

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 819 853**

51 Int. Cl.:

<b>A01G 9/24</b>	(2006.01)
<b>A01G 13/08</b>	(2006.01)
<b>F24F 3/12</b>	(2006.01)
<b>F24F 3/147</b>	(2006.01)
<b>F24F 5/00</b>	(2006.01)
<b>F24F 12/00</b>	(2006.01)
<b>F24F 3/14</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.10.2016 PCT/US2016/055530**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **13.04.2017 WO17062476**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.10.2016 E 16854227 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.07.2020 EP 3358937**

54 Título: **Espacio de cultivo confinado y sistema de control ambiental**

30 Prioridad:

**08.10.2015 US 201514878066**

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

**19.04.2021**

73 Titular/es:

**HARVEST AIR, LLC (100.0%)  
10258 Timber Trail Drive  
Dallas, TX 75229, US**

72 Inventor/es:

**ZIMMERMAN, JOHN y  
WHALEY, CHRISTOPHER**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 819 853 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**

Espacio de cultivo confinado y sistema de control ambiental

**Antecedentes de los conceptos inventivos divulgados actualmente**

1. Campo de los conceptos inventivos actualmente divulgados y/o reivindicados.

5 Los conceptos inventivos divulgados y reivindicados en la presente memoria se refieren generalmente a sistemas y procedimientos para controlar el entorno interior de un recinto, y más particularmente, pero no a modo de limitación, a sistemas y procedimientos para controlar la temperatura, la humedad y opcionalmente niveles de CO<sub>2</sub> en un espacio confinado.

2. Breve descripción de la técnica relacionada

10 Los invernaderos requieren control de temperatura y humedad para mantener el follaje seco y la salud de las plantas. La iluminación puede causar calor excesivo y alta humedad, especialmente el agua libre sobre el follaje de la planta, promueve el desarrollo de enfermedades foliares, tal como el tizón del tomate, el moho gris y los mohos en diversos cultivos. Dichas enfermedades reducen sustancialmente el rendimiento del cultivo, deterioran la calidad del producto y requieren pesticidas para su control.

15 La sustitución del aire de invernadero por aire exterior es un procedimiento habitual para disminuir la humedad en un invernadero. El aire frío exterior, con baja humedad absoluta, reemplaza el aire más cálido del invernadero y absorbe el exceso de agua que se evapora. Sin embargo, tales procedimientos son ineficientes energéticamente y pueden traer contaminantes no deseados al espacio de cultivo. Por ejemplo, el documento US6199388B1 divulga un sistema en el que se suministra aire exterior a un espacio controlado a través de un procedimiento de intercambio de energía con aire de escape.

20 Por lo tanto, sería deseable tener un espacio de cultivo controlado y confinado con recirculación de la mayor parte o la totalidad del aire. También sería deseable tener un sistema para controlar la temperatura, la humedad y, opcionalmente, los niveles de CO<sub>2</sub> en el espacio de cultivo confinado que no requiera la adición de aire exterior. Esta divulgación propone un procedimiento y un sistema que logra esto.

25 **Breve resumen**

La invención es un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 y el procedimiento asociado de la reivindicación 9. Los conceptos inventivos divulgados y reivindicados en la presente memoria se refieren generalmente a sistemas y procedimientos para controlar el medio ambiente, que incluyen iluminación, temperatura, humedad y opcionalmente niveles de CO<sub>2</sub> en un interior de un recinto en el que se cultivan plantas. En una realización, un sistema agrícola controlado y cerrado incluye un espacio de cultivo y un sistema de tratamiento de aire que tiene una rueda de entalpía y un serpentón de enfriamiento. La rueda de entalpía es capaz de transferir calor sensible y latente y se ubica dentro y gira a través de tanto un conducto de aire de recirculación como un conducto de aire exterior, el conducto de aire de recirculación está adyacente al conducto de aire exterior. El conducto de aire de recirculación está aislado del conducto de aire exterior y está en conexión de fluidos con el espacio de cultivo y uno o más ventiladores de recirculación, mientras que el conducto de aire exterior está en conexión de fluidos con uno o más ventiladores de aire exteriores ubicados para hacer que fluya el aire exterior de una manera predeterminada, por ejemplo, a contracorriente del aire de recirculación. Se ubica un serpentín de enfriamiento dentro del conducto de aire de recirculación, corriente abajo y en serie con la rueda de entalpía. El serpentín de enfriamiento circula un fluido de transferencia de calor para eliminar el calor del aire de recirculación.

