

**BOMBA DE HUMEDAD BASADA EN DESECANTE LÍQUIDO, ENFRIADOR
EVAPORATIVO, Y SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE AIRE**

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

- 5 **[0001]** Esta solicitud reivindica prioridad de la Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. No. 62/711,890, presentada el 30 de julio de 2018, titulada “BOMBA DE HUMEDAD DE DESECANTE LIQUIDO PARA ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO Y AHORRO DE AGUA EN AGRICULTURA DE AMBIENTE CONTROLADO”, y la
- 10 Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. No. 62/757,350, presentada el 8 de noviembre de 2018, titulada “BOMBA DE HUMEDAD DE DESECANTE LIQUIDO Y ENFRIADOR EVAPORATIVO”, cuyas divulgaciones se incorporan acá por referencia en su totalidad.

ANTECEDENTES

15 **CAMPO TECNICO**

- [0002]** Las modalidades de la materia objeto divulgada acá se relacionan generalmente con el uso de un sistema a base de desecante líquido en un ambiente controlado, y más específicamente, con un sistema de bomba de humedad con desecante líquido y enfriador evaporativo (LDHPEC) que utiliza un desecante
- 20 líquido para capturar humedad y calentar el aire dentro de un ambiente controlado y/o un sistema de purificación de aire de desecante líquido (LDAP) para remover partículas transmitidas por el aire y/o material patogénico en el ambiente controlada.

DISCUSION DE LOS ANTECEDENTES

- 25 **[0003]** La tecnología de desecante líquido ha sido aplicada por largo tiempo para la deshumidificación de aire entrante en ambientes controlados, y se han generado numerosos estudios de investigación y productos comerciales utilizando esta tecnología, ver, por ejemplo, ESTPC, 2012; Kassem, 2013, Kozubal y otros, 2011;

Lowenstein, 2008; Mahmud y otros, 2010; Mohammad y otros, 2013a; Mohammad y otros, 2013b; y Oberg y Goswani, 1998. Sin embargo, en general, estos sistemas de desecante líquido son principalmente utilizados para deshumidificación de aire, no enfriamiento evaporativo, ver, por ejemplo, El Hourani y otros, 2014; Mahmud y otros, 2010; y Seyed-Ahmadi y otros, 2009. La remoción de humedad capturada de los desecantes es un paso de proceso adicional que requiere de energía extra, usualmente en la forma de fuentes de calor solar o de desperdicio, y la humedad capturada es descargada fuera del ambiente controlado. Adicionalmente, el uso de desecantes líquidos es agricultura para enfriar ambientes controlados aún está en la etapa de investigación y desarrollo, ver, por ejemplo, Davies, 2005, Lefers, 2017, Lefers y otros, 2016, y Lychnos y Davies, 2012.

[0004] Así, los sistemas existentes no utilizan los vapores de agua absorbida/evaporada en una forma integrada, para aumentar y disminuir la temperatura del ambiente controlado como se indica por las condiciones de día/noche. Por lo tanto, hay una necesidad por un sistema que integre las dos facetas de la evaporación/absorción de agua y/o intercambio de calor latente del desecante líquido en un ambiente controlado.

RESUMEN

[0005] De acuerdo con una modalidad, hay un sistema de desecante líquido para controlar una temperatura al interior de un recinto. El sistema incluye un sistema enfriador evaporativo de desecante líquido (LDEC) configurado para enfriar una corriente de aire entrante (AA) que ingresa en el recinto mediante el uso de un primer desecante líquido, un sistema de recuperación de humedad de desecante líquido (LDHR) configurado para remover humedad de una corriente de aire húmedo (AD) que sale del recinto mediante el uso de un segundo desecante líquido, y un sistema de almacenamiento conectado fluidamente al sistema LDEC y al sistema LDHR y configurado para almacenar separadamente el primer desecante líquido y

el segundo desecante líquido. La corriente de aire húmedo (AD) incluye vapores de agua del primer desecante líquido y de otras fuentes dentro del recinto.

[0006] De acuerdo con otra modalidad, se tiene un invernadero que tiene un sistema de desecante líquido para controlar una temperatura al interior de invernadero, el invernadero incluye un sistema enfriador evaporativo de desecante líquido (LDEC) unido al invernadero y configurado para enfriar una corriente de aire entrante (AA) mediante el uso de un primer desecante líquido, un sistema de recuperación de humedad de desecante líquido (LDHR) unido al invernadero y configurado para remover la humedad de una corriente de aire húmedo (AD) mediante el uso de un segundo desecante líquido, y un sistema de almacenamiento conectado fluidamente al sistema LDEC y al sistema LDHR, el sistema de almacenamiento se ubica por fuera del invernadero, y se configura para almacenar separadamente el primer desecante líquido y el segundo desecante líquido. La corriente de aire entrante (AA) se toma desde el exterior del recinto, y la corriente de aire húmedo (AD) incluye vapores de agua del primer desecante líquido y de plantas ubicadas al interior del invernadero y/o de una fuente de vapor de agua adicional.

[0007] De acuerdo con otra modalidad, se tiene un método para controlar una temperatura al interior de un recinto. El método incluye encender una bomba P1 asociada con un sistema enfriador evaporativo de desecante líquido (LDEC) para enfriar una corriente de aire entrante (AA) mediante el uso de un primer desecante líquido, encender una bomba P4 asociada con un sistema de recuperación de humedad de desecante líquido (LDHR) para remover la humedad de una corriente de aire húmedo (AD), la cual circula a través del recinto, mediante el uso de un segundo desecante líquido, transferir el primer desecante líquido del sistema LDEC a un sistema de almacenamiento, transferir el segundo desecante líquido del sistema LDHR al sistema de almacenamiento, y almacenar separadamente el primer desecante líquido y el segundo desecante líquido en el sistema de

almacenamiento. La corriente de aire entrante (AA) se toma desde el exterior del recinto, y la corriente de aire húmedo (AD) incluye vapores de agua del primer desecante líquido y de plantas ubicadas al interior del invernadero y/o de una fuente de vapor de agua adicional.

- 5 **[0008]** De acuerdo con otra modalidad, hay un sistema de purificación de aire de desecante líquido que incluye un medio configurado para recibir una corriente de aire entrante y un flujo de desecante líquido; un conducto a través del cual fluye el desecante líquido; y una bomba configurada para forzar el desecante líquido a través del conducto y el medio de modo que la corriente de aire entrante se mezcla
10 con el desecante líquido. El desecante líquido remueve material particulado de la corriente de aire entrante para generar una corriente de aire tratado de salida.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

- [0009]** Las figuras adjuntas, las cuales se incorporan y constituyen una parte de
15 la descripción, ilustran una o más modalidades y, junto con la descripción, explican estas modalidades. En las figuras:

[0010] La Figura 1 ilustra un sistema de bomba de humedad y enfriador evaporativo de desecante líquido;

- [0011]** La Figura 2 ilustra detalles del sistema de bomba de humedad y enfriador
20 evaporativo de desecante líquido;

[0012] La Figura 3 ilustra un sistema enfriador evaporativo de desecante líquido del sistema de bomba de humedad y enfriador evaporativo de desecante líquido;

[0013] La Figura 4 ilustra una bomba de humedad de desecante líquido del sistema de bomba de humedad y enfriador evaporativo de desecante líquido;

- 25 **[0014]** La Figura 5 ilustra un controlador que controla el sistema de bomba de humedad y enfriador evaporativo de desecante líquido;

[0015] La Figura 6 ilustra un diagrama de flujo de un método para controlar el sistema de bomba de humedad y enfriador evaporativo de desecante líquido;

[0016] La Figura 7 es un diagrama de flujo de un método para controlar una temperatura al interior de un recinto que está asociado con el sistema de bomba de humedad y enfriador evaporativo de desecante líquido;

[0017] La Figura 8 ilustra un sistema de purificación de aire basado en desecante líquido que utiliza un principio de almohadilla y enfriador;

[0018] La Figura 9 ilustra un sistema de purificación de aire basado en desecante líquido que utiliza un principio de depurador;

[0019] La Figura 10 ilustra un sistema de purificación de aire basado en desecante líquido que utiliza un principio de medio empacado;

[0020] La Figura 11 ilustra una configuración del sistema purificador de aire basado en desecante líquido que remueve materia sólida del desecante líquido y mata patógenos;

[0021] La Figura 12 ilustra una configuración en la cual el sistema de purificación de aire basado en desecante líquido está integrado con un sistema enfriador de aire basado en desecante líquido para acondicionar el aire dentro de una cámara; y

[0022] La Figura 13 ilustra una configuración en la cual el sistema de purificación de aire basado en desecante líquido es usado como un sistema independiente dentro de una cámara.

