

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 960 695**

51 Int. Cl.:

F24F 3/14 (2006.01)

F24F 5/00 (2006.01)

A01G 9/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.04.2019** **PCT/IB2019/053399**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.02.2020** **WO20026040**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.04.2019** **E 19728522 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.07.2023** **EP 3830490**

54 Título: **Sistema de enfriador por desecante líquido y método**

30 Prioridad:

31.07.2018 US 201862712355 P

08.11.2018 US 201862757353 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.03.2024

73 Titular/es:

KING ABDULLAH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (100.0%)

**4700 King Abdullah University of Science and Technology
Thuwal 23955, SA**

72 Inventor/es:

**LEFERS, RYAN MICHAEL;
TESTER, MARK ALFRED y
LEIKNES, TOROVE**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 960 695 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de enfriador por desecante líquido y método

5 Antecedentes

Campo técnico

10 Las realizaciones de la materia descrita en el presente documento se refieren por lo general a un sistema de deshumidificador y enfriador de aire nocturno por desecante líquido (LDNC), y más específicamente, a métodos y sistemas LDNC para controlar, junto con un sistema de enfriamiento evaporativo, un entorno de un recinto.

Análisis de los antecedentes

15 El enfriamiento evaporativo se utiliza en todo el mundo para enfriar y humidificar invernaderos en climas cálidos. De especial interés en lo que se refiere al ahorro de agua dulce y energía es el uso de recursos de agua salada para el enfriamiento evaporativo (véase, por ejemplo, Davies y Paton, 2004; Kassem, 1994; Paton y Davies, 1996; Sabeh, 2007). Sin embargo, la eficacia del enfriamiento evaporativo es limitada durante períodos de alta humedad, puesto que la temperatura mínima que se puede alcanzar mediante el enfriamiento evaporativo tradicional es la temperatura del aire de bulbo húmedo. Por lo tanto, el enfriamiento evaporativo puede ser una técnica ineficaz al enfriar un recinto que opera en entornos de altas temperaturas, como es el caso de determinadas regiones y/o durante determinadas épocas del año en los países del Golfo.

25 Los desecantes líquidos se han propuesto desde hace mucho tiempo como una posible tecnología que contribuye a ofrecer enfriamiento y deshumidificación en climas cálidos y húmedos. Para la agricultura en entornos controlados, se han propuesto desecantes líquidos en combinación con procesos de enfriamiento evaporativo para lograr temperaturas más frías (véase, por ejemplo, Al- Sulaiman *et al.*, 2007; Davies, 2005; El Hourani *et al.*, 2014; Lefers *et al.*, 2016; Lychnos y Davies, 2012). Los desecantes líquidos se pueden usar también en combinación con otras formas de enfriamiento del aire, incluyendo, pero sin limitación, enfriadores mecánicos de compresión y adsorción de vapor (véase, Lowenstein, 2008; Mahmud *et al.*, 2010; Mohammad *et al.*, 2013a; Mohammad *et al.*, 2013b).

35 En lo que se refiere a la agricultura y la producción en entornos controlados, se ha sugerido que las temperaturas nocturnas deben mantenerse más frías que las diurnas. En general, los cultivadores de plantas consideran que la alta radiación solar durante el día permite que un cultivo, tal como tomates, tolere e incluso prospere a altas temperaturas, por ejemplo, en el intervalo de 27-30 °C. Por el contrario, por la noche no hay radiación solar, y como tal, los cultivadores profesionales prefieren una temperatura más fresca durante la noche, con preferencias en el intervalo de 20-23 °C. Las temperaturas exactas establecidas para el día y la noche variarán según el tipo de cultivo, variedad, temporada y preferencias/objetivos del productor.

40 Las altas temperaturas nocturnas pueden provocar un elevado uso de energía por parte de las plantas y, por tanto, consumo excesivo de azúcar, reduciendo tanto el rendimiento como la calidad de los cultivos. El impacto de la temperatura nocturna en el rendimiento y la calidad de los cultivos variará según el tipo de cultivo, variedad y temporada.

45 Además de la temperatura, los cultivos corren un mayor riesgo de contraer enfermedades debido a los altos niveles de humedad. Por lo tanto, se desea controlar no sólo la temperatura en el entorno controlado, sino también el nivel de humedad. A este respecto, la Figura 1 ilustra los niveles de humedad preferidos para plantas cultivadas en entornos controlados en relación con múltiples puntos de temperatura, siendo la temperatura más importante que la humedad. Tenga en cuenta que la humedad relativa %HR se define como la relación entre la cantidad de vapor de agua en el aire a una temperatura específica, con respecto a la cantidad máxima que el aire podría contener a esa temperatura, expresado como porcentaje, es decir, $\%HR = (\text{contenido de humedad absoluto})/(\text{contenido de humedad saturada}) \times 100 \%$. El déficit de humedad (DH) se define como la cantidad de vapor de agua que se debe añadir al aire para alcanzar el 100 % de humedad a una temperatura determinada, es decir, $DH = (\text{contenido de humedad saturada} - \text{contenido de humedad absoluta})$ medido en g/m³. La Figura 1 ilustra el déficit de humedad DH a diferentes temperaturas y humedad relativa. Los puntos de consigna de humedad preferidos corresponden a los niveles de déficit de humedad correspondientes a la evaporación normal.

60 El documento WO 2004/078322 divulga el uso de desecante líquido como filtro regenerable para capturar y desactivar contaminantes. El sistema divulgado por lo general se basa en un sistema de deshumidificación por desecante líquido convencional e incluye un acondicionador y un regenerador.

El documento WO 2016/099254 divulga un módulo de intercambio de masa y calor que incluye un deshumidificador y un enfriador evaporativo, con el deshumidificador se usa un desecante líquido para absorber la humedad.

65 Los sistemas de enfriadores evaporativos existentes no son muy eficientes para mantener un régimen de temperatura y humedad durante el día y otro durante la noche para un ambiente cerrado determinado que se

encuentra en climas cálidos y húmedos. Por lo tanto, existe la necesidad de un sistema que utilice las ventajas que ofrece un sistema de enfriador evaporativo, pero también mejorar la eficiencia de dicho sistema para diferentes regímenes de humedad y temperatura.

5 Sumario

De acuerdo con una realización, existe un sistema por desecante líquido para controlar la temperatura dentro de un recinto de acuerdo con la reivindicación 1.

10 El sistema incluye un sistema de enfriador evaporativo configurado para enfriar una corriente de aire AA que ingresa al recinto durante el día; un sistema de enfriador nocturno por desecante líquido (LDNC) configurado para enfriar y secar una corriente de aire interior AE del recinto mediante el uso de un desecante líquido durante la noche; y un controlador configurado para encender el sistema LDNC durante la noche.

15 De acuerdo con otra realización, existe un método para enfriar y eliminar la humedad de una corriente de aire AE dentro de un recinto de acuerdo con la reivindicación 11. El método incluye una etapa de tomar la corriente de aire AE del recinto, una etapa de enfriamiento y secado de la corriente de aire AE con un deshumidificador para obtener una corriente de aire enfriado y seco AF, una etapa de devolver la corriente de aire enfriado y seco AF al recinto, y una etapa de enfriar un desecante líquido del deshumidificador con un sistema de enfriador.

20 Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones preferidas de la invención. De acuerdo con una realización ilustrativa que no está de acuerdo con la presente invención, existe un método para enfriar y eliminar la humedad de una corriente de aire AE dentro de un recinto. El método incluye una etapa de recibir la corriente de aire AE del recinto, una etapa de enfriar la corriente de aire AE con un sistema de enfriador para generar una corriente de aire enfriada AE', una etapa de eliminar la humedad de la corriente de aire enfriado AE' con un desecante líquido de un deshumidificador de desecante líquido, para generar una corriente de aire enfriado y seco AF, y una etapa de devolver la corriente de aire enfriado y seco AF al recinto.

25 Breve descripción de los dibujos

30 Los dibujos adjuntos, que se incorporan y constituyen una parte de la memoria descriptiva, ilustran una o más realizaciones y, junto con la descripción, explican estas realizaciones. En los dibujos:

35 la Figura 1 ilustra un déficit de humedad para plantas para diversas temperaturas y humedades relativas;

la Figura 2 ilustra un recinto cuya atmósfera está controlada con un sistema de enfriador evaporativo y un sistema de deshumidificador y enfriador de desecante líquido;

40 la Figura 3 ilustra un sistema de deshumidificador y enfriador de desecante líquido;

la Figura 4 es un diagrama de flujo de un método para operar el sistema de deshumidificador y enfriador de desecante líquido;

45 la Figura 5 ilustra otro sistema de deshumidificador y enfriador de desecante líquido;

la Figura 6 es un diagrama de flujo de un método para operar otro sistema de deshumidificador y enfriador de desecante líquido;

50 la Figura 7 ilustra un deshumidificador del sistema de deshumidificador y enfriador de desecante de líquido;

la Figura 8 es un gráfico psicrométrico;

55 la Figura 9 ilustra la humedad relativa del aire dentro del recinto durante el día y la noche, cuando se usa un sistema de enfriamiento evaporativo tradicional;

la Figura 10 ilustra la temperatura del aire dentro del recinto durante el día y la noche cuando se usa el sistema de enfriamiento evaporativo;

60 la Figura 11 ilustra la temperatura del aire dentro del recinto durante el día y la noche cuando se usa el sistema de deshumidificador y enfriador de desecante líquido;

la Figura 12 ilustra el consumo de energía de un sistema de AC tradicional, un sistema de enfriamiento evaporativo tradicional, un sistema de enfriamiento evaporativo y un sistema de deshumidificador y enfriador de desecante líquido;

65 la Figura 13 es un diagrama de flujo de un método para hacer funcionar el sistema de deshumidificador y enfriador

de desecante líquido; y

la Figura 14 es un diagrama de flujo de un método para hacer funcionar el otro sistema de deshumidificador y enfriador de desecante líquido.

Descripción detallada

La siguiente descripción de las realizaciones se refiere a los dibujos adjuntos. Los mismos números de referencia en diferentes dibujos identifican los mismos elementos o similares. La siguiente descripción detallada no limita la invención. En su lugar, el alcance de la invención se define mediante las reivindicaciones adjuntas. Se analizan las siguientes realizaciones, por simplicidad, con respecto a un invernadero que tiene un sistema de enfriador evaporativo para su uso durante el día y un enfriador y deshumidificador de desecante líquido para su uso durante la noche. Sin embargo, aunque no se reivindica actualmente, es posible ejecutar los dos sistemas en diferentes intervalos de tiempo, no sólo de día o de noche.

La referencia a lo largo de la memoria descriptiva a "una realización" o "la realización" significa que un elemento, estructura o característica particular descrito en relación con una realización se incluye en al menos una realización de la materia objeto divulgada. Por tanto, la presencia de la expresión "en una realización" en varios lugares de la memoria descriptiva, no tiene por qué referirse necesariamente a la misma realización. Además, los elementos, estructuras o características particulares pueden combinarse de cualquier forma adecuada en una o más realizaciones.

De acuerdo con una realización ilustrada en la Figura 2, un sistema de control de temperatura y humedad 200 incluye un sistema de enfriamiento evaporativo 210 para usarse durante el día y un sistema de deshumidificador y enfriador de desecante líquido (LDNC) 220 para usarse durante la noche (obsérvese que el LDNC se puede usar también para la luz diurna). Durante el día, una corriente de aire exterior AA se aspira en una entrada 230-1 al sistema de enfriamiento evaporativo 210, en el que el calor sensible (temperatura) se intercambia por calor latente (humedad) mediante la evaporación del agua. Se induce un flujo de aire a través del recinto con un sistema de accionamiento de aire 240 (por ejemplo, ventiladores) y/o corrientes de viento naturales. Para la sostenibilidad, se prefiere usar agua de mar o salobre en el proceso de enfriamiento evaporativo cuando esté disponible y sea accesible, para evitar la huella energética y de carbono de la desalinización. A continuación se descarga la corriente de aire enfriada AB (opcionalmente, a través de un sistema de tuberías 250) hacia el invernadero 202. Las plantas 204 presentes en el invernadero interactúan con la corriente de aire AB, por ejemplo, transfiriendo humedad a la corriente de aire a través de la transpiración. A continuación, el ventilador 240 fuerza la corriente de aire húmedo AC a salir del invernadero por una salida AD.

Por la noche, la corriente de aire AC no se descarga desde el invernadero 202, sino que se recicla dentro del invernadero 202. La corriente de aire reciclado AC se toma en una entrada interna 230-3 y se enfría y deshumidifica mediante el sistema de enfriador nocturno por desecante líquido 220 para generar una corriente de aire enfriado y seco AF. Este proceso es aplicable también en sistemas agrícolas con iluminación artificial donde la luz natural se reduce o se bloquea por completo (como en un almacén, fábrica de plantas o granja vertical). En estos sistemas, el reciclaje del aire interior es deseable y posible. La corriente de aire enfriado y seco AF luego regresa directamente al recinto 202 a través de un puerto 230-4, o se pasa adicionalmente a través del puerto 230-5 para enfriarse con el sistema de enfriamiento evaporativo 210 y se descarga después en el recinto 202. El aire se puede devolver con o sin tuberías 250.

