del medio de refrigeración primario 202 contenido en el tercer condensador 530 se libera al aire depurador 118, lo que condensa el vapor 206 a un líquido 204. Luego, el líquido 204 del medio de refrigeración primario 202 viaja, con la ayuda de la gravedad, a través de una línea de refrigerante líquido 528 hasta el cabezal inferior 524 como un flujo de refrigerante recirculado.

[0103] En el modo activo (mostrado en la Figura 17), el vapor 206 fluye naturalmente hacia el condensador activo 216 más frío para ser condensado, como se analizó anteriormente, y hay un flujo mínimo, si es que hay alguno, del medio de enfriamiento primario 202 a través del tercer condensador 530 en el modo activo. Al igual que con la primera modalidad, puede ser beneficioso incluir trampas de vapor (no mostradas) y/o válvulas de retención 220 en las líneas de refrigerante líquido 528 para evitar el flujo inverso del medio de refrigeración primario 202 a través del condensador 216, 530 que no está actualmente operando en un modo determinado.

[0104] El segundo condensador pasivo 530 también se puede usar en una configuración sin el condensador activo 216, como se muestra en la Figura 18. La configuración solo tiene un modo pasivo, pero el evaporador 512 todavía está conectado a dos condensadores, la porción de condensación 514 del intercambiador de calor integral 510 y el segundo condensador pasivo 530.

[0105] Al igual que con el conjunto de refrigeración de corriente de aire 200 de la primera

modalidad, el sistema de refrigeración 110 puede incluir una pluralidad de conjuntos de refrigeración de corriente de aire 500 de la segunda modalidad. Por ejemplo, un sistema de refrigeración 110 puede incluir dos bucles 500a, 500b como se muestra en la Figura 19. El primer bucle 500a es similar a la configuración mostrada en la Figura 18 sin un condensador activo 216 y el segundo bucle 500b es similar a la configuración mostrada en las Figuras 14 y 15, pero con una bobina de microcanal para el intercambiador de calor integral 510b. En esta configuración, los dos evaporadores 512a, 512b 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 ubicado corriente arriba del intercambiador de calor integral 510a del primer bucle 500a.

[0106] Otro sistema de refrigeración 110 se muestra en las Figuras 20 y 21 que tiene dos bucles 600 del conjunto de refrigeración de corriente de aire, un primer bucle 600a del conjunto de refrigeración de corriente de aire y un segundo bucle 600b del conjunto de refrigeración de corriente de aire, aunque se puede usar cualquier número de bucles, incluido un solo bucle. Al igual que en la explicación anterior, se añade una letra a un número de referencia para designar el bucle en el que se encuentra el componente. En este sistema de refrigeración 110, el aire de retorno 114 se dirige a través de dos bobinas de refrigeración 612a, 612b que están dispuestas en paralelo con respecto al aire de retorno 114, aunque las bobinas de refrigeración 612a, 612b también pueden estar dispuestas en paralelo. A medida que el aire de retorno 114 fluye a través de la bobina de refrigeración 612, el calor se transfiere desde el aire de retorno a un medio de refrigeración primario 602 contenido dentro de un bucle de refrigeración primario 610, al calentar el medio de refrigeración primario 602. Puede usarse cualquier medio de refrigeración primario 602 adecuado que incluye, por ejemplo, agua o mezclas de agua y glicol.

[0107] El calor absorbido por el medio de refrigeración primario 602 se rechaza posteriormente en una segunda bobina 614 ya sea en un modo economizador o en un intercambiador de calor 616 en un modo activo. El medio de refrigeración primario 602 circula a través del bucle de refrigerante primario 610 y hacia la segunda bobina 614 o el intercambiador de calor 616 mediante una bomba 618. Una válvula desviadora 620 dirige selectivamente el medio de refrigeración primario bombeado 602 ya sea a la segunda bobina 614 o al intercambiador de calor 616, dependiendo del modo.

[0108] En la Figura 20 se muestra el sistema de refrigeración 110 en el modo economizador.