DESCRIPCION DETALLADA

[0023] La siguiente descripción de las modalidades se refiere a las figuras adjuntas. Los mismos números de referencia en diferentes figuras identifican los mismos o similares elementos. La siguiente descripción detallada no limita la invención. Por el contrario, el alcance de la invención está definido por las reivindicaciones adjuntas. Las siguientes modalidades se discuten, para simplicidad, con relación a un invernadero que tiene un sistema de bomba de humedad y enfriador evaporativo de desecante líquido (LDHPEC) para controlar una temperatura interna y/o humedad del invernadero. Sin embargo, el sistema

LDHPEC puede ser usado no sólo en un invernadero, sino en cualquier otro recinto. Algunas modalidades adicionales se discuten con relación a un sistema de purificación de aire de desecante líquido (LDAP) usado en un ambiente controlado con relación a la producción de ganado. Sin embargo, el sistema LDAP puede ser
5 usado en cualquier ambiente controlado, relacionado con otros propósitos diferentes a producción de ganado, como, por ejemplo, habitación humana o producción de plantas.

[0024] La referencia a lo largo de la descripción a “una modalidad” significa que una característica, estructura o rasgo particular descrito en conexión con una
10 modalidad se incluye en por lo menos una modalidad de la materia objeto divulgada. Así, la aparición de la frase “en una modalidad” en varios lugares a lo largo de la descripción no necesariamente se refiere a la misma modalidad. Además, las características, estructuras o rangos particulares pueden ser combinados en cualquier forma adecuada en una o más modalidades.

[0025] De acuerdo con una modalidad, se tiene un sistema LDHPEC 100 que se ubica al lado de un recinto cerrado 102 (un invernadero en esta modalidad, pero el sistema funciona para cualquier encierro), como se muestra en la Figura 1. El sistema LDHPEC 100 incluye un sistema enfriador evaporativo de desecante líquido (LDEC) 110, un sistema de recuperación de humedad de desecante líquido (LDHR)
15 120, un sistema de almacenamiento 130, un sistema de bombeo 140 que conecta el sistema LDEC, el sistema LDHR, y el sistema de almacenamiento, y un sistema de control 150 que controla cada componente del sistema LDHPEC 100. Cada uno de estos sistemas se discute en mayor detalle con relación a las siguientes figuras.

[0026] Aire ambiente AA es retirado del exterior del recinto 102 dentro del
25 sistema LDEC 110, donde es enfriado y se aumenta su humedad, resultando así en una corriente de aire AB que tiene una temperatura menor y una humedad mayor que la corriente de aire entrante AA. La corriente de aire frío y húmedo AB es liberada al interior del recinto 102 como corriente de aire AC, para reducir la

temperatura del encierro durante el día, cuando las ondas solares (energía) 104 que ingresa al recinto está en su máximo. En una aplicación, la corriente de aire AC es liberada mediante un mecanismo de descarga 160 en un área grande del recinto 102. En una aplicación, el mecanismo de descarga 160 puede incluir varias tuberías que tienen correspondientes agujeros y la tubería se distribuye bajo el lecho 107 de las plantas 106, para liberar la corriente de aire AC uniformemente sobre todo el piso del recinto 102. Varias plantas 106 presentes dentro del encierro 102 interactúan con la corriente de aire AC y liberan parte de su humedad, lo cual resulta en una corriente de aire AD con alta humedad y caliente. La corriente de aire AD con alta humedad y caliente es absorbida en el sistema LDHR 120. Para este propósito, es posible utilizar uno o más ventiladores 108 para mover las varias corrientes de aire en, fuera y a través del recinto 102.

[0027] El sistema LDHR 120 remueve la humedad de la corriente de aire AD con alta humedad y caliente y la transforma en una corriente de aire de baja humedad AE, la cual puede ser descargada fuera del recinto 102 como la corriente de aire AF. Este proceso hace que la corriente de aire AR sea más caliente. El desecante utilizado en el sistema LDEC 110 y el sistema LDHR 120 se intercambia con el sistema de almacenamiento 130 cuando la presión de vapor del desecante es menor o mayor a la presión de vapor de la correspondiente corriente de aire de modo que el desecante con presión de vapor baja o alta es usado por cada sistema. El sistema de almacenamiento 130 es preferiblemente ubicada bajo tierra, es decir, por debajo de la superficie de la Tierra 101. Sin embargo, es posible ubicar el sistema de almacenamiento 130 por encima del suelo. En una aplicación, el sistema de almacenamiento 130 se ubica por debajo del recinto 102 para reducir la longitud del sistema de tubería 140 y también para reducir la huella del sistema. Cada sistema componente del sistema LDHPEC 100 se discute ahora en mayor detalle.

[0028] La Figura 2 ilustra diagramáticamente los varios subsistemas del sistema LDHPEC 100 y sus conexiones fluidas. Más específicamente, la corriente de aire

AA ingresa al sistema LDEC 110 en una entrada 300 (ver la Figura 3 para más detalles del sistema LDEC 110) y pasa a través de una almohadilla 310. La almohadilla 310 tiene varios canales (es un medio poroso) que promueven el movimiento de la corriente de aire a través de ésta. Por ejemplo, la almohadilla puede incluir, pero no se limita a, membranas de fibra huecas, membranas de hoja planas, lechos de medio empacado, almohadillas de cartón, almohadillas plásticas, etc. Al mismo tiempo, la bomba P1 bombea el desecante líquido 312 de un contenedor 314 a una porción superior 310A de la almohadilla 310, mediante una tubería 316. Una válvula V1 es provista a lo largo de la tubería 316 para controlar la cantidad de desecante líquido 312. Alternativamente, se pueden utilizar bombas de velocidad variable o más de una bomba en lugar de la válvula. El desecante líquido 312 fluye a través de los canales formados en la almohadilla 310, hacia abajo, debido a la gravedad, e interactúa con la corriente de aire entrante AA.

[0029] El desecante líquido 312 inicialmente tiene una presión de vapor que es mayor a la presión de vapor de la corriente de aire entrante AA. Por lo tanto, el agua se evapora del desecante líquido, enfriando tanto la corriente de aire AA como el desecante líquido 312. Adicionalmente, la humedad de la corriente de aire saliente AB se aumenta a medida que el vapor de agua es transferido del desecante líquido 312 a la corriente de aire AA. Cuando la presión de vapor del desecante líquido 312, la cual es medida por el paquete de sensor WS1, ubicado en el contenedor 314, cae para ser igual o menor a la presión de vapor de la corriente de aire entrante AA, la cual es medida por el paquete de sensor AS1 ubicado en la entrada 300, ya no se lleva a cabo el enfriamiento evaporativo. Esto pasa después de algún tiempo a medida que el desecante líquido 312 es recirculado continuamente por la bomba P1 a través de la almohadilla 310 y se evapora continuamente vapor de agua del desecante líquido. Cuando esto pasa, el controlador 150, el cual se comunica con los sensores, válvulas, y bombas, instruye a la bomba líquida P1 a apagarse. Si la

presión de vapor de la corriente de aire entrante AA disminuye por debajo de la del desecante, el controlador enciende la bomba P1.