A continuación se analiza el sistema LDNC 220, en una primera implementación, con respecto a la Figura 3. El sistema LDNC incluye un deshumidificador 300 que tiene un recipiente 302 que contiene una cierta cantidad de desecante líquido 304. Una bomba P1 ubicada en el recipiente 302 (obsérvese que la bomba también puede estar ubicada fuera del recipiente 302) bombea el desecante líquido 304, a través de una válvula V1, a una almohadilla 306, formada de un material poroso. La almohadilla 306 tiene muchos canales que promueven el movimiento de la corriente de aire entrante AE a través de la misma. Por ejemplo, la almohadilla puede incluir, pero no se limita a, membranas de fibra hueca, membranas de hoja plana, lechos de medios empaquetados, almohadillas de celulosa, cojines del polipropileno, etc. Al mismo tiempo, el desecante líquido 304, que se libera en la parte superior 306A de la plataforma 306, fluye debido a la gravedad y/o presión a través de la almohadilla, hasta llegar de regreso al recipiente 302. Tenga en cuenta que la parte inferior 306B de la almohadilla 306 está ubicada en el recipiente 302 o se comunica fluidamente con el mismo de manera que la solución desecante regresa al recipiente de almacenamiento 302.

Como resultado del hecho de que la corriente de aire AE es caliente y húmeda, tener una presión de vapor superior a la presión de vapor del desecante líquido 304, la interacción entre la corriente de aire AE y el desecante líquido 304 dentro de la almohadilla 306 produce una corriente de aire más seca AF a medida que la humedad y el calor se transfieren desde la corriente de aire AE al desecante líquido. La corriente de aire AF se descarga directamente al invernadero a través del puerto 230-4 como se muestra en la Figura 2, o se puede suministrar a un sistema adicional, por ejemplo, el sistema de enfriamiento evaporativo 210, a través de otro puerto 230-5, como también se muestra en la Figura 2. Tenga en cuenta que un sistema de control 260, como también se muestra en la Figura 2, es

responsable de abrir o cerrar los puertos 230-4 y 230-5 según sea necesario. Por ejemplo, a partir de diversas lecturas que se comentarán más adelante, el controlador 260 puede cerrar el puerto 230-3 durante el día y abrir el puerto 230-1 de modo que la corriente de aire exterior AA se enfríe mediante el sistema de enfriamiento evaporativo 210 durante el día. Sin embargo, durante una noche con condiciones climáticas indeseables, el controlador está configurado para cerrar el puerto 203-1 de modo que no se tome corriente de aire del exterior del recinto. La corriente de aire AC se recircula a través del sistema LDNC 220, abriendo el puerto 230-3 y usando el puerto 230-4 o el puerto 230-5 para descargar la corriente de aire deshumidificada AE, ya sea directamente en el recinto 202 o en el sistema de enfriamiento evaporativo 210. Durante la noche, el controlador 260 cierra también el puerto 230-2 para que no se intercambie aire con el exterior del recinto. Se puede conectar más de un sistema adicional en serie con el sistema LDNC 220 para enfriar aún más la corriente de aire AF. El sistema adicional puede ser una unidad de AC tradicional o un sistema de enfriamiento evaporativo u otro tipo de sistema.

Cuando el desecante líquido 304 se debilita, es decir, su presión de vapor aumenta por encima de la presión de vapor de la corriente de aire entrante AE, y aumenta también la temperatura del desecante líquido, el sistema de control 260 puede arrancar la bomba P2 de un tanque de almacenamiento S, para llevar desecante líquido nuevo 305 al recipiente 302, y para eliminar también parte del desecante líquido débil 304 del recipiente 302. Para esta operación, el sistema de control 260 recibe lecturas de líquido, densidad, conductividad, índice de refracción, temperatura y/u otras que se convierten a una intensidad de humedad relativa de equilibrio de las lecturas del desecante del sensor WS1 ubicado en el desecante líquido 304, y también lecturas de humedad y temperatura del sensor AS1 ubicado en la entrada 308. Después de comparar las dos humedades medidas, si la presión de vapor en el desecante líquido es mayor que la presión de vapor en la corriente de aire entrante, el sistema de control cierra las válvulas V1 y V4, y abre las válvulas V2 y V3 para refrescar el desecante líquido en el recipiente 302. La válvula V5, si está presente, se abre también por el sistema de control 260 para refrescar el desecante líquido.

La Figura 3 muestra además que un intercambiador de calor 320, que forma parte de un sistema de enfriador 330, está conectado de manera fluida al tanque de almacenamiento S de manera que el desecante líquido 305 pueda ser bombeado por la bomba P2, a través de las válvulas V5 y V4 al intercambiador de calor, y después de regreso al tanque de almacenamiento S. Si esta acción tiene lugar, el desecante líquido de alta presión de vapor 304, recibido por el tanque de almacenamiento S desde el recipiente 304, se enfría en el intercambiador de calor 320, de modo que el desecante líquido que ha regresado al tanque de almacenamiento S esté listo para usarse nuevamente junto con la almohadilla 306. El intercambiador de calor 320 puede usar un fluido (por ejemplo, agua) desde un enfriador de líquido 331 para enfriar el desecante líquido 304. El enfriador de líquido 331 puede ser alimentado desde la red 332 o desde fuentes de energía alternativas, por ejemplo, paneles solares 334 instalados en o junto al invernadero, generadores eólicos, de diésel, etc.

El enfriador 331 puede ser un enfriador de velocidad variable conectado directamente a paneles solares fotovoltaicos 334 o un enfriador de velocidad única conectado a la red 332. Todas las tuberías, tanques de almacenamiento, válvulas, bombas y otros componentes pueden estar hechos de materiales resistentes a la corrosión (por ejemplo, plástico). El tanque de almacenamiento S puede incluir más de un tanque y más de una bomba. El deshumidificador 300 puede incluir más de una unidad y puede incluir más de una bomba y puede construirse en cualquier configuración. Los sensores de aire AS1 y AS2 pueden incluir, pero no se limitan a, sensores de temperatura, humedad relativa y CO₂. La cantidad de sensores de aire puede variar. Los sensores de líquido WS1 y WS2 pueden incluir, pero no se limitan a, sensores de temperatura, nivel de líquido, conductividad, índice de refracción y de densidad. La cantidad de sensores de líquido variará. El tamaño y tipo de componentes también pueden variar dependiendo de la temperatura y humedad del ambiente, y también del tamaño del recinto que necesita ser controlado.

Durante el funcionamiento, el sistema LDNC 220 ejecuta las etapas descritas a continuación con respecto al diagrama de flujo mostrado en la Figura 4. Al comienzo de la noche (o cualquier período de enfriamiento/deshumidificación adicional como se requiere en un sistema agrícola con iluminación artificial), se bombea un desecante líquido frío (baja presión de vapor), fuerte 304 en la etapa 400, a través de la bomba P1, a través de la válvula V1 (V2 está cerrada) para humedecer la almohadilla de medio poroso 306 (u otro intercambiador de calor y masa) de modo que la corriente de aire caliente y húmedo AE (puede reciclarse del invernadero) pase en la etapa 402 a través de la almohadilla de medio poroso 306, para obtener la corriente de aire seca y enfriada AF. La corriente de aire seca y enfriada AF entra en la etapa 404 directamente al invernadero o pasa por etapas de enfriamiento adicionales y después entra al invernadero.

A medida que pasa el tiempo, el desecante líquido 304 se vuelve más débil (mayor presión de vapor) a medida que la temperatura del desecante líquido aumenta a medida que el agua (humedad) se absorbe en el desecante líquido desde la corriente de aire AE. Cuando y si se alcanza un punto en el que se necesita enfriamiento o deshumidificación adicional más allá de lo que el desecante líquido 304 puede proporcionar, según lo determinado por el sistema de control 260 en la etapa 406 usando el sensor de líquido WS1 y los sensores de aire AS1 y AS2, se puede agregar desecante líquido frío y fuerte adicional en la etapa 408 al sistema con la bomba P2, desde el tanque de almacenamiento S a través de la válvula V3, con V4 cerrada, y/o se puede bombear un desecante tibio y débil desde el deshumidificador 300 al tanque de almacenamiento S, por bomba a través de P1, con la válvula V1 cerrada y la válvula V2 abierta.

Después de un cierto período de tiempo, el desecante líquido 304 en el recipiente 302 puede alcanzar una presión de vapor mayor que la corriente de aire entrante AE. Esto se debe a la oscilación normal diurna y a las variaciones naturales en los niveles de temperatura y humedad relativa del ambiente, donde las temperaturas diurnas tienden a ser más altas con una humedad relativa más baja y las temperaturas nocturnas tienden a ser más bajas con una humedad relativa más alta, mientras que el clima también variará según los patrones climáticos, como los frentes fríos, etc. En este momento, el desecante líquido 304 en el recipiente 302 cambia naturalmente a un modo de evaporación cuando la presión de vapor del desecante líquido 304 está por encima de la corriente de aire AE. Por tanto, en la etapa 410 el desecante líquido libera el vapor de agua que fue capturado para enfriar el aire, aumentando la fuerza (disminuyendo la presión de vapor) del desecante líquido. Cuando se ha alcanzado una densidad y/o presión de vapor establecidas del desecante líquido, según lo determinado en la etapa 412 por el sistema de control 260, basándose en las lecturas del sensor WS1, el desecante líquido 304 se cicla en la etapa 414, bombeándolo con la bomba P1 a través de la válvula V2 (V1 está cerrada) al tanque de almacenamiento S.

El desecante líquido 305 en el tanque de almacenamiento térmico S es enfriado por el sistema de enfriador 330 en la etapa 416. La bomba P2 mueve en esta etapa el desecante líquido 305 del tanque de almacenamiento S al intercambiador de calor 320 del sistema de enfriador 330 a través de la válvula V4, mientras la válvula V3 está cerrada. Como las tuberías 340 hacia/desde el intercambiador de calor 320 (el intercambiador de calor puede ser, por ejemplo, el evaporador de tipo placa del sistema de enfriamiento mecánico) están cerradas, el desecante líquido enfriado 305 vuelve naturalmente al tanque de almacenamiento S, del intercambiador de calor 320, siempre que la bomba P2 esté funcionando con V4 abierta y V3 cerrada.

Cuando se desee, el desecante líquido frío se bombea con la bomba P2 con V3 abierto y V4 cerrado al recipiente 302 y el proceso regresa a la etapa 400. La cantidad total desecante líquido bombeado desde el tanque de almacenamiento S dependerá del enfriamiento total del aire requerido por el invernadero, según lo determinado por los sensores AS1, la fuerza del desecante líquido según lo determinado por el sensor WS2, y la capacidad del recipiente 302 según lo determinado por WS1 y la entrada inicial del usuario.

El sistema LDNC 220 se puede implementar en una configuración diferente a la que se muestra en la Figura 2. Esta nueva configuración se analiza ahora con respecto a la Figura 5. En esta configuración, el sistema LDNC 220 primero preenfía la corriente de aire entrante AE con un sistema de enfriador de aire 510, y deshumidifica después la corriente de aire resultante AE' con el deshumidificador de desecante líquido 530, para obtener la corriente de aire más seca y fría AF. Para esta realización, también es posible que la corriente de aire AE se deshumidifique primero con el deshumidificador 530 y se enfríe después con el sistema de enfriador 510, es decir, se puede intercambiar el orden de enfriamiento y deshumidificación. La corriente de aire AE es la corriente de aire interior que se muestra en la Figura 2. Sin embargo, en una realización modificada, el aire exterior AA puede proporcionarse al sistema LDNC 220. En una aplicación, es posible que la corriente de aire AE sea una combinación de aire interior AC y aire exterior AA.

El sistema de enfriador de aire 510 mostrado en la Figura 5 incluye un intercambiador de calor 512 y un enfriador 514. Un fluido (por ejemplo, aire) se intercambia entre el intercambiador de calor 512 y el enfriador 514 para enfriar la corriente de aire entrante AE. El enfriador 514 está conectado a una fuente de alimentación 516, que puede ser la red o una fuente autónoma, por ejemplo, un módulo solar. La corriente de aire entrante AE se recibe en una entrada 518, que dirige el aire al intercambiador de calor 512. Se coloca un sensor AS1 en la entrada y se configura para medir la presión de vapor de la corriente de aire entrante AE. Se envían las lecturas del sensor AS1, de forma cableada o inalámbrica, al controlador 260. Una vez enfriada la corriente de aire AE, la corriente de aire resultante AE' avanza a través de un conducto 520 hasta el deshumidificador 530. El deshumidificador 530 incluye un recipiente 532 que almacena el desecante líquido 534. Se proporciona una almohadilla 536 (similar a la almohadilla 306) con un extremo en el desecante líquido 534 y con el otro extremo extendiéndose alejándose del recipiente 532. Una bomba P1 bombea el desecante líquido 534 a la parte superior de la almohadilla 536 y el desecante líquido regresa al recipiente 532 a través de la almohadilla, al mismo tiempo que interactúa con la corriente de aire AE'. Durante esta interacción, el desecante líquido elimina el vapor de agua de la corriente de aire AE', lo que da como resultado una corriente de aire enfriado y seco AF. La corriente de aire AF regresa a través de la salida 540 al invernadero 202 o a otro sistema de enfriamiento. Se coloca un sensor AS3 en la salida 540 para medir la presión de vapor y se coloca un sensor WS1 en el recipiente 532 para medir la presión de vapor del desecante líquido. Todos los sensores y la bomba están configurados para intercambiar información con el controlador 260.