El modo economizador se usa, como con los modos pasivos discutidos en las modalidades anteriores, cuando la temperatura del aire ambiente es menor que la temperatura del medio de refrigeración primario 602 después de que ha absorbido el calor del aire de retorno 114 (por ejemplo, medido a una punto en el bucle de refrigerante primario 610 después de la bobina de refrigeración 612). Al igual que con las modalidades analizadas 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 desviadora 620 dirige el medio de refrigeración primario 602 desde la bobina de refrigeración 612 a la segunda bobina 614 para enfriar el medio de refrigeración primario 602. El aire depurador 118 se dirige a través de una superficie exterior de la segunda bobina 614 mediante los ventiladores depuradores 120. El calor en el medio de refrigeración primario 602 es entonces rechazado desde el medio de refrigeración primario 602 y absorbido por el aire depurador 118. El medio de refrigeración primario 602 luego regresa a la bobina de refrigeración 612. La bobina de refrigeración 612 y la segunda bobina 614 pueden ser cualquiera bobina adecuada, por ejemplo, incluidas bobinas de tubos con aletas o bobinas de microcanales. Un tanque de expansión 622 puede estar ubicado corriente arriba de la bomba 618 y después de la bobina de refrigeración 612.

[0109] En la Figura 21 se muestra el sistema de refrigeración 110 en el modo activo. Al igual que con los modos activos discutidos anteriormente, el modo activo de esta modalidad se usa cuando la temperatura ambiente es mayor que la temperatura del medio de refrigeración primario 602 después de que ha absorbido el calor del aire de retorno 114 o dentro del diferencial de temperatura predeterminado. En el modo activo, la válvula desviadora 620 dirige el medio de refrigeración primario 602 desde la bobina de refrigeración 612 al intercambiador de calor 616 para enfriar el medio de refrigeración primario 602. El calor en el medio de refrigeración primario 602 es entonces rechazado desde el medio de refrigeración primario 602 y absorbido por un medio de refrigeración secundario 208 de un sistema de refrigeración secundario 230. Como se analizó en las modalidades anteriores, el sistema de refrigeración secundario 230 puede ser cualquier sistema de refrigeración adecuado que incluya un sistema de refrigeración de expansión directa. El medio de refrigeración primario 602 luego regresa a la bobina de refrigeración 612.

[0110] Si bien la invención se ha descrito en determinadas modalidades ilustrativas específicas, muchas modificaciones y variaciones adicionales resultarán evidentes para los

expertos en la técnica a la luz de la presente descripción. Por lo tanto, debe entenderse que esta invención puede ponerse en práctica de forma diferente a como se describe específicamente. Por lo tanto, los ejemplos de modalidades de la invención deben considerarse ilustrativos y no restrictivos, y el alcance de la invención debe determinarse de acuerdo con toda reivindicación respaldada por la presente solicitud y sus equivalentes, en lugar de con la descripción anterior.

REIVINDICACIONES

Se reivindica lo siguiente:

1. Un sistema de refrigeración que comprende:

un evaporador que contiene un medio de refrigeración primario, el evaporador se configura para recibir un fluido de proceso y, cuando recibe el fluido de proceso, para cambiar la fase del medio de refrigeración primario de líquido a gas;

un condensador pasivo con una superficie externa y acoplado de forma fluida con el evaporador, el condensador pasivo se configura para tener un flujo de aire dirigido sobre su superficie exterior, en donde, cuando la corriente de aire se dirige sobre la superficie exterior del condensador pasivo, el condensador pasivo se configura (i) para recibir el medio de refrigeración primario en la fase gaseosa desde el evaporador, (ii) para transferir calor desde el medio de refrigeración primario, (iii) para cambiar la fase del medio de refrigeración primario de gas a líquido, y (iv) para suministrar el medio de refrigeración primario en la fase líquida al evaporador;

un intercambiador de calor acoplado de manera fluida al evaporador y configurado para tener un medio de refrigeración secundario proporcionado selectivamente a este de forma tal que:

(a) cuando el medio de refrigeración secundario se proporciona al intercambiador de calor, al menos parte del medio de refrigeración primario en la fase gaseosa pasa de ser recibido por el condensador pasivo al intercambiador de calor sin operar ninguna válvula ubicada entre el evaporador y el condensador pasivo y entre el evaporador y el intercambiador de calor, y el intercambiador de calor se configura (i) para recibir el medio de refrigeración primario en la fase gaseosa desde el evaporador, (ii) para transferir calor desde el medio de refrigeración primario, (iii) para cambiar el fase del medio de refrigeración primario de gas a líquido, y (iv) suministrar el medio de refrigeración primario en la fase líquida al evaporador; y

(b) cuando no se proporciona el medio de refrigeración secundario al intercambiador de calor, el intercambiador de calor no suministra el medio de refrigeración primario en la fase líquida al evaporador, y

una válvula de control de flujo colocada en la vía de flujo entre el intercambiador de calor y el evaporador y en la vía de flujo entre el condensador pasivo y el evaporador, la válvula de control de flujo tiene una pluralidad de posiciones abiertas y se configura para controlar el flujo

del medio de refrigeración primario en fase líquida al evaporador,

en donde el medio de refrigeración primario circula entre el evaporador y el condensador pasivo y entre el evaporador y el intercambiador de calor por circulación natural y gravedad sin una bomba en la trayectoria de flujo del medio de refrigeración primario entre el intercambiador de calor y el evaporador y entre el condensador pasivo y el evaporador para hacer circular el medio de refrigeración primario.

2. El sistema de refrigeración según la reivindicación 1, que comprende además un controlador configurado para controlar la posición de la válvula de control de flujo entre la pluralidad de posiciones abiertas.

3. El sistema de refrigeración según la reivindicación 2, en donde el controlador se configura para controlar la posición de la válvula de control de flujo en función de la cantidad de calor absorbido en el evaporador.

4. El sistema de refrigeración según la reivindicación 2, en donde el controlador se configura para controlar la posición de la válvula de control de flujo en función de la cantidad de calor rechazada por el fluido de proceso a medida que el fluido de proceso fluye a través del evaporador.

5. El sistema de refrigeración según la reivindicación 2, en donde el controlador se configura para controlar la posición de la válvula de control de flujo en función de la cantidad de calor rechazada por el condensador pasivo.

6. El sistema de refrigeración según la reivindicación 2, en donde el controlador se configura para controlar la posición de la válvula de control de flujo en función de la cantidad de calor absorbida por la corriente de aire a medida que la corriente de aire fluye a través del condensador pasivo.

7. El sistema de refrigeración según la reivindicación 2, en donde, cuando el medio de refrigeración secundario se proporciona al intercambiador de calor, el controlador se configura para controlar la posición de la válvula de control de flujo en función de la cantidad de calor rechazada por el intercambiador de calor.

8. El sistema de refrigeración según la reivindicación 2, en donde, cuando el medio de refrigeración secundario se proporciona al intercambiador de calor, el controlador se configura para controlar la posición de la válvula de control de flujo en función de la cantidad de calor absorbida por el medio de refrigeración secundario como el medio de refrigeración secundario

fluye a través del intercambiador de calor.

9. El sistema de refrigeración según la reivindicación 2, en donde el controlador se configura para controlar la posición de la válvula de control de flujo en función del sobrecalentamiento del medio de refrigeración primario en la fase gaseosa que sale del evaporador.

10. El sistema de refrigeración según la reivindicación 2, en donde el controlador se configura para controlar la posición de la válvula de control de flujo en función de si se proporciona o no el medio de refrigeración secundario al intercambiador de calor.

11. El sistema de refrigeración según la reivindicación 1, en donde el fluido de proceso es aire.

12. El sistema de refrigeración según la reivindicación 1, en donde el fluido de proceso es un líquido.

13. Un sistema electrónico que comprende:

al menos un componente electrónico enfriado por un dieléctrico; y

el sistema de refrigeración según la reivindicación 1, en donde el sistema de refrigeración enfría el dieléctrico.

14. El sistema electrónico según la reivindicación 13, en donde el fluido de proceso es el dieléctrico.

15. El sistema de refrigeración según la reivindicación 1, en donde el medio de refrigeración secundario es un refrigerante de un sistema de refrigeración de expansión directa, y el sistema de refrigeración de expansión directa incluye un compresor y una válvula de expansión.