[0030] Al final del ciclo por lotes (el ciclo por lotes puede ser un día completo,

una hora, medio día, o cualquier otro tiempo de ciclo definido por el operador), el

5 controlador 150 instruye a la válvula V1 a cerrarse para prevenir que el desecante

líquido 312 sea entregado a la almohadilla 310 y abra la válvula V2 para bombear

con la bomba P1 el desecante líquido 312 de baja presión de vapor fuera del sistema

LDEC 110, a un tanque de almacenamiento vacío S1 (ver Figura 2), el cual es parte

del sistema de almacenamiento 130. El controlador 150 también abre la válvula V3

10 y cierra la válvula V4 para lograr este resultado. Una vez el sistema LDEC 110 está

vacío, lo cual es determinado por el controlador 150 con base en los valores

medidos recibidos del empaque de sensor WS1, el sistema LDEC 110 se llena

nuevamente con desecante líquido 412 de alta presión de vapor de otro tanque de

almacenamiento lleno S2 (medido por el sensor WS3) por medio de la bomba P3.

15 En este sentido, el controlador 150 detiene la bomba P1 e inicia la bomba P3, la

cual está conectada al segundo tanque de almacenamiento S2. El controlador 150

también cierra las válvulas V5 y V8 de modo que el desecante líquido 412 del

segundo tanque S2 es dirigido al contenedor 314. El controlador 150 permite que la

bomba P3 bombee el desecante líquido 412 por un cierto periodo de tiempo, hasta

20 que el contenedor 314 esté lleno y/o el segundo tanque S2 esté vacío. La

determinación de utilizar el segundo tanque de almacenamiento S2 para suministrar

el desecante líquido 412 para el sistema LDEC 110 se hace por medio del

controlador 150 únicamente si la presión de vapor del desecante líquido 412

(medido con el sensor WS3) es mayor a la presión de vapor de la corriente de aire

25 entrante AA, lo cual es medido con el sensor AS1.

[0031] Nótese que el controlador 150 puede decidir vaciar el sistema LDEC 110

incluso antes del final del ciclo por lotes, si, por ejemplo, la presión de vapor del

desecante líquido 312 es menor a la presión de vapor de la corriente de aire entrante

AA por un tiempo mayor a un intervalo de tiempo dado, donde el intervalo de tiempo dado puede tomar cualquier valor.

[0032] El material utilizado para construir los varios elementos del sistema LDHPEC 100 preferiblemente incluye materiales resistentes a la corrosión tales como plásticos, pero las opciones no se limitan únicamente a plásticos. Esto se debe a que los desecantes líquidos 312 y 314 pueden ser corrosivos. Nótese que el desecante líquido utilizado en estas modalidades puede incluir sustancias que no tienen nada que ver con agua salada, agua salobre o agua de residuo. Por ejemplo, el desecante líquido puede incluir, pero no se limita a, cloruro de magnesio, cloruro de calcio, bromuro de litio, etc., o el desecante líquido se puede combinar con trietilenglicol, acetato de potasio, etc. Nótese que el sistema LDHPEC 100 discutido acá es más adecuado para regiones que carecen de agua fresca, como regiones desérticas o semidesérticas, donde el agua fresca es un privilegio. Además, nótese que el sistema LDHPEC 100 discutido acá utiliza elementos que requieren un mínimo de energía eléctrica, como una válvula o una bomba. Así, aunque el sistema LDHPEC 100 es capaz de regular la temperatura del aire dentro del recinto 102, no se utilizan unidades de aire acondicionado tradicionales, dado que estas unidades son grandes consumidores de energía eléctrica. Por lo tanto, el sistema LDHPEC 100 utiliza pequeñas cantidades de energía eléctrica y también pequeñas cantidades de agua fresca para acondicionar el aire dentro del recinto 102.

[0033] Aunque la Figura 1 muestra un sistema LDEC 110 simple que es usado para enfriar la corriente de aire entrante AA, es posible utilizar una pluralidad de sistemas LDEC 110 para lograr este objetivo. En una aplicación, la pluralidad de sistemas LDEC 110 se conectan en paralelo para enfriar una mayor cantidad de aire entrante. Sin embargo, en otra aplicación, es posible conectar en serie el sistema LDEC 110 y otro sistema 110', como se muestra en la Figura 3, para disminuir más la temperatura de la corriente de aire AB. El sistema adicional 110' puede incluir una bomba P1', contenedor 314' y almohadilla 310' similares al primer

sistema LDEC 110. En otra aplicación, el sistema adicional 110' puede ser un sistema de enfriamiento evaporativo tradicional, diferente del sistema 110. En otra modalidad, el sistema adicional 110' puede ser modificado para trabajar como un sistema de remoción de aerosol, para remover los aerosoles de sal en el aire que se origina del desecante líquido 312. Esto es beneficioso para proteger el ambiente interior del potencial de aerosoles de sal que ingresan al ambiente interno. En otra modalidad, el sistema adicional 110' puede ser una unidad tradicional mecánica de compresión de vapor o de enfriamiento de aire similar.

[0034] La corriente de aire fría AC ahora interactúa con las plantas al interior del

recinto 102 y comienza a ganar humedad a medida que las plantas transpiran.

Adicionalmente, se adiciona calor a la corriente de aire AC debido al calor generado por la radiación solar que impacta el recinto 102 durante el día. Así, la corriente de aire AD que ingresa en una entrada 400 (ver Figura 4) del sistema LDHR 120 es “alta” en humedad y tiene una “alta” temperatura. Como se ilustra en la Figura 1,

uno o más ventiladores 108 (o dispositivos de movimiento de aire similares) pueden ser usados para forzar el aire a través del recinto 102, desde la entrada 300 hacia una salida 420 del sistema LDHR 120. La Figura 4 muestra el LDHR 120 que tiene

una almohadilla 410, hecha de un material poroso, de modo que la corriente de aire AD pasa a través de la almohadilla y sale por el otro lado como la corriente de aire

AE, que tiene menos vapor de agua. Un desecante líquido 412, el cual es almacenado en un contenedor 414, es bombeado por la bomba P4 hasta la región superior 410A de la almohadilla 410 y es liberado en la almohadilla. El desecante

líquido 412 fluye a través de varios canales dentro de la almohadilla 410, debido a la gravedad o presión (dependiendo del sistema), hasta que regresa al contenedor

414. Durante este flujo, el desecante líquido 412 interactúa con la corriente de aire AD y remueve el agua de ésta, resultando en la corriente de aire AE. Esto pasa porque el desecante líquido 412 tiene una presión de vapor menor a la presión de vapor de la corriente de aire AD. La corriente de aire AE luego es expulsada del

recinto 102 a través de la salida 420. Los sensores AS3 y AS4 se ubican dentro de la entrada 300 y la salida 420, respectivamente, para monitorear la presión de vapor de las respectivas corrientes de aire. El sensor WS4 está ubicado dentro del contenedor 414 para medir si el desecante líquido 412 está presente. Aunque la bomba P4 se muestra como que está ubicada dentro del contenedor 414, también es posible ubicar esta bomba por fuera del contenedor.