La Figura 6 ilustra un diagrama de flujo de un método para operar el LDNC 220 implementado en la realización de la Figura 5. Durante los períodos de alta humedad, cuando se requiere enfriamiento, según lo determinado en la etapa 600 por el controlador 260 basándose en las lecturas del sensor AS1, si la presión de vapor del desecante es inferior a la del aire, según lo determinado en la etapa 602 por el controlador 260 basándose en las lecturas de los sensores AS1, AS2 y WS1, el enfriador de aire se pone en marcha en la etapa 604 para enfriar la corriente de aire entrante AE. Si la corriente de aire entrante requiere eliminación de humedad, según lo determinado en la etapa 606 por el controlador 260 basándose en las lecturas de los sensores de aire AS2 y AS3, y el desecante líquido 534 es lo suficientemente fuerte según lo determinado por el controlador 260 basándose en las lecturas del sensor de líquido WS1, la bomba deshumidificadora P1 se enciende en la etapa 608. La corriente de aire AE puede requerir

enfriamiento, deshumidificación, o una combinación de ambos.

Durante los períodos de baja humedad, cuando se requiere también enfriamiento según lo determinado en la etapa 610 por el controlador 260 basándose en las lecturas del sensor AS1, si la presión de vapor del desecante es superior a la del aire, como también lo determina el controlador 260 basándose en lecturas de los sensores AS1 y WS1, después, el sistema de enfriador 510 se apaga en la etapa 612 y la bomba P1 se enciende en la etapa 614 para utilizar el deshumidificador basado en desecante líquido 530 como un sistema de enfriador evaporativo. Estas etapas recargan el desecante líquido para su posterior uso en el deshumidificador.

Durante los períodos en los que no es necesario utilizar el desecante líquido como enfriador evaporativo o deshumidificador, según lo determinado por el controlador 260 en la etapa 616, basándose en las lecturas de los sensores AS1, AS2, AS3 y WS1, después la bomba P1 se apaga en la etapa 618.

Como en la realización anterior, las tuberías, las bombas y otros componentes pueden fabricarse para que sean resistentes a la corrosión (por ejemplo, plástico). El deshumidificador 530 puede incluir más unidades y puede incluir más de una bomba y puede construirse en cualquier configuración. El enfriador puede ser de cualquier tipo. Un ejemplo de sistema de enfriamiento que combina bien con el sistema 220 es un enfriador de tipo "nevera". En este sistema, la energía solar se puede capturar a través de paneles solares fotovoltaicos colocados en el invernadero, y la energía generada se dirige a un enfriador con compresor de velocidad variable para almacenamiento térmico. La nevera de almacenamiento térmico se puede utilizar en cualquier momento para enfriar el aire. Otro sistema de enfriamiento que combina bien con el sistema 220 es un aire acondicionado con compresor de velocidad variable, lo que permite un enfriamiento sensible y personalizado del aire antes de la deshumidificación según las aportaciones del usuario. El enfriador puede incluir más de una unidad y puede construirse en cualquier configuración.

Los sensores de aire pueden incluir, pero no se limitan a, sensores de temperatura, humedad relativa y CO₂. La cantidad de sensores de aire puede variar. Los sensores de líquido pueden incluir, pero no se limitan a, sensores de temperatura, nivel de líquido, conductividad, índice de refracción y de densidad. El número de sensores puede variar. Se prefiere que el sistema 220 se combine con un enfriador evaporativo para un enfriamiento energéticamente eficiente durante períodos de baja humedad, pero esto no es un requisito. Para la agricultura de invernadero, el enfriamiento nocturno se puede lograr con el sistema descrito en el presente documento. Para la agricultura con iluminación artificial, el enfriamiento durante períodos oscuros (luces apagadas) se puede lograr con el sistema descrito en este documento.

Las diferencias entre el sistema de enfriador nocturno por desecante líquido 220 y el enfriador evaporativo tradicional de "almohadilla y ventilador" incluyen, pero no se limitan a, el área de almacenamiento de líquidos (es decir, el recipiente). Como se ilustra en la Figura 7, un deshumidificador 700, que puede ser el deshumidificador 300 o el deshumidificador 530, incluye un recipiente 702 que está diseñado para acomodar un gran volumen de líquido desecante, normalmente, pero sin limitación, 300-500 litros por metro lineal de longitud de almohadilla. Este tanque de almacenamiento 702 también está diseñado para estar aislado térmicamente del medio ambiente, al tener paredes aisladas 704 y parte inferior 706, y una parte superior térmica flotante 710, que flota sobre el desecante líquido, para reducir al mínimo el calor intercambiado entre el desecante líquido 712 y el ambiente 714. La Figura 7 muestra también que la bomba P1 bombea el desecante líquido 712 a través de una tubería 716 hasta la parte superior de la almohadilla 720. La tubería 716 está situada dentro de la almohadilla 720. Sin embargo, la tubería puede también estar ubicada fuera de la almohadilla, como se muestra en las Figuras 3 y 5.

El volumen del recipiente 702 se elige para contener una cantidad de desecante líquido necesario para la deshumidificación nocturna en un clima seco y cálido. Por ejemplo, para Jeddah, Arabia Saudita, la cantidad de desecante líquido necesaria durante las horas nocturnas depende de la opción de configuración, es decir, (i) enfriamiento de líquido desecante como en la realización de la Figura 3 o (ii) enfriamiento de aire con deshumidificación desecante únicamente, como en la realización de la Figura 5. Cuando se utiliza una solución desecante de MgCl₂, la opción (i) requeriría volúmenes de almacenamiento desecante del orden de aproximadamente 1 a 2 litros por m³ de volumen de aire en entorno controlado. Para la opción (ii), el volumen de almacenamiento desecante puede ser tan solo 0,1 litros desecante líquido por m³ de volumen de aire en entorno controlado. Sin embargo, para esta opción, será necesario un sistema de enfriamiento cuatro veces mayor debido a una carga máxima elevada (incluyendo, pero sin limitación, durante la primera hora del enfriamiento del aire nocturno.) Aunque la opción (i) requiere un mayor volumen total de almacenamiento, el líquido desecante puede actuar como una "batería" de almacenamiento de enfriamiento, permitiendo el enfriamiento del líquido durante un período de tiempo más largo y, por lo tanto, una carga máxima más pequeña y un tamaño total más pequeño del enfriador.

Para la opción (i), usar el desecante líquido para enfriar el aire y deshumidificarlo, el desecante líquido debe enfriarse lo suficiente para absorber los kJ de energía que se le transferirán desde la corriente de aire AC del entorno cálido y húmedo controlado. En un caso modelado, se estima que es aproximadamente 70 kJ/m³ del volumen de entorno controlado. Enfriar el desecante líquido con el sistema de enfriador 330 aumenta su potencial de deshumidificación (reduciendo la presión de vapor) y también le permite actuar como disipador de calor (bajo kJ/kg desecante líquido). Cuando se toma la humedad del aire, el calor latente de condensación se "libera" como kJ de

calor sensible (aumento de temperatura). Este calor de condensación debe disiparse al aire o al desecante líquido. Al enfriar el desecante líquido antes de la deshumidificación (eliminando kJ), el desecante líquido puede actuar como un disipador de calor para tomar estos kJ adicionales mientras aún enfría el aire (o, al menos, no calentar el aire).

Para la opción (ii), no es necesario enfriar el desecante líquido, a medida que el enfriador de aire 510 elimina los kJ de la corriente de aire AC. El enfriador de aire 510 es capaz de enfriar el aire hasta el punto de rocío, donde la humedad se elimina a medida que el agua líquida se condensa del aire. Sin embargo, en un sistema de enfriador solo (sin desecante), el enfriador de aire debe enfriar demasiado el aire para alcanzar su punto de rocío y eliminar el exceso de humedad. Por ejemplo, si la temperatura del aire y la humedad relativa objetivo (dentro del invernadero) son 22 °C y 70 % de humedad relativa, respectivamente, entonces, primero es necesario enfriar el aire hasta su temperatura de punto de rocío de 16,3 °C y después, es necesario recalentar el aire para pasar de 16,3 °C con una humedad relativa del 100 % a 22 °C y una humedad relativa del 70 % (agregando ~6 kJ/kg de aire), como se muestra en la línea 800 del gráfico psicrométrico de la Figura 8. Tenga en cuenta que el eje X en la Figura 8 muestra la temperatura y el eje Y indica la humedad. En la opción propuesta (ii), el aire solo necesita ser enfriado por el enfriador de aire a 18,3 °C con una humedad relativa del 100 % (la temperatura de bulbo húmedo). A continuación, el desecante líquido se puede utilizar para intercambiar naturalmente la humedad por temperatura, como se muestra en la línea 802 en la Figura 8. En este caso, el enfriamiento por aire combinado con un desecante líquido para la deshumidificación ahorra aproximadamente un 15 % en términos de energía eléctrica para el enfriamiento a través del enfriador de aire más la energía adicional para el recalentamiento. De forma adicional, el vapor de agua capturado en el desecante líquido se puede reutilizar para enfriar el aire por evaporación durante el día, cuando se regenera el desecante líquido, ahorrando agua y energía adicionales.

Independientemente de si el desecante líquido se utiliza para enfriar mediante la opción (i) o (ii), la humedad que se absorbe en el desecante líquido como agua líquida debe eliminarse para mantener el potencial deshumidificador del desecante líquido en su nivel deseado. La presión de vapor del desecante líquido a menudo se comunica como su humedad relativa de equilibrio (ERH) a la misma temperatura que el aire. En las presentes realizaciones, el sistema de deshumidificador/enfriador nocturno por desecante líquido 220 se utiliza (1) durante el día como un enfriador evaporativo/regenerador de desecante para reducir la ERH del desecante líquido a los niveles deseados para la deshumidificación nocturna y (2) para proporcionar enfriamiento adicional para el entorno controlado. La ERH deseada del desecante líquido variará, pero para el caso modelado en Thuwal, Arabia Saudita, la ERH deseada es aproximadamente del 65 % al comienzo del ciclo de deshumidificación y enfriamiento nocturno. Por lo tanto, la humedad ambiental debe descender a un valor igual o inferior al 65 % durante las horas del día para permitir la regeneración del desecante a medida que el agua líquida se evapora del desecante líquido.

A este respecto, la Figura 9 muestra cómo la humedad relativa ambiental por lo general varía según el ciclo diurno, con una humedad nocturna por lo general más alta de 902 y una humedad diurna más baja de 904. La Figura 9 representa la humedad relativa del aire ambiente versus el tiempo, donde el tiempo corresponde a un par de días de agosto. También se traza un objetivo 900. Se puede ver que los niveles de humedad caen por debajo del objetivo de ERH deseado de 900 en ciertos momentos del día durante todos los días de la semana de ejemplo, permitiendo que el desecante líquido se regenere y proporcionando enfriamiento evaporativo adicional para el entorno controlado.

La Figura 10 muestra la temperatura interior que se puede alcanzar con un sistema de enfriamiento evaporativo tradicional durante el caluroso y húmedo mes de agosto, usando datos reales obtenidos de un enfriador evaporativo de agua de mar instalado en un invernadero en Thuwal, Arabia Saudita, del 1 al 3 de agosto de 2016. Como puede verse a partir de la Figura, el sistema de enfriamiento evaporativo es capaz de alcanzar los objetivos de temperatura durante las horas del día (puntos redondos relacionados con la línea objetivo 1000), pero no es capaz de cumplir los objetivos durante las horas nocturnas (diamantes relacionados con la línea objetivo 1010) debido a la alta humedad ambiental (a pesar de las cargas de energía reducidas durante la noche si se utiliza enfriamiento evaporativo en lugar de enfriamiento por AC/mecánico).

Sin embargo, cuando el mismo recinto en las mismas condiciones se enfría con el sistema 220 descrito anteriormente, porque el sistema LDNC 220 combina desecantes líquidos con otras formas de enfriamiento, se pueden cumplir los objetivos de temperatura tanto diurnos (puntos) como nocturnos (triángulos) (véase la temperatura del aire objetivo para el día 1100 y la noche 1110 en la Figura 11) para el cultivo de cultivos en entornos controlados con un consumo mínimo de energía adicional de la red. La Figura 11 ilustra un ejemplo de temperaturas teóricas de modelos desarrollados que se pueden lograr combinando un sistema de enfriamiento nocturno por desecante líquido con un enfriador evaporativo de agua salada diurno usando los datos de entrada del experimento del 1 al 2 de agosto de 2016 ilustrado en la Figura 10.