16. El sistema de refrigeración según la reivindicación 1, en donde el medio de refrigeración secundario es agua enfriada.

17. El sistema de refrigeración según la reivindicación 1, en donde, cuando el medio de refrigeración secundario se proporciona al intercambiador de calor, parte del medio de refrigeración primario es recibido tanto por el condensador pasivo como por el intercambiador de calor para (i) transferir calor desde el medio de refrigeración primario, (ii) cambiar la fase del medio de refrigeración primario de gas a líquido y (iii) suministrar el medio de refrigeración primario en la fase líquida al evaporador.

18. Un método para enfriar un fluido de proceso, el método comprende:

dirigir un fluido de proceso a través de un evaporador para transferir calor del fluido de proceso a un medio de refrigeración primario contenido en el evaporador y cambiar el medio de refrigeración primario de una fase líquida a una fase gaseosa;

utilizar selectivamente al menos uno de un intercambiador de calor y un condensador pasivo para cambiar el medio de refrigeración primario de la fase gaseosa a la fase líquida al enfriar al menos uno del intercambiador de calor y el condensador pasivo, cada uno del intercambiador de calor y el condensador pasivo estando acoplado un condensador al evaporador para recibir el medio de enfriamiento primario en la fase gaseosa desde el evaporador y suministrar el medio de enfriamiento primario en la fase líquida al evaporador;

controlar el nivel de líquido en el evaporador; y

hacer circular el medio de refrigeración primario entre el evaporador y al menos uno del intercambiador de calor y el condensador pasivo mediante circulación natural,

en donde el intercambiador de calor se selecciona al iniciar el enfriamiento del intercambiador de calor y sin operar ninguna de las válvulas en el acoplamiento entre el evaporador y el condensador pasivo y en el acoplamiento entre el evaporador y el intercambiador de calor.

19. El método de la reivindicación 18, en donde enfriar el intercambiador de calor comprende usar un medio de refrigeración secundario para cambiar la fase del medio de refrigeración primario de gas a líquido.

20. El método de la reivindicación 18, en donde enfriar el condensador pasivo comprende dirigir una corriente de aire sobre el condensador pasivo.

21. El método de la reivindicación 18, en donde el condensador pasivo se selecciona al interrumpir el enfriamiento del intercambiador de calor y sin operar ninguna de las válvulas en el acoplamiento entre el evaporador y el condensador pasivo y en el acoplamiento entre el evaporador y el intercambiador de calor.

22. El método de la reivindicación 18, que comprende además utilizar el condensador pasivo para cambiar el medio de refrigeración primario de la fase gaseosa a la fase líquida, cuando el intercambiador de calor se selecciona mediante refrigeración del intercambiador de calor.

23. El método de la reivindicación 18, en donde el fluido de proceso es un líquido.

24. El método de la reivindicación 18, en donde controlar el nivel de líquido en el evaporador incluye colocar una válvula de control de flujo en una de una pluralidad de posiciones abiertas, y la válvula de control de flujo se ubica en la vía de flujo entre el intercambiador de calor y el evaporador y en la vía de flujo entre el condensador pasivo y el evaporador.

Resumen

Un conjunto de refrigeración incluye un evaporador que contiene un medio de refrigeración primario, un condensador pasivo, un intercambiador de calor y una válvula de control de flujo que controla el flujo del medio de refrigeración primario hacia el evaporador. Cuando se proporciona un medio de refrigeración secundario al intercambiador de calor, el medio de refrigeración primario en la fase gaseosa pasa de ser recibido por el condensador pasivo al intercambiador de calor sin operar ninguna válvula ubicada entre el evaporador y el condensador pasivo y entre el evaporador y el intercambiador de calor. El medio de refrigeración primario circula entre el evaporador y el condensador pasivo y entre el evaporador y el intercambiador de calor por circulación natural y gravedad sin una bomba en la trayectoria de flujo del medio de refrigeración primario entre el intercambiador de calor y el evaporador y entre el condensador pasivo y el evaporador para hacer circular el medio de refrigeración primario.