[0035] La corriente de aire humidificado AD se pone en ciclo a través del sistema LDHR 120 como se discute ahora. Inicialmente, el sistema LDHR 120 contiene el desecante líquido 412 que tiene una presión de vapor menor a la de la corriente de aire húmedo AD. Por lo tanto, a medida que la corriente de aire húmedo AD se pasa a través de la almohadilla 410, al mismo tiempo que el desecante líquido 412, se recupera la humedad de la corriente de aire AD y es absorbida en el desecante líquido 412. El desecante líquido 412 es circulado continuamente por la bomba P4 a través de la almohadilla 410. Cuando la presión de vapor del desecante líquido 412, la cual es medida por el sensor WS4, aumenta para ser igual con la de la corriente de aire húmedo AD; la cual es medida por el sensor AS3, el controlador 150 instruye a la bomba P4 para apagarse. Si la presión de vapor de la corriente de aire AD aumenta de nuevo por encima del desecante líquido 412, el controlador 150 instruye a la bomba P4 a encenderse de nuevo. Al final del ciclo por lotes, la válvula V11 es instruida por el controlador 150 para cerrarse y la válvula V12 es instruida por el controlador 150 para abrirse para hacer un ciclo con el desecante líquido débil 412 por fuera del contenedor 414, al segundo tanque de almacenamiento S2.

[0036] Volviendo a la Figura 2, cuando este paso se lleva a cabo, el controlador 150 cierra la válvula V9 y abre la válvula V10 para tener el desecante líquido 412 fluyendo dentro del segundo tanque S2. Cuando el desecante líquido 412 ha sido removido del contenedor 414, medido por el sensor WS4, el controlador 150 inicia la bomba P2 del primer tanque de almacenamiento S1, abre la válvula V6 y cierra las válvulas V5 y V8 para bombear el desecante líquido 312, desde el primer tanque

de almacenamiento S1, el cual tiene una presión de vapor menor a la presión de vapor del aire húmedo AD, para llenar nuevamente el contenedor 414.

[0037] De esta forma, el controlador 150 utiliza el primer y segundo tanques S1 y S2 para alternamente suministrar el desecante líquido para el sistema LDEC 110 y el sistema LDHR 120, en un sentido cambiando el desecante líquido 312 con el desecante líquido 412 dado que cada líquido es bajo o alto en presión de vapor. El desecante 312 con baja presión de vapor en el primer tanque de almacenamiento S1 es el que fue alimentado del sistema LDEC 110, lo que significa que la humedad extraída del desecante líquido 312 es adicionada a la corriente de aire entrante AA; y luego es liberada dentro del recinto 102, y luego la misma humedad es recuperada de la corriente de aire AD por el desecante líquido 412 del sistema LDHR 120, para ser reciclada de regreso al sistema LDEC 110 por medio del sistema de almacenamiento 130.

[0038] Por ejemplo, en una implementación, para un ciclo de intercambio por lotes el sistema LDEC 110 bombea el primer desecante líquido 312 al primer tanque de almacenamiento S1, el cual está vacío, luego el segundo tanque de almacenamiento S2 bombea el segundo desecante líquido 412 al sistema LDEC 110 de modo que ahora el segundo tanque de almacenamiento S2 está vacío, luego el sistema LDHR 120 bombea el segundo desecante líquido 412 al segundo tanque de almacenamiento S2 vacío, y luego el primer tanque de almacenamiento S1 bombea el primer desecante líquido 312 al sistema LDHR 120, de modo que el sistema LDEC tiene desecante líquido fresca con presión de vapor alta, el sistema LDHR tiene desecante líquido fresco con presión de vapor baja, el primer tanque de almacenamiento S1 está vacío, y el segundo tanque de almacenamiento S2 contiene desecante líquido con presión de vapor alta al final del ciclo de intercambio por lotes.

[0039] Similar a la modalidad mostrada en la Figura 3, para el sistema LDEC 110, el sistema LDHR 120 en la Figura 4 puede incluir una segunda unidad 120', la

cual puede conectarse en serie o en paralelo con la primera unidad. La segunda unidad 120' se puede configurar para actuar como un sistema LDHR, o como un sistema de remoción de aerosol.

[0040] Los sensores discutidos anteriormente pueden incluir uno o más de un sensor de temperatura, sensor de humedad relativa, un sensor de presión, un sensor de conductividad, un sensor de índice refractivo, un sensor de densidad, un sensor de nivel de líquido o cualquier otro sensor o una combinación de estos sensores.

[0041] El controlador 150 puede ser implementado como un dispositivo de computación ilustrado en la Figura 5. Se puede utilizar hardware, firmware, software o una combinación de éstos para realizar los varios pasos y operaciones descritas acá.

[0042] El dispositivo de computación 500 adecuado para realizar las actividades descritas en las modalidades ejemplares puede incluir un servidor 501. Dicho servidor 501 puede incluir un procesador central (CPU) 502 acoplado a una memoria de acceso aleatorio (RAM) 504 y a una memoria de sólo lectura (ROM) 506. La ROM 506 también puede ser otro tipo de medio de almacenamiento para almacenar programas, tal como una ROM programable (PROM), PROM borrable (EPROM), etc. El procesador 502 puede comunicarse con otros componentes internos y externos mediante circuitos de entrada/salida (I/O) 508 y buses 510 para suministrar señales de control y similares. El procesador 502 lleva a cabo una variedad de funciones como es conocido en el estado del arte, dictadas por instrucciones de software y/o firmware.

[0043] El servidor 501 puede también incluir uno o más dispositivos de almacenamientos de datos, incluyendo discos duros 512, unidades de CD-ROM 514 y otro hardware capaz de leer y/o almacenar información, tal como DVD, etc. En una modalidad, el software para llevar a cabo los pasos anteriormente descritos puede ser almacenado y distribuido en un CD-ROM o DVD 516, un dispositivo de

almacenamiento USB 518 u otra forma de medio capaz de almacenar información de modo portátil. Estos medios de almacenamiento pueden ser insertados en, y leídos por, dispositivos tales como una unidad de CD-ROM, una unidad de disco 512, etc. El servidor 501 puede acoplarse a una pantalla 520, la cual puede ser cualquier tipo de visualizador o pantalla de presentación conocida, tal como LCD, 5 pantalla plasma, tubo de rayo de cátodos (CRT), etc. Se suministra una interfaz de entrada de usuario 522, que incluye uno o más mecanismos de interfaz de usuario tal como un ratón, teclado, micrófono, touchpad, pantalla táctil, sistema de reconocimiento de voz, etc.

10 **[0044]** El servidor 501 puede acoplar a otros dispositivos, tales como bombas, sensores y válvulas. El servidor puede ser parte de una configuración de red más grande como en una red de área global (GAN) tal como el Internet 528, lo cual permite la conexión final a varios dispositivos de computación fijos y/o portátiles.

[0045] Aunque el sistema LDHPEC 100 discutido anteriormente se muestra para 15 incluir únicamente el sistema LDEC 110 y el sistema LDHR 120, se pueden adicionar más sistemas, como por ejemplo, una unidad de aire acondicionado tradicional, un sistema fotovoltaico, un sistema de iluminación, un sistema de limpieza para limpiar las paredes transparentes del recinto para permitir que la energía solar llegue a las plantas, un sistema de purificación de aire, el cual es 20 discutido más adelante, etc.