La Figura 12 muestra el consumo diario estimado de energía eléctrica para tres tipos de sistemas de enfriamiento para un invernadero acristalado de 2.000 m² en Thuwal, Arabia Saudita durante el período del 1 de agosto de 2016. El primer sistema es un sistema mecánico tradicional de compresión de vapor que se utiliza durante todo el día (aire acondicionado = AC). Las temperaturas alcanzadas son las que se muestran para el enfriamiento evaporativo diurno con desecante líquido nocturno en la Figura 11. El segundo sistema es un sistema tradicional de enfriamiento evaporativo que se usa todo el día y supone que no hay desalinización del agua de entrada (las temperaturas alcanzables se muestran en la Figura 10). El tercer sistema es un enfriador evaporativo para uso diurno (ECD)

combinado con un enfriador nocturno por desecante líquido (LDNC 220) y las temperaturas alcanzables se muestran en la Figura 11.

El sistema ECD+LDNC que usa la configuración de la opción (i) con PV solar conectada al sistema de enfriamiento ahorra un consumo significativo de energía eléctrica de la red en comparación con el sistema de AC tradicional (AC ~4 veces más) y solo consume un poco más de energía eléctrica de la red que un enfriador evaporativo que funciona todo el día (-1,2 veces más) mientras se satisfacen los deseos de los cultivadores de plantas de mayor enfriamiento por la noche, como se ilustra en la Figura 12. En términos del gasto operativo mensual estimado, los OPEX eléctricos esperados son: AC=\$3.860; EC independiente = \$770; y ECD + LDNC=\$930 (asumiendo una tarifa eléctrica de \$0,08/kWh). Suponiendo un precio en finca de \$5/kg de hortalizas producidas, el invernadero necesitaría producir 3,6 kg/m²/año más con el AC que con el EC para justificar el OPEX añadido, mientras que el invernadero sólo necesita producir 0,2 kg/m²/año más con el ECD + LDNC para justificar el OPEX agregado. Por lo tanto, el ECD + LDNC es muy prometedor para enfriar eficientemente el invernadero, de modo que la producción y las ganancias puedan aumentar por encima de lo que se podría lograr solo con el enfriamiento evaporativo tradicional en climas cálidos y húmedos.

Se espera que el sistema ECD + LDNC cumpla con los puntos de consigna deseados por los productores en cuanto a temperatura y humedad para la agricultura en entorno controlado en climas cálidos y húmedos con una huella energética significativamente menor que la que se podría lograr con el enfriamiento de AC tradicional. Como tal, el sistema LDNC divulgado en el presente documento tiene un gran potencial para aumentar la cantidad y calidad del producto con una menor huella energética y costes y, por lo tanto, también aumentará los ingresos y la sostenibilidad de la agricultura en entorno controlado para los productores en estos climas.

A continuación se analiza un método para implementar la opción (i) con respecto a la Figura 13. El método incluye una etapa 1300 de tomar la corriente de aire AE del recinto, una etapa 1302 de enfriamiento y secado de la corriente de aire AE con un deshumidificador 300 para obtener una corriente de aire enfriado y seco AF, una etapa 1304 de devolver la corriente de aire enfriado y seco AF al recinto, y una etapa 1306 de enfriar un desecante líquido del deshumidificador 300 con un sistema de enfriador. El método incluye además una etapa de cerrar, durante la noche, los puertos que permiten que el aire exterior entre al recinto y que el aire interior escape del recinto, y una etapa de procesar la corriente de aire enfriado y seco AF con un sistema de enfriamiento evaporativo antes de devolverla al recinto. Un controlador 260 (por ejemplo, un procesador) decide cuándo cerrar o abrir los puertos e iniciar o detener el deshumidificador y el sistema de enfriamiento evaporativo, basándose en lecturas de presión de vapor de la corriente de aire AE y el desecante líquido.

Un método para implementar la opción (ii) - aunque no se reivindica en la presente invención - se analiza ahora con respecto a la Figura 14. El método incluye una etapa 1400 de recibir la corriente de aire AE del recinto, una etapa 1402 de enfriar la corriente de aire AE con un sistema de enfriador 510 para generar una corriente de aire enfriada AE', una etapa 1404 de eliminar la humedad de la corriente de aire enfriado AE' con un desecante líquido de un deshumidificador de desecante líquido 530, para generar una corriente de aire enfriado y seco AF, y una etapa 1406 para devolver la corriente de aire enfriado y seco AF al recinto.

El método puede incluir además una etapa de cerrar, durante la noche, los puertos que permiten que el aire exterior entre al recinto y que el aire interior escape del recinto, y/o una etapa de procesar la corriente de aire enfriado y seco AF con un sistema de enfriamiento evaporativo antes de devolverla al recinto. El controlador 260 decide cuándo cerrar o abrir los puertos e iniciar o detener el deshumidificador de desecante líquido y el sistema de enfriamiento evaporativo, basándose en lecturas de presión de vapor de la corriente de aire AE y el desecante líquido.

Las realizaciones descritas proporcionan un sistema de deshumidificador y enfriador de desecante líquido que se puede usar durante la noche en un recinto para lograr una temperatura y/o humedad deseada. Debe entenderse que esta descripción no pretende limitar la invención. Por el contrario, las realizaciones ilustrativas están destinadas a cubrir alternativas, modificaciones y equivalentes, que se incluyen en el alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas. Además, en la descripción detallada de las realizaciones ilustrativas, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar un entendimiento general de la invención reivindicada. Sin embargo, un experto en la materia entendería que se pueden poner en práctica diversas realizaciones sin tales detalles específicos.

Esta descripción escrita usa ejemplos de la materia objeto divulgada para permitir que cualquier persona experta en la materia ponga en práctica la misma, incluyendo la fabricación y el uso de cualesquiera dispositivos o sistemas y la realización de cualesquiera métodos incorporados. El alcance patentable de la materia objeto está definido por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia. Se pretende que tales otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones.

Referencias

Al-Sulaiman, F.A., Gandhidasan, P., y Zubair, S.M. (2007). Sistema de enfriamiento evaporativo de dos etapas basado en desecante líquido que utiliza un proceso de ósmosis inversa (RO) para la regeneración. Ingeniería

Térmica Aplicada 27, 2449-2454.

Davies, P., y Paton, C. (2004). El invernadero de agua de mar en los Emiratos Árabes Unidos: Modelado Térmico y Evaluación de Opciones de Diseño. *Desalación* 173, 103-111.

Davies, P.A. (2005). Un sistema de enfriamiento solar para la producción de alimentos en invernaderos en climas cálidos. *Energía Solar* 79, 661-668.

El Hourani, M., Ghali, K., y Ghaddar, N. (2014). Eficaz sistema de deshumidificación por desecante con enfriamiento evaporativo de dos etapas para climas cálidos y húmedos. *Energía y Edificaciones* 68, 329-338.

Kassem, A.S. (1994). Gestión de energía y agua en sistemas de enfriamiento evaporativo en Arabia Saudita. *Recursos, Conservación y Reciclaje* 12, 135-146.

Lefers, R., Bettahalli, N.M.S., Nunes, S.P., Fedoroff, N., Davies, P.A., y Leiknes, T. (2016). Proceso de deshumidificación y regeneración con desecante líquido para satisfacer las necesidades de enfriamiento y agua dulce de los invernaderos del desierto. *Desalinización y Tratamiento de Aguas* 57, 23430-23442.

Lowenstein, A. (2008). Revisión de la tecnología por desecante líquido para aplicaciones HVAC. *Investigación de Hvac&R* 14, 819-839.

Lychnos, G., y Davies, P.A. (2012). Modelado y verificación experimental de un sistema de enfriamiento por desecante líquido impulsado por energía solar para la producción de alimentos en invernaderos en climas cálidos. *Energía* 40, 116-130.

Mahmud, K., Mahmood, G.I., Simonson, C.J., y Besant, R.W. (2010). Pruebas de rendimiento de un sistema de intercambiador de energía de membrana circular de contraflujo cruzado (RAMEE) para aplicaciones HVAC. *Energía y Edificaciones* 42, 1139-1147.

Mohammad, A.T., Bin Mat, S., Sulaiman, M.Y., Sopian, K., y Al-abidi, A.A. (2013a). Estudio de sistemas híbridos de aire acondicionado por desecante líquido. *Revisiones de energías renovables y sostenibles* 20, 186-200.

Mohammad, A.T., Mat, S.B., Sulaiman, M.Y., Sopian, K., y Al-Abidi, A.A. (2013b). Revisión histórica de la tecnología de enfriamiento evaporativo por desecante líquido. *Energía y Edificaciones* 67, 22-33.

Paton, C., y Davies, P. (1996). El invernadero de agua de mar para tierras áridas. Trabajo presentado en: Conferencia Mediterránea sobre Fuentes de Energía Renovables para la Producción de Agua (Santorini, Grecia).

Sabeh, N.C. (2007). Evaluación y minimización del uso de agua por sistemas de enfriamiento evaporativo de invernaderos en un clima semiárido. En el Departamento de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas (Tucson, Arizona: The University of Arizona).

REIVINDICACIONES

1. Un sistema por desecante líquido (200) para controlar la temperatura dentro de un recinto, comprendiendo el sistema (200):
5 el recinto (202);
un primer puerto (230-1) en el recinto configurado para proporcionar una corriente de aire AA desde el exterior del recinto; un segundo puerto (230-2) en el recinto configurado para expulsar una corriente de aire AC del recinto;
un sistema de enfriamiento evaporativo (210) configurado para enfriar la corriente de aire AA desde el exterior del recinto (202) durante el día y para proporcionar la corriente de aire enfriada al interior del recinto (202);
10 un sistema (220) de enfriador nocturno por desecante líquido (LDNC) configurado para enfriar y secar una corriente de aire interior AE del recinto (202) mediante el uso de un desecante líquido (304, 534) durante la noche; y
un controlador (260) configurado para encender el sistema LDNC (220) durante la noche
en donde el controlador está configurado para activar el primer puerto (230-1) durante el día, para recibir la corriente de aire AA desde el exterior del recinto, desactivar el primer puerto y cerrar el segundo puerto (230-2) para que no
15 se intercambie aire con el exterior del recinto durante la noche.
2. El sistema de la reivindicación 1, en donde el controlador está configurado además para expulsar una corriente de aire AC del recinto a través del segundo puerto (230-2), fuera del recinto durante el día y para recircular la corriente de aire AC durante la noche, a través del sistema LDNC, cerrando el segundo puerto (230-2) y abriendo un tercer puerto (230-3) ubicado entre el recinto y el sistema LDNC.
20
3. El sistema de la reivindicación 2, en donde el controlador está configurado además para abrir un cuarto puerto (230-4) para descargar la corriente de aire AE enfriada por el sistema LDNC, nuevamente dentro del recinto y cerrar un quinto puerto (230-5) para evitar que la corriente de aire AE entre al sistema de enfriador evaporativo.
25
4. El sistema de la reivindicación 2, en donde el controlador está configurado además para cerrar un cuarto puerto (230-4) para no descargar la corriente de aire AE, enfriada por el sistema LDNC, nuevamente dentro del recinto y abrir un quinto puerto (230-5) para dirigir la entrada de corriente de aire AE en el sistema de enfriador evaporativo para más enfriamiento.
30
5. El sistema de la reivindicación 1, en donde el sistema LDNC (220) comprende:
un recipiente (302) que contiene el desecante líquido;
una almohadilla (306) que tiene un extremo en contacto fluido con el desecante líquido; y
una bomba (P1) que bombea el desecante líquido a otro extremo de la almohadilla, para enfriar y secar la corriente de aire AA que ingresa a la almohadilla.
35
6. El sistema de la reivindicación 5, que comprende además:
un tanque de almacenamiento S que contiene el desecante líquido y que está en comunicación fluida con el recipiente;
40 un sistema de enfriador (330) que enfría el desecante líquido del tanque de almacenamiento.
7. El sistema de la reivindicación 6, en donde el sistema de enfriador comprende:
un intercambiador de calor (320) configurado para enfriar el desecante líquido del tanque de almacenamiento; y
un enfriador (331) configurado para eliminar calor del intercambiador de calor.
45
8. El sistema de la reivindicación 1, en donde el sistema LDNC (220) comprende:
un sistema de enfriador (510) para enfriar la corriente de aire interior AE; y
un deshumidificador (530) configurado para recibir una corriente de aire enfriado AE' desde el sistema de enfriador (510) y para eliminar la humedad para generar una corriente de aire AF, que se devuelve al recinto.
50
9. El sistema de la reivindicación 8, en donde el deshumidificador comprende:
un recipiente (532) que contiene el desecante líquido;
una almohadilla (536) que tiene un extremo en comunicación fluida con el desecante líquido; y
una bomba (P1) que bombea el desecante líquido a otro extremo de la almohadilla, para secar la corriente de aire AE' que entra en la almohadilla.
55
10. El sistema de la reivindicación 8, en donde el sistema de enfriador comprende:
un intercambiador de calor (512) configurado para enfriar la corriente de aire AE; y
un enfriador (514) configurado para eliminar calor del intercambiador de calor.
60
11. Un método para enfriar y eliminar la humedad de una corriente de aire AE dentro de un recinto, comprendiendo el método:
tomar (1300) la corriente de aire AE del recinto;
enfriar y secar (1302) la corriente de aire AE con un deshumidificador (300) para obtener una corriente de aire enfriado y seco AF;
65 devolver (1304) la corriente de aire enfriado y seco AF al recinto; y

enfriar (1306) un desecante líquido del deshumidificador (300) con un sistema de enfriador (330) comprendiendo, además, dicho método:

cerrar, durante la noche, los puertos que permiten que el aire exterior entre al recinto y que el aire interior escape del recinto,

5 procesar la corriente de aire enfriado y seco AF con un sistema de enfriamiento evaporativo antes de devolverla al recinto

en donde un procesador decide cuándo cerrar y abrir los puertos, e iniciar y detener el deshumidificador y el sistema de enfriamiento evaporativo, basándose en lecturas de presión de vapor de la corriente de aire AE y el desecante líquido.