[0046] El controlador 150 puede ser programado para controlar los sistemas ilustrados en la Figura 2 como será discutido ahora con relación a la Figura 6. En el paso 600, el controlador 150 se comunica con cada bomba, sensor y válvula para asignar un ID a cada elemento. En el paso 602, el controlador recibe una medición 25 de presión de vapor del sensor AS1, de la corriente de aire de entrada AA, y la compara con una presión de vapor del desecante líquido 312, medido por el sensor WS1. Si la presión de vapor de la corriente de aire AA es menor a la presión de vapor del desecante líquido 312, el controlador 150 enciende la bomba P1 en el

paso 604, abre la válvula V1 y cierra la válvula V2, para permitir que el desecante líquido 312 fluya a través de la almohadilla 310, y para enfriar y adicionar humedad a la corriente de aire AA. Si el resultado del paso de comparación 602 es negativo, el controlador apaga en el paso 604 la bomba del sistema LDEC.

5 **[0047]** Además, en el paso 608, el controlador también recibe las mediciones de presión de vapor de la corriente de aire AD que ingresa al sistema LDHR 120 y del desecante líquido 412 que fluye a través del sistema LDHR 120 y compara estas presiones de vapor. Si la presión de vapor de la corriente de aire AD es mayor a la presión de vapor del desecante líquido, el controlador enciende la bomba P4 del
10 sistema LDHR 120 y la válvula V11 que controla el flujo del desecante líquido al sistema, y cierra la válvula V12 que remueve el desecante líquido del sistema LDHR en el paso 610. Sin embargo, si la presión de vapor de la corriente de aire AD es menor a la presión de vapor del desecante líquido, el controlador apaga la bomba del sistema LDHR 120 en el paso 612. En el paso 614, si el proceso por lotes de
15 alguno del sistema LDEC o LDHR se ha acabado o se ha cumplido una cierta condición (por ejemplo, la presión de vapor del desecante líquido 312 es menor a la presión de vapor de la corriente de aire entrante AA por un tiempo mayor a un intervalo de tiempo dado, donde el intervalo de tiempo dado puede tomar cualquier valor), el controlador 150 abre la válvula V2 y/o V12 y cierra las válvulas V1 y V11
20 para vaciar el desecante líquido de uno o ambos de los sistemas 110 y 120. Nótese que los dos sistemas 110 y 120 pueden operar simultáneamente o secuencialmente o de forma alterna. El desecante líquido de cada sistema 110 y 120 se vacía en un correspondiente tanque de almacenamiento S1 y S2, respectivamente, a través de las válvulas V2 y V3 para el sistema LDEC y las válvulas V12 y V10 para el sistema
25 LDHR. Luego, en el paso 616, el controlador 150 puede decidir llenar nuevamente uno o ambos de los sistemas 110 y 120 con un desecante líquido diferente, por ejemplo, el sistema LDEC 110 con el desecante líquido 412 del segundo tanque de almacenamiento S2 y el sistema LDHR 120 con el desecante líquido 312 del primer

tanque de almacenamiento S2. De esta forma, el desecante líquido descargado por un sistema es reutilizado por el otro sistema y viceversa. Luego, el proceso vuelve al paso 602 para medir de nuevo la presión de vapor de la corriente de aire entrante y la corriente de aire saliente y los desecantes líquidos en ambos sistemas y el proceso se repite. El controlador 150 puede ser programado para ejecutar este ciclo únicamente durante el día, únicamente durante la noche, tanto en el día como en la noche, o para cualquier periodo de tiempo deseado.

[0048] Aunque el anterior proceso describe el uso del sistema LDHPEC propuesto en climas calientes y secos para suministrar enfriamiento y humidificación del aire para el ambiente interior, el sistema descrito puede ser revertido para suministrar calor y deshumidificación de aire frío y húmedo para el ambiente interior. La selección de si enfriar y humidificar el aire o calentar y deshumidificar el aire dependerá de las condiciones deseadas definidas en el ambiente interior, el clima local, y la temperatura y la humedad del aire a ser acondicionado (el cual puede incluir aire externo, aire interno reciclado, o cualquier combinación de los dos).

[0049] Se creó un modelo para estimar el porcentaje de humedad contribuida al proceso de enfriamiento evaporativo por el sistema LDEC 110 y un sistema TEC 110' para estimar la cantidad de agua que puede ser ahorrada al implementar el sistema LDHPEC 100 en un clima seco y caliente. El clima mensual promedio (temperatura y humedad) de Riyadh, Arabia Saudí, de octubre de 2012 a septiembre de 2013 fue utilizado como base para el modelo. De especial importancia son los meses más cálidos de abril a octubre, donde el enfriamiento evaporativo es usado extensivamente para mantener temperaturas frías para agricultura de ambiente controlado. El modelo fue desarrollado para un invernadero con una longitud de 40, ancho de 10 m, y una altura de 3 m. La eficiencia de enfriamiento evaporativo del sistema LDEC 110 se estimó en 0.75 y del sistema TEC 110' en 0.80. La eficiencia de recuperación de humedad del sistema LDHR 120 se estimó en 0.75. Para los invernaderos promedio existentes dentro del Reino de Arabia Saudí, la producción

estimada de tomates es 30 kg/m² por año y la huella de agua estimada es 350 L/kg de tomate producido (basado en una presentación por el Prof. Abdulaziz alHarbi de la Universidad del Rey Saudí en el Foro Global para Innovaciones en Agricultura en Abu Dabi, EAU el 5 de febrero de 2018); o aproximadamente 875 litros por m² de invernadero por mes. Para invernaderos en climas calientes y secos, se estima que el enfriador evaporativo contribuye de 80 a 90% del consumo de agua total del sistema agrícola (ver, Lefers y otros, 2016, y Sabeh 2007). Usando el modelo desarrollado, se estimó que el sistema LDEC 110 contribuirá aproximadamente 75 a 80% del uso total de agua de enfriamiento evaporativo, el cual es aproximadamente 60 a 75% del uso de agua total de invernadero. Con base en el modelo, el sistema LDHPEC 100 es estimado para ahorrar aproximadamente 45000 a 50000 m³ de agua por hectárea de invernadero instalado en Arabia Saudí. Cuando los ahorros en agua son valorados al precio de agua desalinizada (es decir, aproximadamente \$2.50/m³), se estima que se puede lograr un valor total de \$125000 por hectárea de invernadero por año en ahorros de agua usando el sistema LDHPEC 100. El área de producción total estimada de invernaderos en Arabia Saudí en 2105 fue 3019 hectáreas. Por lo tanto, si el sistema es aplicado a únicamente 10% de los invernaderos existentes, se puede lograr un valor total de ahorros de agua que supera \$37 millones de dólar por año.

[0050] El sistema descrito captura la humedad del aire que sale del recinto y lo “bombea” de regreso al aire que ingresa al recinto para enfriamiento evaporativo mediante el uso de un desecante líquido. El sistema puede ejecutarse en inverso, para calentar y deshumidificar el aire de un recinto, utilizando de nuevo desecantes líquidos. Más importante, el sistema discutido puede ahorrar una gran cantidad de agua que es necesaria para un invernadero tradicional en un clima caliente y seco. En inverso, el sistema puede ahorrar energía a ser usada para calentar y deshumidificar.

[0051] Un método para controlar una temperatura al interior de un invernadero como se discutió anteriormente, puede incluir, como se ilustra en la Figura 7, un paso 700 de encender una bomba P1 asociada con un sistema enfriador evaporativo de desecante líquido (LDEC) 110 para enfriar una corriente de aire entrante (AA) mediante el uso de un primer desecante líquido 312, un paso 702 de encender una bomba P4 asociada con un sistema de recuperación de desecante líquido (LDHR) 120 para remover la humedad de una corriente de aire húmedo (AD) mediante el uso de un segundo desecante líquido 412, un paso 704 de transferir el primer desecante líquido 312 del sistema LDEC 110 a un sistema de almacenamiento 130, un paso 706 de transferir el segundo desecante líquido 412 del sistema LDHR 120 al sistema de almacenamiento, y un paso 708 de almacenar de forma separada el primer desecante líquido 312 y el segundo desecante líquido 412 en el sistema de almacenamiento 103. La corriente de aire entrante (AA) es tomada del exterior del recinto, y la corriente de aire húmedo (AD) incluye vapores de agua del primer desecante líquido (312) y de plantas ubicadas dentro del invernadero. En una aplicación, el primer desecante líquido del sistema de almacenamiento es alimentado al sistema LDEC y el segundo desecante líquido del sistema de almacenamiento es alimentado al sistema LDHR. El método puede además incluir comparar, con un controlador, una lectura de un sensor de una pluralidad de sensores, el cual indica una presión de vapor en la corriente de aire entrante, con una lectura de un segundo sensor de la pluralidad de sensores, la cual indica una presión de vapor del primer desecante líquido, y determinar apagar una bomba asociada con el sistema LDEC, y/o comparar, con un controlador, una lectura de un sensor de la pluralidad de sensores, la cual indica una presión de vapor en la corriente de aire húmedo, con una lectura de otro sensor de la pluralidad de sensores, la cual indica una presión de vapor del segundo desecante líquido, y determinar apagar una bomba asociada con el sistema LDHR.

[0052] Adicional al potencial de controlar la humedad y la temperatura con un sistema basado en desecante líquido, los desecantes líquidos ofrecen una oportunidad única de purificación de aire para ayudar a controlar la propagación de enfermedades, esporas transmitidas por aire, polen, y remoción de polvo/partículas.

5 La alta concentración de sal de los desecantes líquidos (por ejemplo, tan alta como 40% en peso, y aproximadamente 10 veces más salada que el agua de mar) es letal para varias cepas de microorganismos y esporas fúngicas. Además, el polvo y otras partículas transmitidas por aire pueden ser removidos por sistemas de desecante líquido por medio de contacto de aire/líquido, cuando se implementa en
10 depuradores, sistemas de almohadilla y ventilador, y lechos de medio empacado.

[0053] Dado que los microorganismos que causan enfermedades pueden estar unidos al polvo y las partículas transmitidas por aire, la remoción de este polvo de la corriente de aire ayuda en la prevención de la propagación de enfermedades. Este proceso es necesario para varias aplicaciones, especialmente para la industria
15 de avícola en ambiente controlado, la cual ha visto recientemente grandes eventos de mortalidad en pollos como resultado de una transferencia de enfermedad entre granjas y prácticas pobres de saneamiento en granjas. También es de importancia para la industria de la producción de plantas, la cual está sujeta a transferencia de enfermedades y hongos patogénicos por medio de polvo, esporas, y
20 microorganismos transmitidos por el aire.

[0054] Sin embargo, los depuradores industriales tradicionales utilizan agua fresca en sus operaciones. Esta agua fresca enfría y adiciona humedad al aire tratado debido a una diferencia en presión de vapor entre el agua líquida y el aire por debajo del punto de saturación (por debajo de 100% de humedad relativa). El
25 enfriamiento y humidificación de la corriente de aire deseada para purificación de aire no siempre es deseable, y los recursos de agua se consumen dado que el agua debe ser reabastecida continuamente en la unidad de purificación debido a pérdidas evaporativas. Esto hace que los sistemas existentes basados en agua fresca sean

indeseables para depurar partículas de las corrientes de aire en climas fríos, en sistemas con un deseo de mantener los niveles de humedad por debajo de un cierto valor, y/o áreas de escasez de agua o acceso limitado al agua. Adicionalmente, el uso de agua fresca en depuradores no purifica el aire de microorganismos; estos sistemas únicamente remueven partículas y pueden incluso contribuir a la propagación de enfermedades como Legionela.

[0055] Contrario a estos problemas de los purificadores de aire existentes, el sistema LDAP novedoso a discutir a continuación ofrece uno o más de los siguientes beneficios cuando se compara con purificadores de aire basados en agua fresca:

(1) remueve contaminantes sin cambiar las propiedades térmicas del aire y su humedad, (2) ahorra agua fresca y (3) la condición de líquido desecado alto en sal no favorece la proliferación de patógenos, por ejemplo, Legionela.

[0056] Con relación al primer beneficio del sistema LDAP novedoso, es decir, este puede purificar el aire sin afectar las propiedades térmicas del aire (en climas donde esto es deseable), debido a que los desecantes líquidos pueden tener presiones de vapor iguales al aire ambiente, el sistema puede remover contaminantes del aire en una forma con depurador sin cambiar las propiedades térmicas del aire. Esta es una ventaja importante sobre los depuradores de agua fresca normales, especialmente en ambientes interiores acondicionados. El uso propuesto de desecantes líquidos en lugar de agua fresca en estos sistemas permite la elaboración del desecante líquido de modo que la presión de vapor del desecante coincide o casi coincide con la presión de vapor de la corriente de aire que está siendo tratada. En dicha forma, la evaporación y recolección de vapor de agua de/en la solución desecante se minimiza y la corriente de aire que es tratada puede ser purificada sin un aumento o disminución en su humedad.

[0057] En situaciones donde se desea un cierto punto de ajuste de humedad (tal como 50% de humedad relativa), la solución de desecante líquido puede ser preparada para acondicionar la corriente de aire por medio de evaporación o

condensación del desecante líquido de/en la solución desecante, dependiendo de la condición original y deseada de la corriente de aire que es purificada. Una vez la presión de vapor del aire coincide con la presión de vapor del desecante líquido, la evaporación y/o condensación del vapor de agua de/en el desecante cesa mientras
5 que el desecante continúa a purificar la corriente de agua. Como tal, los sistemas desecantes no requieren reabastecimiento continuo de agua en el sistema y pueden, en teoría, ser operados sin la necesidad de reemplazar la solución desecante, asumiendo que no hay fallas en el sistema (fugas, etc.)

[0058] Adicional a los ahorros de agua y el potencial de modificar/mantener las
10 corrientes de aire a un nivel de humedad deseado, los sistemas basados en desecante líquido ofrecen el potencial de purificar el aire de múltiples formas de contaminantes de aire, incluyendo microorganismos. El potencial de purificar el aire de potenciales patógenos hace que los sistemas LDAP sean muy atractivos para disminuir la incidencia y propagación de enfermedades y aire contaminado en
15 ambientes controlados.

[0059] De acuerdo con una modalidad ilustrada en la Figura 8, el sistema LDAP puede ser implementado como un sistema de almohadilla y ventilador 800, el cual incluye una almohadilla 802 soportada encima de una bandeja 804. Un desecante líquido 806 es almacenado en un tanque 808 y bombeado con una bomba 810, a
20 través de un conducto 812, a una porción superior 802A de la almohadilla 802. El desecante líquido 806 fluye a través de la almohadilla 802 debido a la gravedad, y es recolectado en la bandeja 804 en el fondo 802B de la almohadilla, desde el cual se devuelve al tanque 808. La corriente de aire sin tratar 820 es forzada por un ventilador 822 (o mecanismo equivalente) para ingresar a través de la almohadilla,
25 y así, interactúa por contacto directo con el desecante líquido 806. Como resultado de esta interacción, varias impurezas y patógenos son transferidos al desecante líquido y así, son removidos de la corriente de aire sin tratar 820, la cual resulta en

una corriente de aire tratada 824. La almohadilla 802 puede tener la misma estructura que la almohadilla 310 definida anteriormente.