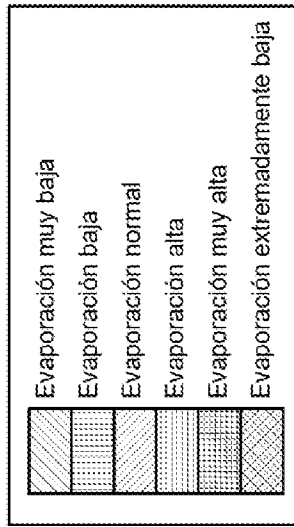
10 12. El método de la reivindicación 11, en donde el deshumidificador incluye un medio poroso en un recipiente, comprendiendo, además, el método:

bombear el desecante líquido al medio poroso a través del recipiente, en donde el enfriamiento y secado de la corriente de aire AE implica hacer pasar la corriente de aire AE a través del medio poroso.

15 13. El método de la reivindicación 12, que comprende además:
determinar si refrescar el desecante líquido; y

agregar desecante líquido adicional o eliminar algo del desecante líquido del recipiente cuando se determina refrescar el desecante líquido.

20



%HR	Temperatura °C																			
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
40	6,4	6,8	7,2	7,7	8,2	8,7	9,2	9,8	10,4	11,0	11,7	12,4	13,1	13,8	14,6	15,5	16,3	17,3	18,2	
45	5,9	6,2	6,6	7,1	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,1	10,7	11,3	12,0	12,7	13,4	14,2	15,0	15,6	16,7	
50	5,3	5,7	6,0	6,4	6,8	7,2	7,7	8,2	8,7	9,2	9,7	10,3	10,9	11,5	12,2	12,9	13,6	14,4	15,2	
55	4,8	5,1	5,4	5,8	6,1	6,5	6,9	7,3	7,8	8,3	8,7	9,3	9,8	10,4	11,0	11,6	12,3	12,9	13,7	
60	4,3	4,5	4,8	5,1	5,5	5,8	6,2	6,5	6,9	7,3	7,8	8,2	8,7	9,2	9,8	10,3	10,9	11,5	12,1	
65	3,7	4,0	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6,1	6,4	6,8	7,2	7,6	8,1	8,5	9,0	9,5	10,1	10,6	
70	3,2	3,4	3,6	3,9	4,1	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	6,2	6,5	6,9	7,3	7,7	8,2	8,6	9,1	
75	2,7	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,1	4,3	4,6	4,9	5,1	5,4	5,8	6,1	6,4	6,8	7,2	7,6	
80	2,1	2,3	2,4	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1	4,4	4,6	4,9	5,2	5,4	5,8	6,1	
85	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,8	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1	4,3	4,6	
90	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,9	3,0	
95	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	
99	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	
100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