[0060] La Figura 9 muestra otra implementación del sistema LDAP, como un sistema depurador 900. El sistema depurador 900 incluye un cuerpo 902 que se configura para recibir en un extremo superior 902A el desecante líquido 904, de un rociador 906. El rociador 906 está conectado fluidamente a una tubería 908 que lleva el desecante líquido 904 desde una bomba 910. La bomba 910 está conectada fluidamente a una parte inferior 902B del cuerpo 902, y la bomba circula el desecante líquido a través del circuito cerrado hecho por la tubería 908 y el cuerpo 902. Una corriente 920 de aire sin tratar es insertada en el cuerpo en una entrada 912. Después que las partículas de aire 922 interactúan directamente con el desecante líquido 904, una corriente de aire tratado 924 sale del cuerpo 902 en la salida 914. Como en la modalidad anterior, debido a la interacción directa entre las partículas de aire y las partículas de desecante líquido, varias impurezas y patógenos son transferidos al desecante líquido y así, son removidos de la corriente de aire sin tratar 920, lo cual resulta en la corriente de aire tratado 924.

[0061] Otra implementación posible del sistema LDAP se muestra en la Figura 10, y esta implementación utiliza un sistema de lecho de medio empacado 1000. El medio empacado 1002 puede estar hecho por el mismo material que la almohadilla 802. En este sistema, el desecante líquido 1004 de una bandeja/contenedor 1006 es bombeado con una bomba 1008, a través de una tubería 1010, a un dispositivo de distribución 1012, el cual se ubica en la porción superior del medio empacado 1002. El medio empacado 1002 se mantiene por la gravedad al cuerpo 1001 del sistema 1000. Las partículas del desecante líquido caen, debido a la gravedad, a través del medio empacado 1002 e interactúan directamente con las partículas de aire 1022 de una corriente de aire sin tratar 1020. La corriente de aire sin tratar 1020 ingresa en el cuerpo 1001 en la entrada 1014, que está ubicada por debajo del medio empacado 1002. Las partículas de aire 1022 se mueven en una dirección

hacia arriba a través del medio empacado 1002 y salen en la salida 1016 como una corriente de aire tratado 1024. El desecante líquido 1004 luego es recolectado en la bandeja 1006 y es recirculado por la bomba 1008. Como en las modalidades anteriores, debido a la interacción directa entre las partículas de aire y las partículas de desecante líquido, varias impurezas y patógenos son transferidos al desecante líquido y así, son removidos de la corriente de aire sin tratar 1020, lo cual resulta en la corriente de aire tratado 1024.

[0062] Cualquiera de los sistemas LDAP discutidos anteriormente (nótese que también se pueden utilizar otras implementaciones de este sistema) utilizan el desecante líquido para purificar una corriente de aire sin tratar entrante, por ejemplo, en agricultura de ambiente controlado. El aire contaminado es retirado en contacto con el desecante líquido en cualquiera de los sistemas mostrados en las Figuras 8 a 10, y el desecante líquido remueve los contaminantes transmitidos por aire por medio de contacto directo con aire/líquido, con procesos de desinfección adicionales.

[0063] A medida que el polvo y los sólidos continúan acumulándose en el sistema de desecante líquido durante el proceso de recirculación del desecante líquido, el polvo necesita ser filtrado/removido del sistema líquido para permitir la operación continua, o toda la corriente de líquido necesita ser reemplazada. La remoción del polvo del sistema de desecante líquido puede ser realizado por medio de un filtro de cartucho, sistema de membrana, filtro de arena, filtro de vórtice, o dispositivo de filtración similar (esta lista no pretende ser exhaustiva). La remoción del polvo de la corriente líquida permite que el sistema LDAP continúe la operación sin reemplazar la solución desecante.

[0064] Dicha potencial ubicación de un dispositivo de filtración 1102 para remoción de sólidos recolectados de una corriente de desecante líquido entrante 1104 se muestra en la Figura 11 para un sistema LDAP 1100. Los expertos en la materia entenderían que otras ubicaciones son posibles y pueden ser realizadas en

otras modalidades del sistema. El sistema 1100 también incluye una bomba 1106 que fuerza el desecante líquido a través de los varios elementos. La bomba 1106 puede estar conectada fluidamente a un módulo de tratamiento UV 1108, el cual se configura para desinfectar el desecante líquido y matar organismos que puedan sobrevivir en las condiciones hipersalinas del desecante. Los elementos mostrados en la Figura 11 pueden conectarse fluidamente entre sí en cualquier orden. La corriente de salida de desecante líquido 1110 luego está lista para ser suministrada a cualquiera de los sistemas 800, 900, o 1000 definidos anteriormente. En una aplicación, la bomba 1106 es la bomba mostrada en cada uno de los sistemas 800, 900, o 1000 y el dispositivo de filtración 1102 y el módulo de tratamiento UV 1108 son adicionados junto con las tuberías 812, 908, o 1010.

[0065] A medida que los microorganismos se acumulan en el sistema LDAP, algunos son eliminados por la alta salinidad del desecante líquido en la solución y/o la alta presión osmótica resultante, lo cual puede llevar a lisis de las células del microorganismo y/u otros procesos letales. Otros, sin embargo, pueden permanecer viables y pueden ser reintroducidos posteriormente en la corriente de aire si y cuando sus poblaciones superan un cierto valor crítico. Aunque estos microorganismos pueden sobrevivir en las condiciones de presión saladas y osmóticas altas del desecante líquido, ellos pueden ser eliminados o volverse inviables por medio del uso de luz ultravioleta (UV) suministrada por el módulo de tratamiento UV 1108. En una aplicación, la luz UV puede ser suministrada al sistema por medio de una lámpara UV del módulo de tratamiento UV 1108. Sin embargo, en una aplicación, el módulo de tratamiento UV 1108 simplemente expone la solución que pasa a la luz solar natural, la cual incluye luz UV. Una lámpara UV en línea tiene una huella menor, pero requiere electricidad para su operación. La luz solar natural no requiere de electricidad, pero puede requerir una huella mayor.

[0066] El sistema LDAP puede ser configurado diferente de un dispositivo de purificación de aire tradicional con agua fresca en el sentido que el área de

almacenamiento de líquido será diseñada para resistir la corrosión y para acomodar una fluctuación en el volumen del desecante líquido, dado que la humedad del aire ambiente y los volúmenes resultantes de líquido cambian.

[0067] Adicional a la purificación de aire, el sistema LDAP también puede ser
5 usado para acondicionar térmicamente la corriente de aire entrante por medio de enfriamiento evaporativo, calentamiento de desecante, deshumidificación, y/o intercambio de calor/energía. Al ubicar uno o más sistema LDAP en la entrada y la salida del sistema HVAC de un edificio, se puede realizar intercambio de calor latente y sensible para preacondicionar el aire de salida y para reducir la carga sobre
10 otros componentes HVAC. Dicho sistema puede recolectar calor y enfriamiento sensible y/o latente de la salida del sistema y reciclar ese acondicionamiento a la entrada de aire en un tipo de paso único del sistema HVAC, donde el aire interno es continuamente reemplazado por aire externo. En este sentido, la Figura 12 muestra dicho sistema 1200 que incluye una cámara de ambiente controlado 1210
15 que está conectada a un sistema HVAC 1212. La cámara 1210 se entiende acá que incluye cualquier estructura de ambiente controlado, independiente de si la estructura es usada para habitación humana, crecimiento animal, o producción de cultivos. Una corriente de aire entrante 1240 es primero tratada por un primer sistema LDAP 1220 (puede ser cualquiera de los sistemas 800, 900 o 1000
20 discutidos anteriormente), luego es enfriada por el sistema HVAC 1212 y luego es suministrada a la cámara 1210. En esta modalidad, la cámara 1210 puede ser un granero o recinto similar donde se mantiene ganado animal. Una corriente de aire que sale de la cámara 1210 luego es tratada por un segundo sistema LDAP 1230, y la corriente de aire saliente 1242 es liberada en el ambiente. Este proceso de
25 intercambio de calor latente se describe en mayor detalle en las modalidades ilustradas en las Figuras 1 a 4.