FIG. 1

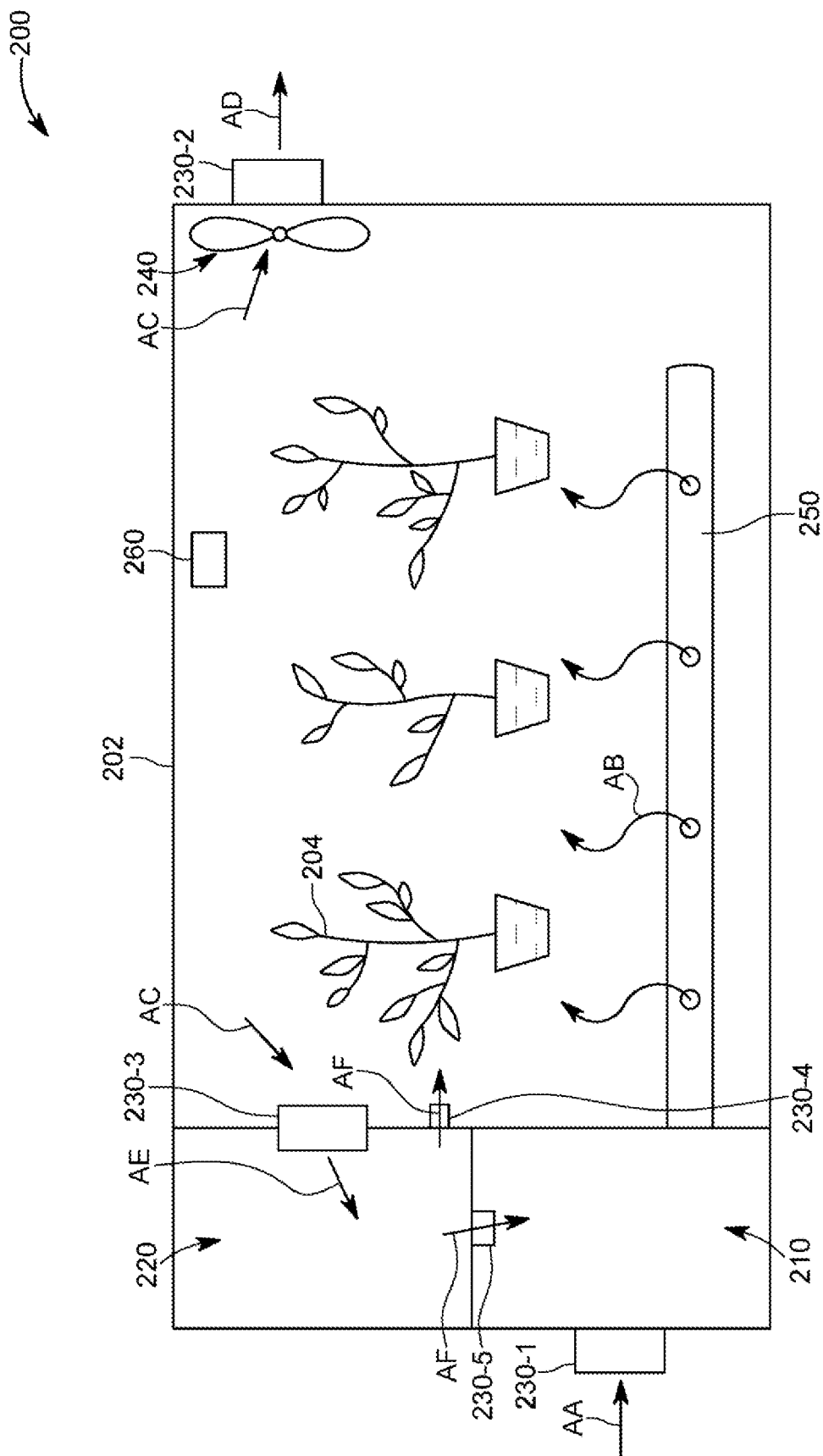


FIG. 2

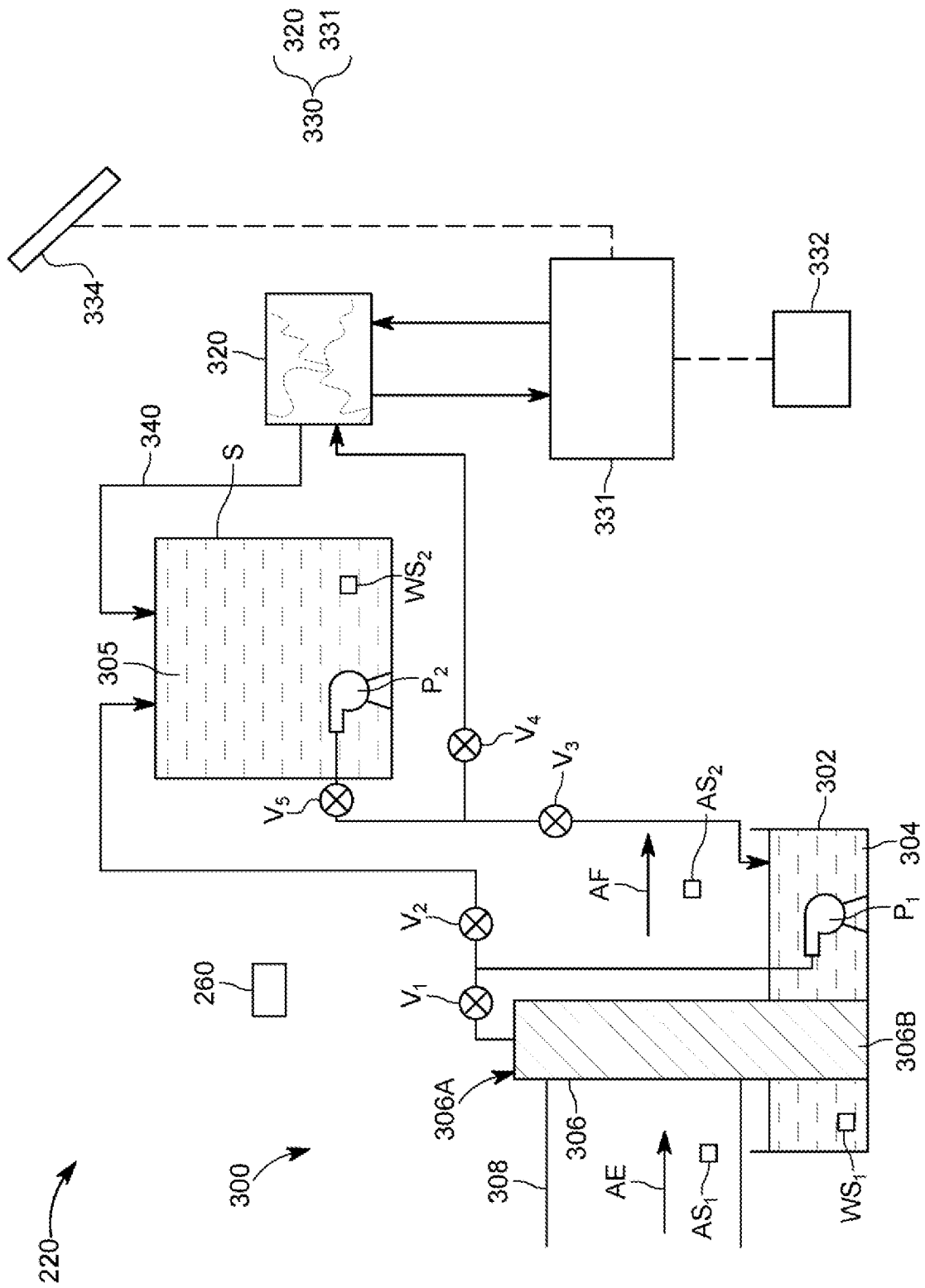


FIG. 3

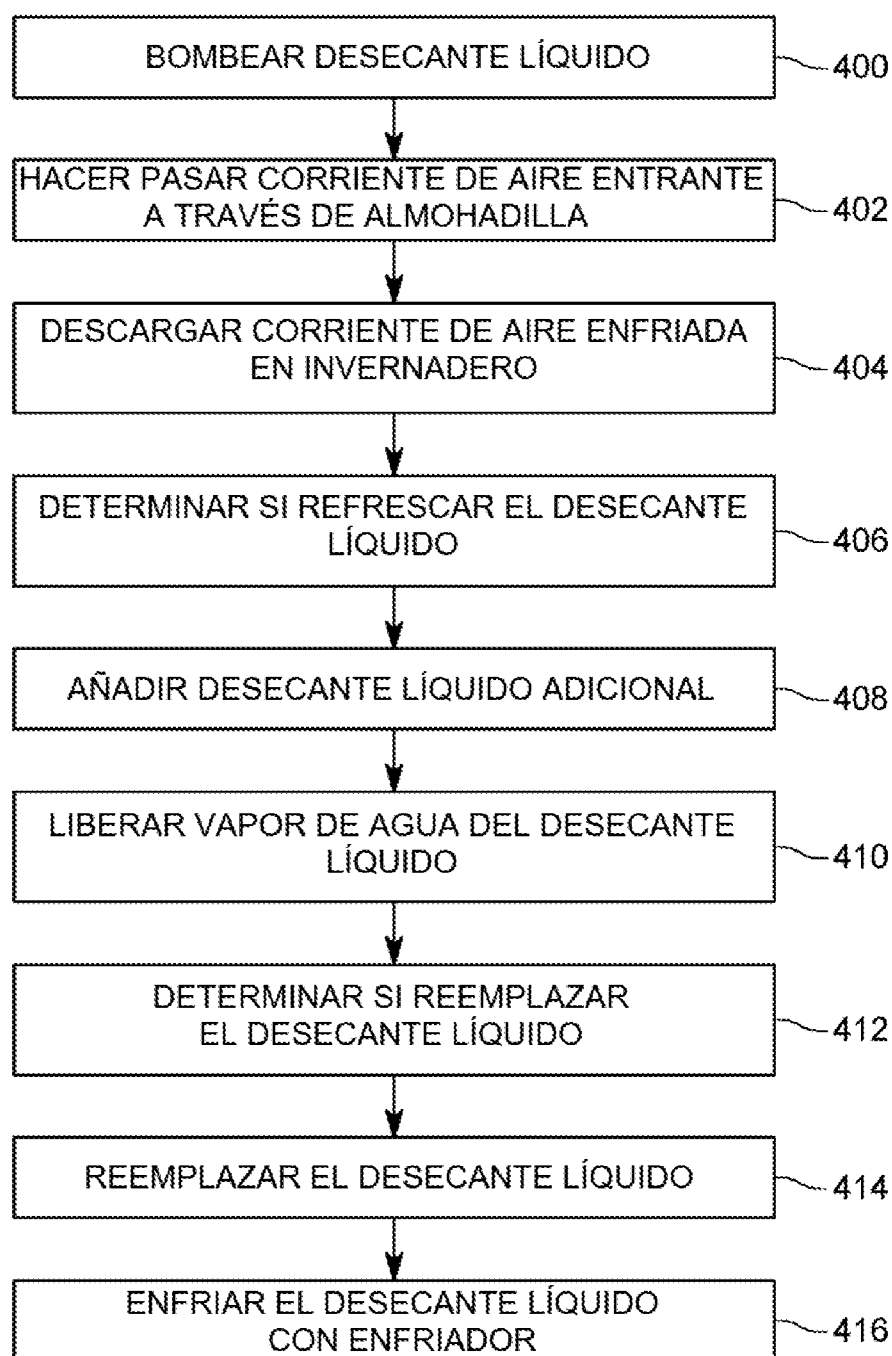


FIG. 4

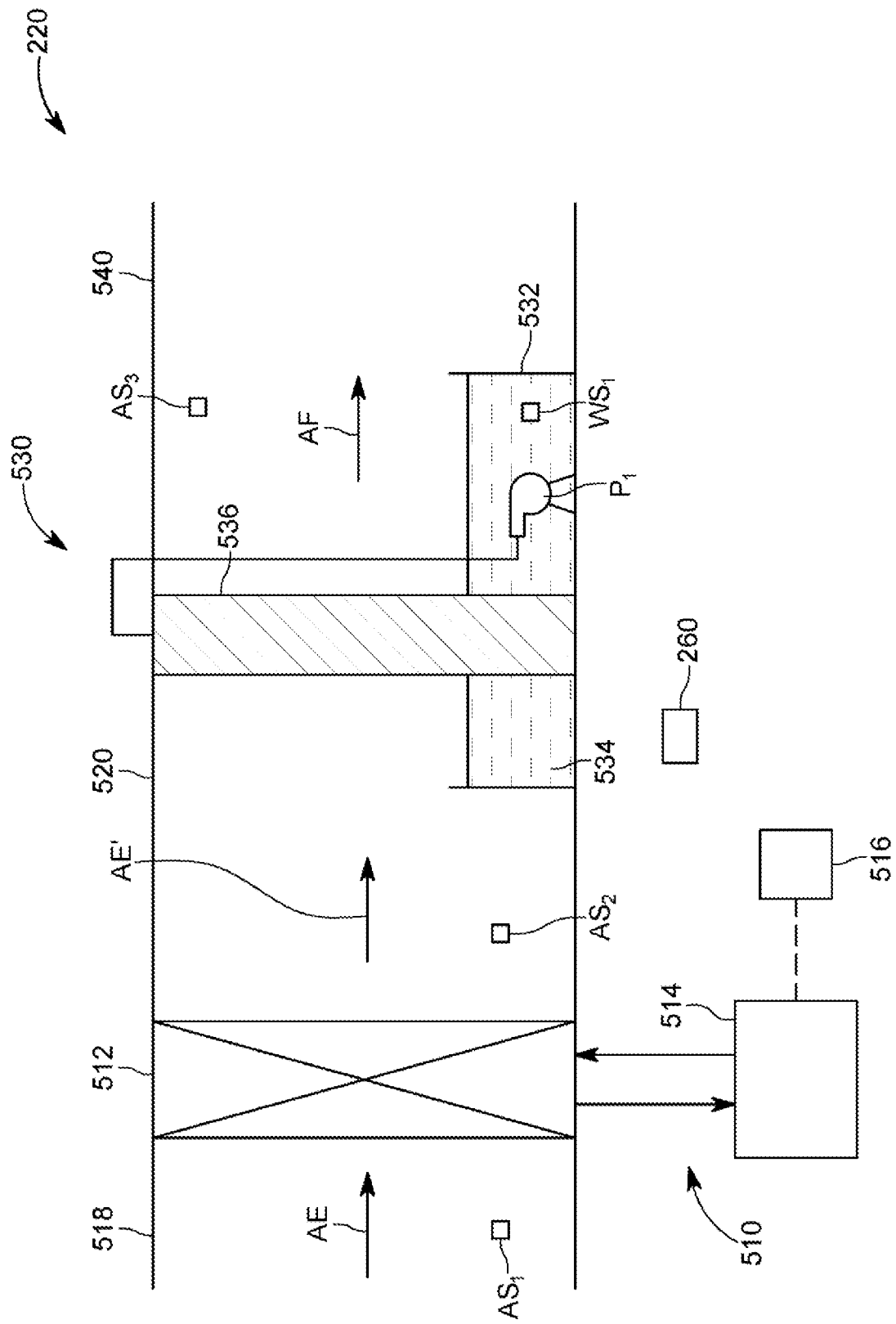


FIG. 5

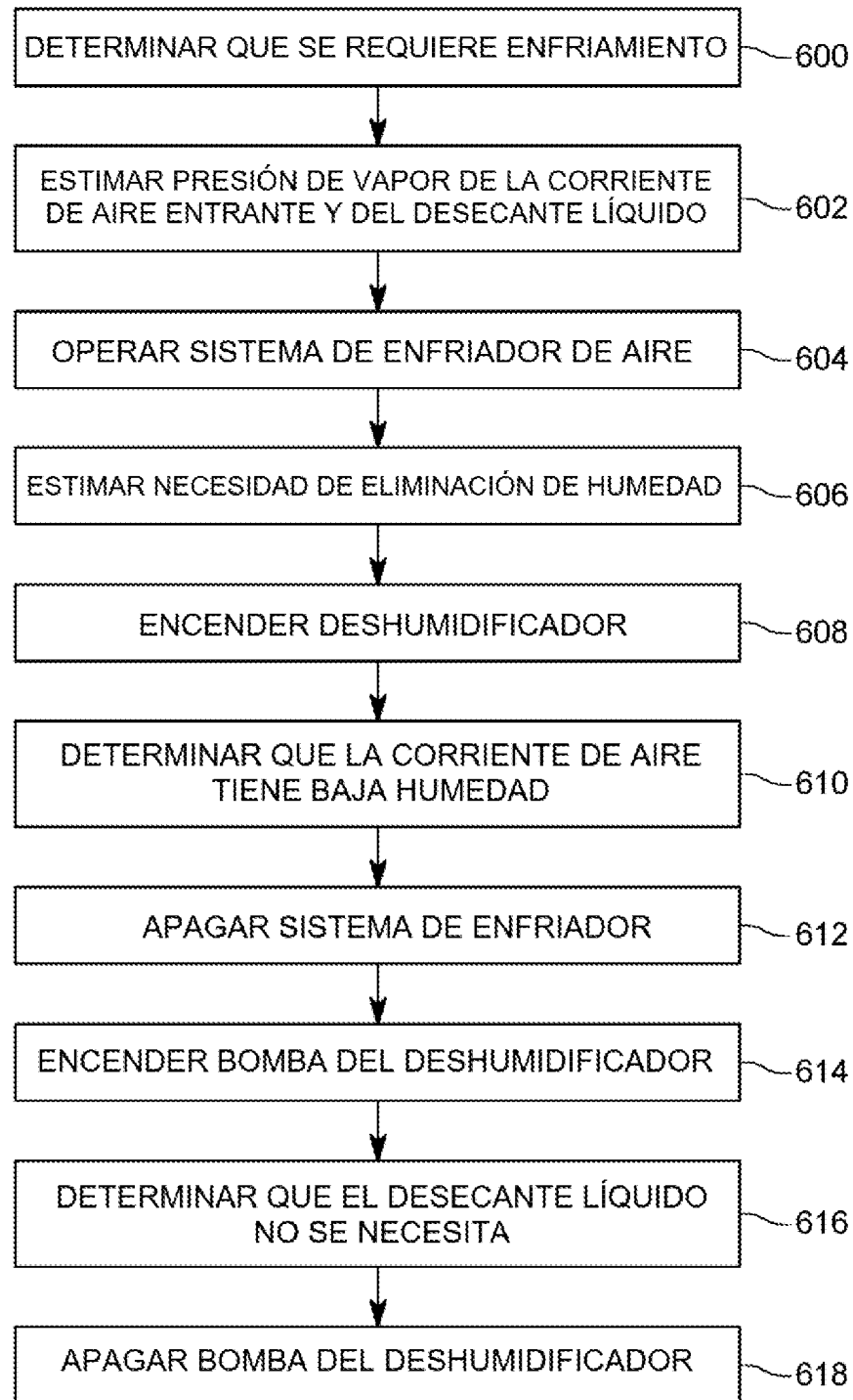


FIG. 6

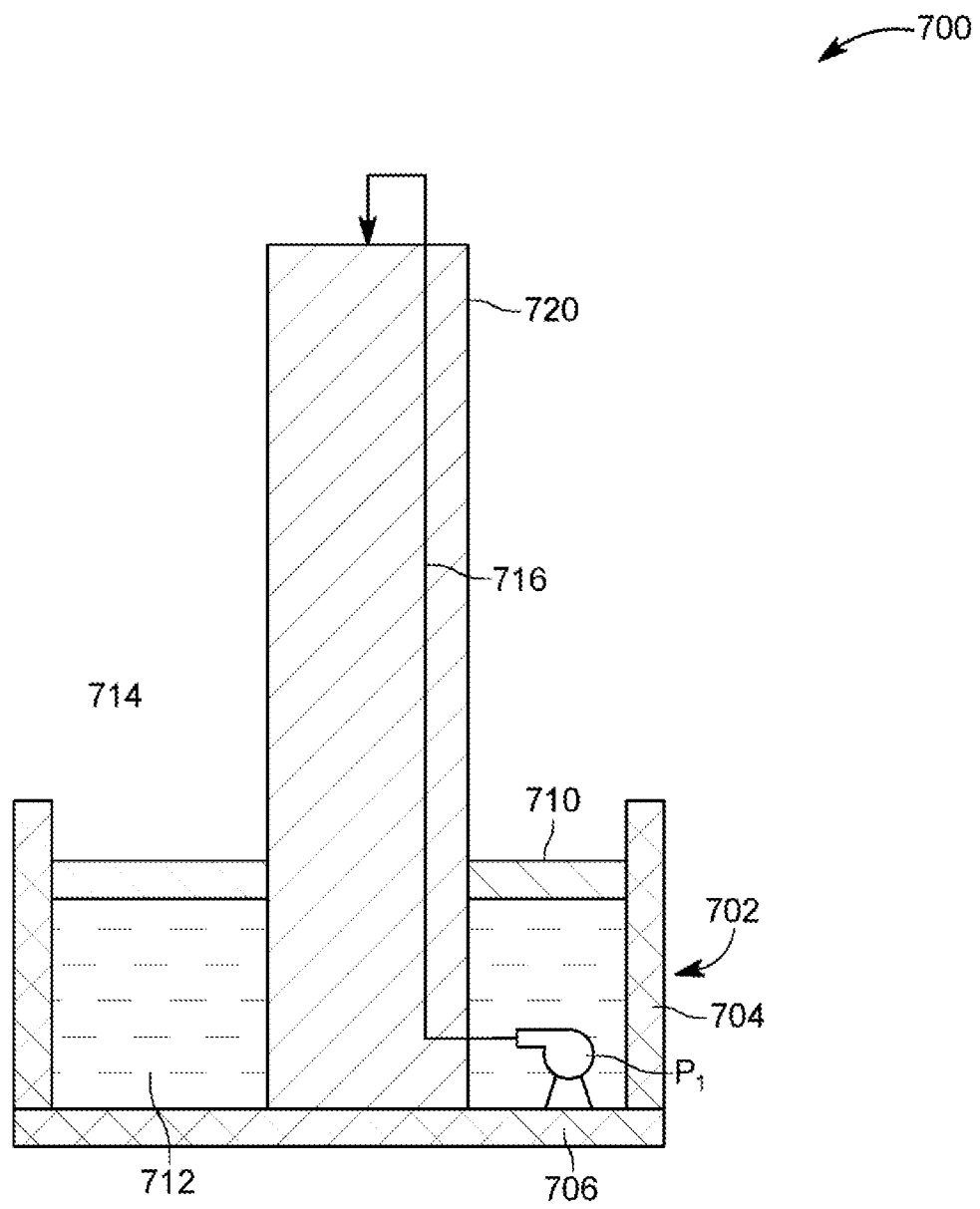
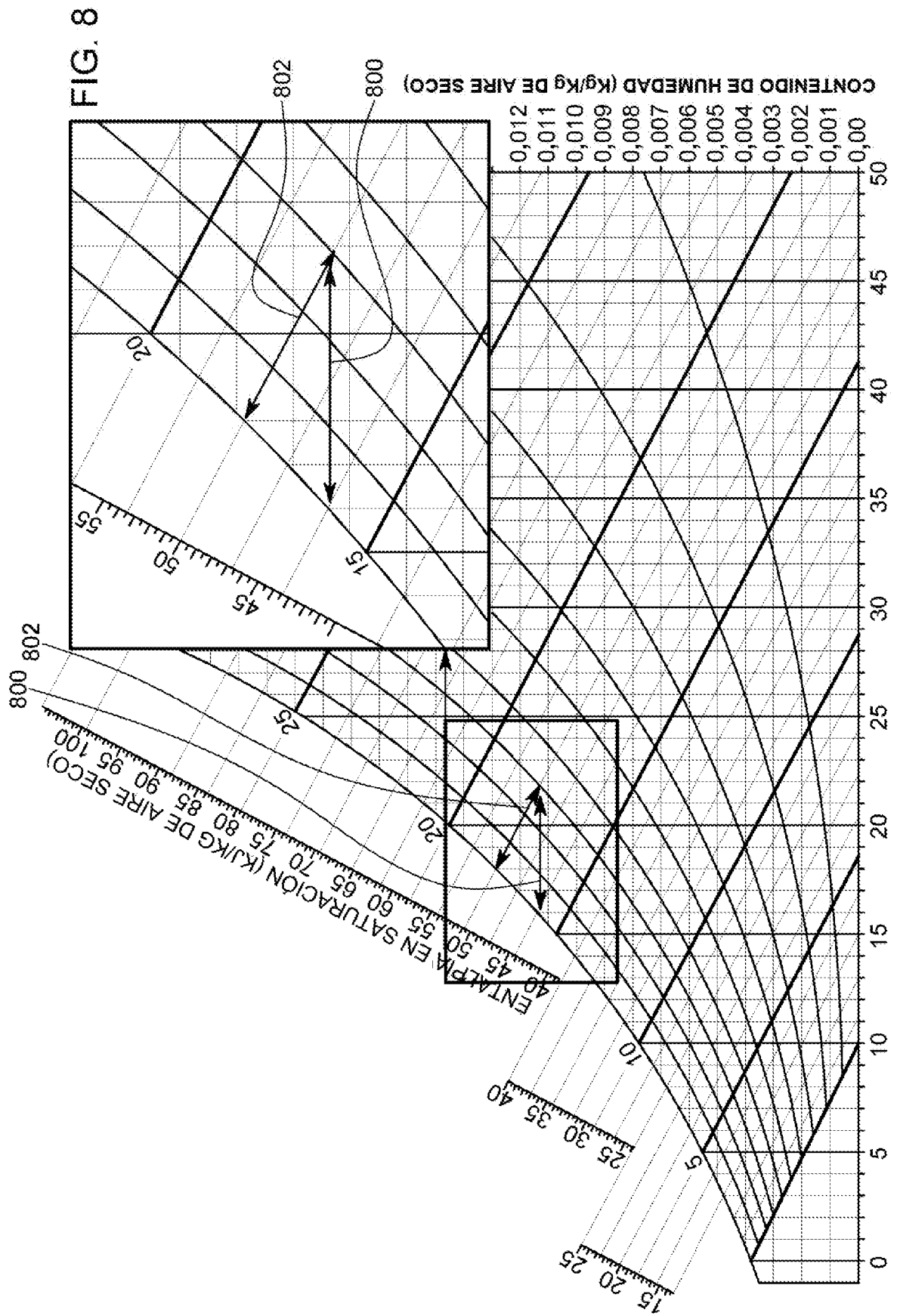