[0068] Los sistemas LDAS 1220 y 1230 se instalan en un tipo de paso único de sistema HVAC 1200, donde el aire del interior está continuamente siendo

reemplazado por aire del exterior. Dicho sistema purifica el aire entrante y el saliente para proteger a los animales o el cultivo en la cámara de ambiente controlado 1210 y también para detener la propagación de cualquier enfermedad o contaminación por fuera de la cámara 1210. Adicionalmente, cuando el desecante líquido se pasa en ciclo entre la entrada y la salida de la cámara 1210 (es decir, entre el primer y el segundo sistema LSAD como se muestra en la Figura 12), el sistema funciona como un intercambiador de calor/frío para reducir la carga sobre los otros componentes del sistema HVAC. Así, el sistema 1200 mostrado en la Figura 12 tiene el primer sistema LDAP en la entrada de aire y sirve para reducir la carga de patógeno y polvo que entra en la cámara 120 mientras que el segundo sistema LADP es instalado en la salida de aire y sirve para reducir la carga de patógeno y polvo que sale de la cámara 1210. En una modalidad, el sistema HVAC 1212 es el sistema LDHPEC 100 mostrado en la Figura 1. El sistema LDHPEC 100 incluye el sistema enfriador evaporativo de desecante líquido 110, el sistema de recuperación de humedad de desecante líquido 120, el sistema de almacenamiento 130, el sistema de tuberías 140, y el sistema de control 150.

[0069] Alternativamente, si el aire dentro de la cámara 1210 no es deseado para ser refrescado en una forma continua, como en la modalidad mostrada en la Figura 12, entonces es posible ubicar uno o más de los sistemas LDAP 1220 como sistemas independientes dentro de la cámara 1210, como se ilustra en la Figura 13, y luego la corriente de aire de entrada 1240 y la corriente de aire de salida 1242 se confinan al interior de la cámara 1210. El sistema HVAC 1212 aún puede ser usado para enfriar el aire al interior de la cámara 1210. Como lo entenderían los expertos en la materia, usando los sistemas LDAP en asociación con una cámara en la cual animales vivos o plantas son cultivados es sólo una aplicación posible de este sistema de purificación de aire. El sistema LDAP puede ser aplicado en cualquier situación donde se necesita purificar el aire.

[0070] En vista de las severas consecuencias debido a la propagación de varias enfermedades (por ejemplo, gripe aviar) en la industria del ganado, los sistemas LDAP discutidos acá se espera que mejores significativamente la calidad del aire para ambientes controlados, y es de especial significado a la industria agrícola de ambiente controlado, incluyendo la industria de aves de corral. Los sistemas LDAP discutidos acá pueden ser instalados para purificar corrientes de aire entrantes, recirculantes, y/o salientes de un ambiente controlado.

[0071] Las modalidades divulgadas suministran un sistema evaporativo combinado con un sistema de recuperación de humedad, ambos sistemas utilizan desecantes líquidos para controlar la temperatura al interior del recinto y para reciclar la humedad dentro del recinto. Una corriente de aire entrante en el recinto tiene humedad del desecante líquido adicionado a ésta mientras que la misma humedad es recuperada justo antes que la corriente de aire sea descargada fuera del recinto. Adicionalmente, un sistema de purificación de aire de desecante líquido puede ser usado como un sistema independiente o en combinación con un sistema de bomba de humedad y enfriador evaporativo de desecante líquido. Se debe entender que esta descripción no pretende limitar la invención. Por el contrario, las modalidades ejemplares pretenden cubrir alternativas, modificaciones y equivalentes, las cuales están incluidas en el espíritu y el alcance de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas. Además, en la descripción detallada de las modalidades ejemplares, se definen numerosos detalles específicos con el fin de suministrar un entendimiento exhaustivo de la invención reivindicada. Sin embargo, un experto en la materia entendería que se pueden realizar varias modalidades sin dichos detalles específicos.

[0072] Aunque las características y elementos de las presentes modalidades se describen en las modalidades en combinaciones particulares, cada característica o elemento puede ser usado solo sin las otras características y elementos de las

modalidades o en varias combinaciones con o sin otras características y elementos divulgados acá.

[0073] Esta descripción escrita utiliza ejemplos de la materia objeto divulgada para permitir que cualquier experto en la materia practique la misma, incluyendo la fabricación y uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier método incorporado. El alcance patentable de la materia objeto está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se le ocurran a los expertos en la materia. Dichos otros ejemplos se pretenden estar dentro del alcance de las reivindicaciones.

10

Referencias

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

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

ESTPC (2012). ESTCP Reporte de Costos y Desempeño: Acondicionador de Aire de Desecante Líquido con Energía Solar para Control de Humedad con Baja Electricidad (Programa de Certificación de Tecnología de Seguridad Ambiental, Departamento de Defensa de EE.UU.).

Kassem, T.K., Alosaimy, A.S., Hamed, A.M., Fazian, M. (2013). Sistemas de deshumidificación con energía solar que usan enfriadores evaporativos desérticos: Revisión. *Diario Internacional de Ingeniería y Tecnología Avanzada* 3, 115-128.

Kozubal, E., Woods, J., Burch, J., Boranian, A., y Merrigan, T. (2011). Aire Acondicionado Evaporativo Mejorado con Desecante (DEVap): Evaluación de un Nuevo Concepto en Aire Acondicionado Ultra Eficiente (Laboratorio Nacional de Energía Renovable).

Lefers, R. (2017). Un Ciclo de Desecante Líquido para Deshumidificación y Suministro de Agua Fresca en Agricultura de Ambiente Controlado. En el Centro de Desalinización y Reúso de Agua (Thuwal, Arabia Saudí Arabia: Universidad Rey Abdullah de Ciencia y Tecnología).

- 5 Lefers, R., Bettahalli, N.M.S., Nunes, S.P., Fedoroff, N., Davies, P.A., y Leiknes, T. (2016). Proceso de deshumidificación y regeneración de desecante líquido para cumplir con necesidades de enfriamiento y agua fresca de invernaderos en desierto. Desalinización y Tratamiento de Agua 57, 23430-23442.

- Lowenstein, A. (2008). Revisión de Tecnología de Desecante Líquido para
10 Aplicaciones HVAC. Investigación Hvac&R 14, 819-839.

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

- Mahmud, K., Mahmood, G.I., Simonson, C.J., y Besant, R.W. (2010).
15 Pruebas de desempeño de un sistema de intercambio de energía de membrana de contracorriente de flujo 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). Encuesta de sistemas de aire acondicionado híbridos de desecante líquido.
20 Revisiones de Energía Renovable y Sustentable 20, 186-200.

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

- Oberg, V., y Goswami, D.Y. (1998). Una revisión de Enfriamiento con
25 desecante líquido. Avances en Energía Solar 12, 431-470.

Sabeh, N.C. (2007). Evaluación y Minimización del Uso de Agua por Sistemas de Enfriamiento Evaporativo en Invernadero en un Clima Semi Árido.

Departamento de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas (Tucson, Arizona: La Universidad de Arizona).

Seyed-Ahmadi, M., Erb, B., Simonson, C.J., y Besant, R.W. (2009).
Comportamiento transitorio de sistema intercambiador de calor y humedad circular.

- 5 Parte I: Formulación de modelo y verificación. Diario Internacional de Transferencia de Calor y Masa 52, 6000-6011.