FIG. 7



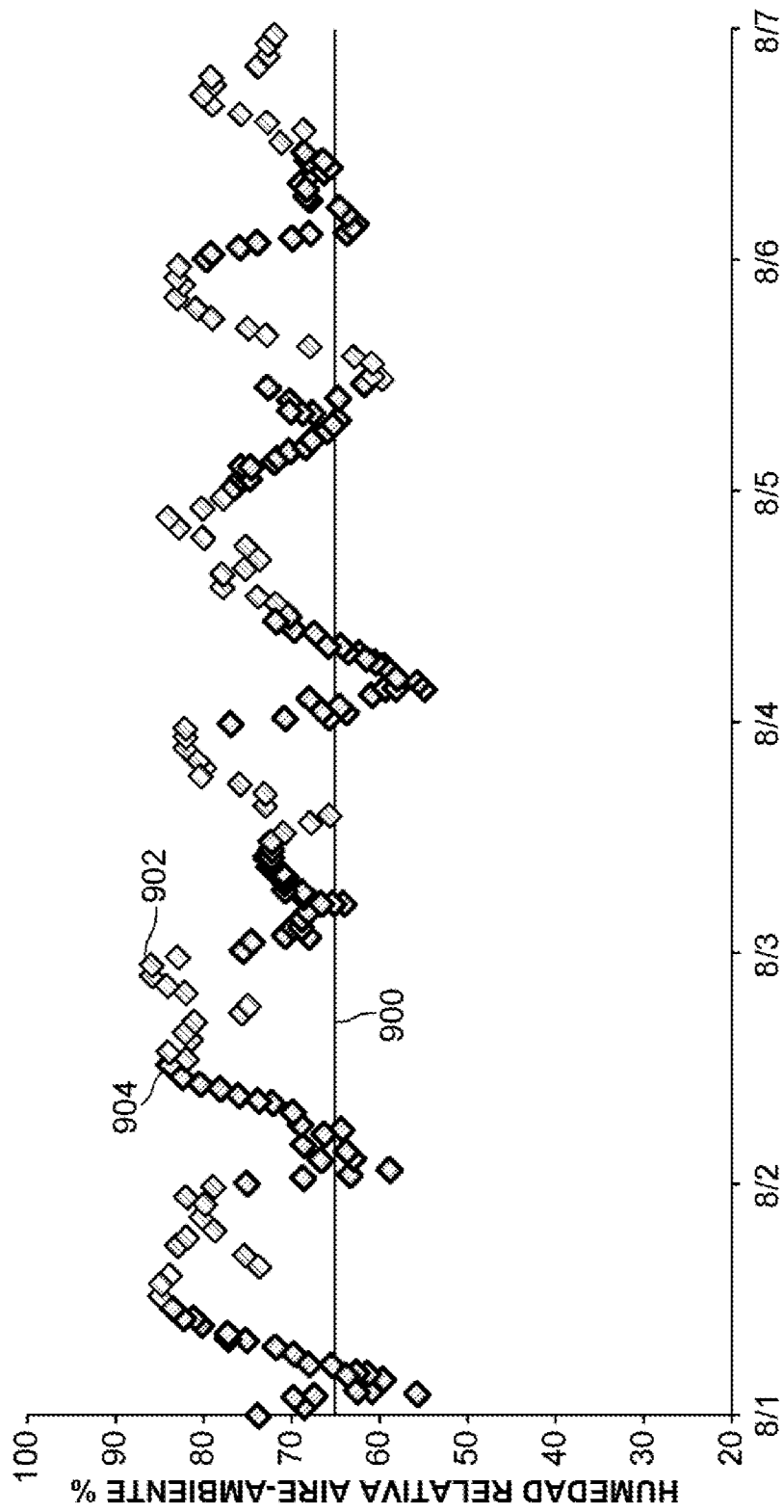


FIG. 9

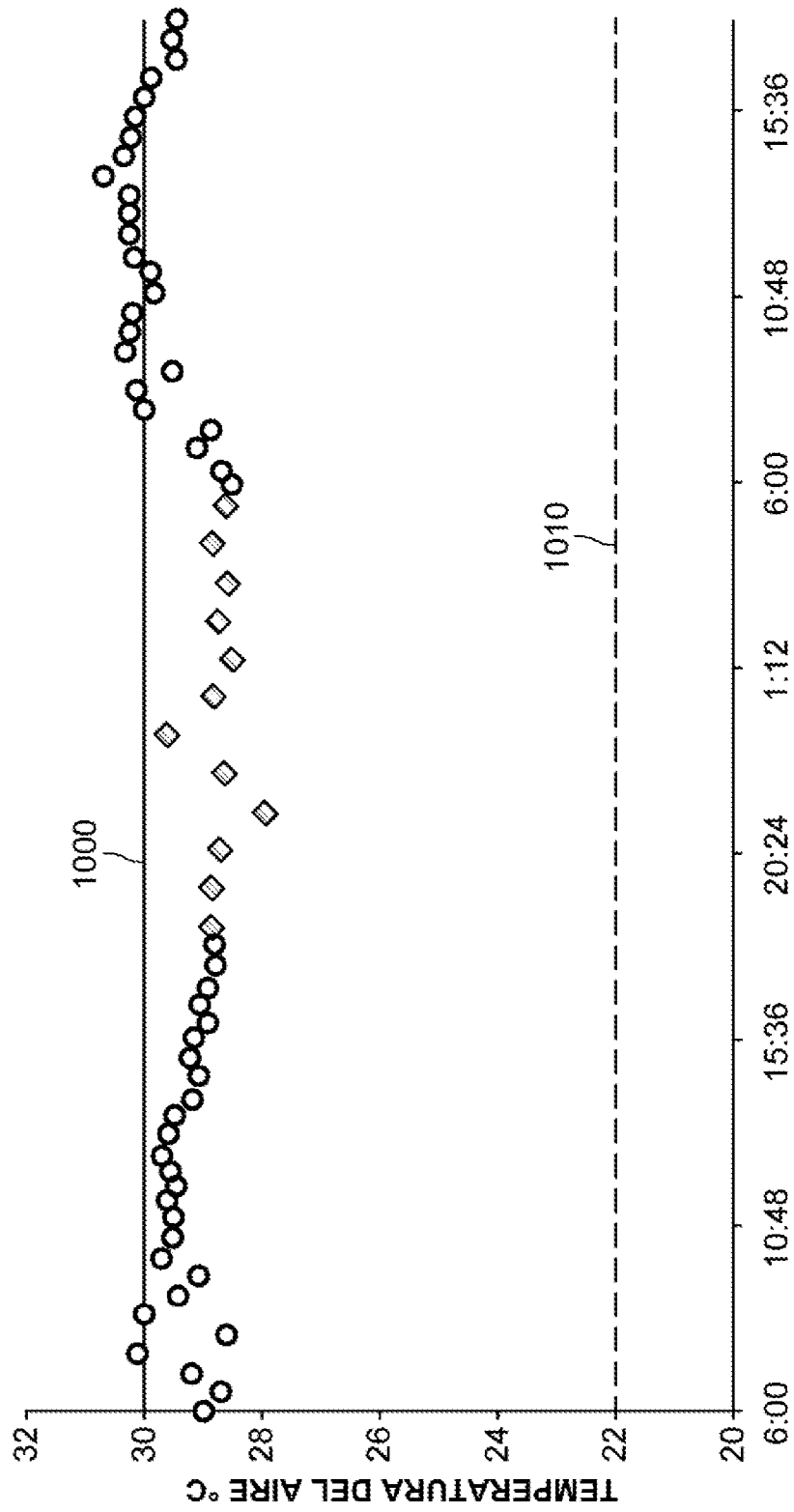


FIG. 10

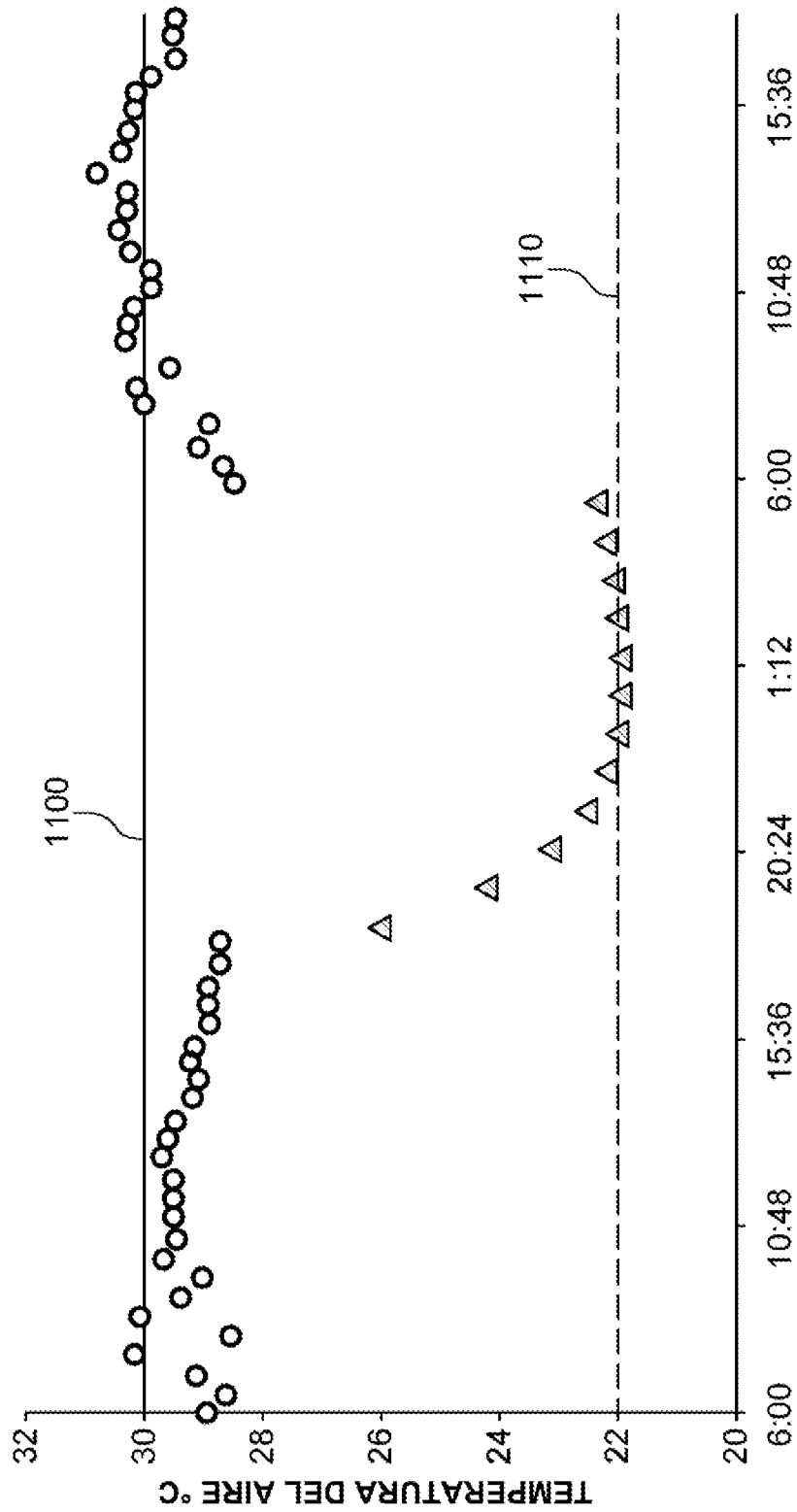


FIG. 11

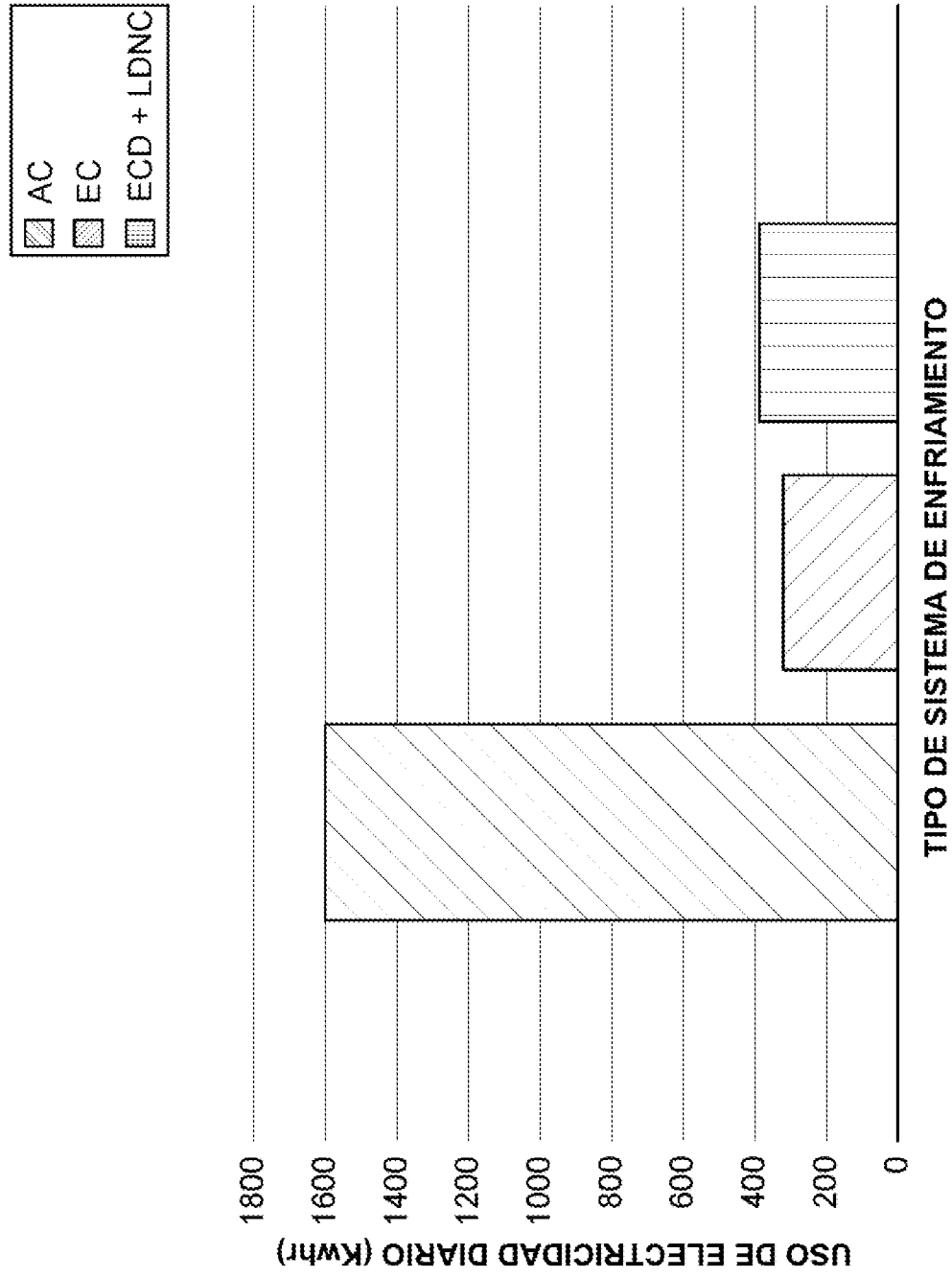


FIG. 12

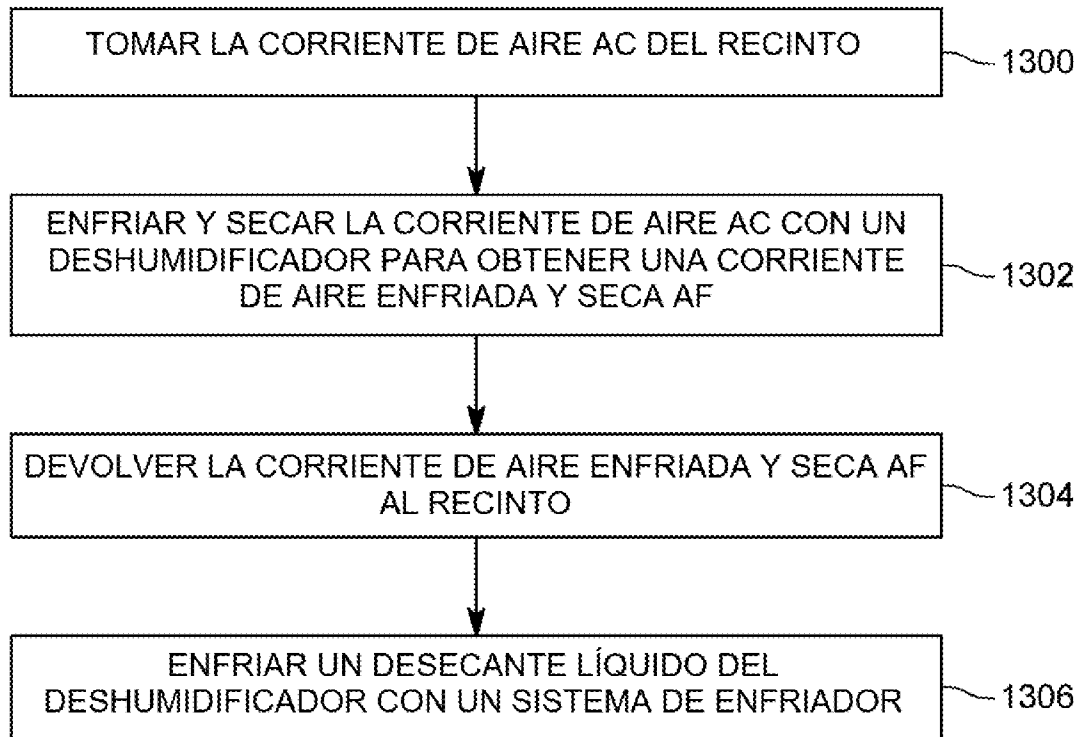


FIG. 13

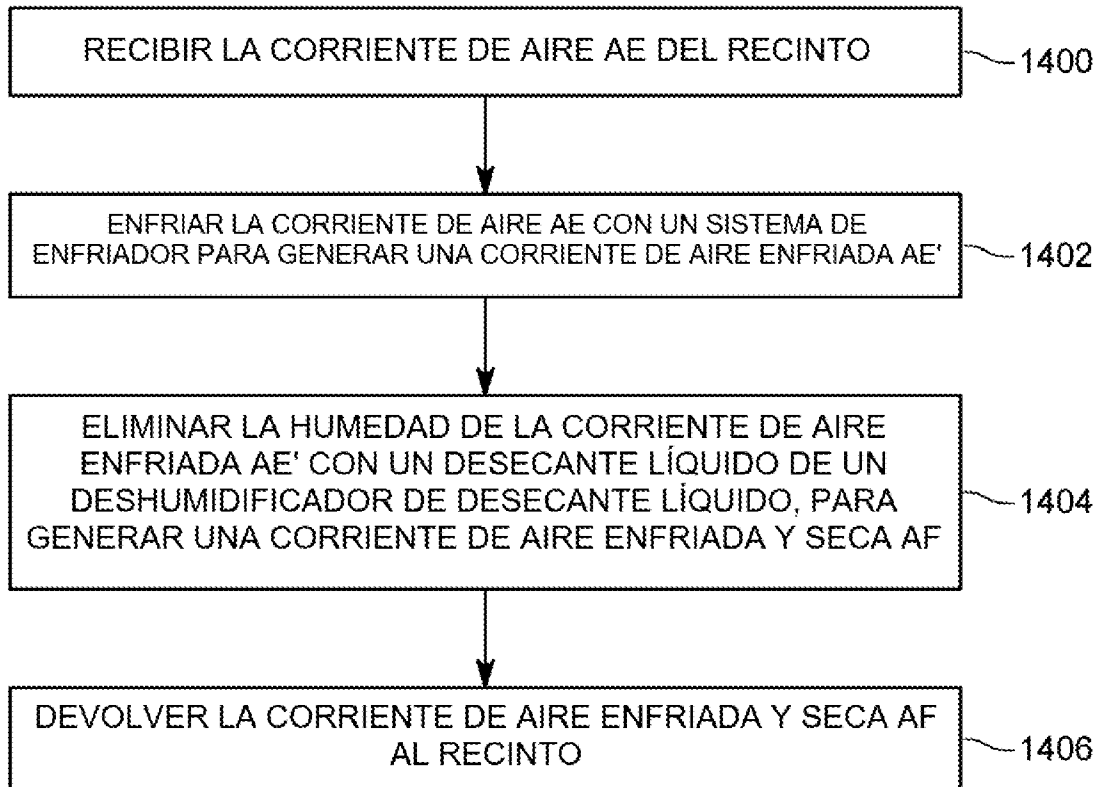


FIG. 14