40 En otra realización, un sistema agrícola controlado y cerrado incluye un espacio de cultivo y un sistema de tratamiento de aire que tiene una rueda de calor, una rueda desecante y un serpentín de enfriamiento. La rueda de calor es capaz de transferir calor sensible y está posicionada en y puede rotar a través de un conducto de aire de recirculación y un conducto de aire exterior adyacente. La rueda desecante es capaz de transferir calor latente y se ubica en serie con la rueda de calor y puede rotar a través del conducto de aire de recirculación y el conducto de aire exterior adyacente. El conducto de aire de recirculación está aislado desde el conducto de aire exterior y está en conexión de fluidos con el espacio de cultivo y uno o más ventiladores de recirculación. El conducto de aire exterior está en conexión de fluidos con uno o más ventiladores de aire exteriores posicionados para hacer que el aire exterior fluya de manera predeterminada, por ejemplo, a contracorriente del aire de recirculación. Se ubica un serpentín de enfriamiento dentro del conducto de aire de recirculación, corriente abajo y en serie con la rueda de calor. El serpentín de enfriamiento circula un fluido de transferencia de calor para eliminar el calor del aire de recirculación.

50 En otra realización más, un procedimiento para tratar el aire dentro de un espacio de cultivo de un sistema agrícola cerrado incluye los siguientes pasos. El aire se recircula desde un espacio de cultivo confinado a través de un sistema de manejo de aire que tiene al menos una rueda de energía para reducir el contenido de energía del aire de recirculación. El aire de recirculación que sale de las ruedas de energía se pasa a través de un serpentín de

enfriamiento que circula un fluido de transferencia de calor para reducir aún más el contenido de calor del aire de recirculación. El aire de recirculación que pasa por el serpentín de enfriamiento regresa al espacio de cultivo confinado del sistema agrícola cerrado. El aire exterior pasa a través de las ruedas de energía a contracorriente y se separa del aire de recirculación.

**5 Breve descripción de los dibujos**

Los números de referencia similares en las figuras representan y se refieren al mismo elemento o función similar. Las implementaciones de la divulgación pueden entenderse mejor cuando se considera la siguiente descripción detallada de la misma. Dicha descripción hace referencia a las ilustraciones pictóricas, esquemas, gráficos y dibujos adjuntos. Las figuras no están necesariamente a escala y ciertas características y ciertas vistas de las figuras pueden mostrarse exageradas, a escala o en forma esquemática en aras de la claridad y la concisión. Todos los dibujos tienen el propósito de describir versiones seleccionadas de la presente invención y no pretenden limitar el alcance de la presente invención. En los dibujos:

- 10 La FIG. 1 ilustra un sistema ejemplar para tratar el aire dentro de una estructura cerrada para el cultivo de plantas de acuerdo con la presente divulgación.
- 15 La FIG. 2 es una vista en elevación de un espacio de cultivo cerrado ejemplar y un sistema de tratamiento de aire de acuerdo con la presente divulgación.
- La FIG. 3 es una vista en planta de una plataforma superior del sistema de tratamiento de aire de la FIG. 2.
- La FIG. 4 es una vista en planta de una plataforma intermedia del sistema de tratamiento de aire de la FIG. 2.
- La FIG. 5 es una vista en planta de una plataforma inferior del sistema de tratamiento de aire de la FIG. 2.
- 20 La FIG. 6 es una vista en planta del sistema de tratamiento de aire descrito en el Ejemplo 1.
- La FIG. 7 es un diagrama de flujo para el sistema de tratamiento de aire descrito en el Ejemplo 2.
- La FIG. 8 es un diagrama de flujo para el sistema de tratamiento de aire descrito en el Ejemplo 3.
- La FIG. 9 es un diagrama de flujo para el sistema de tratamiento de aire descrito en el Ejemplo 4.

**Descripción detallada de realizaciones ejemplares**

25 Antes de explicar al menos una realización de los conceptos inventivos divulgados en la presente memoria en detalle, debe entenderse que los conceptos inventivos no están limitados en su aplicación a los detalles de construcción, datos ejemplares y/o la disposición de los componentes establecidos en la siguiente divulgación, o ilustrados en los dibujos. Los conceptos inventivos actualmente divulgados y reivindicados son susceptibles de otras realizaciones o de ser practicados o llevados a cabo de diversas formas. Además, debe entenderse que la fraseología y la terminología  
30 empleadas en la presente memoria tienen únicamente fines descriptivos y no deben considerarse limitantes de ninguna manera.

En la siguiente descripción detallada de realizaciones de los conceptos inventivos, se establecen numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión más completa de los conceptos inventivos. Sin embargo, será evidente para un experto en la técnica que los conceptos inventivos dentro de la divulgación se pueden practicar sin  
35 estos detalles específicos. En otros casos, características bien conocidas no se han descrito en detalle para evitar complicar innecesariamente la presente divulgación.

Como será evidente para los expertos en la técnica al leer esta divulgación, cada una de las realizaciones individuales descritas e ilustradas en la presente memoria tiene componentes y características discretas que pueden separarse  
40 fácilmente o combinarse con las características de cualquiera de las otras realizaciones sin apartarse del alcance o espíritu de la presente divulgación. Cualquier procedimiento divulgado se puede llevar a cabo en el orden de los eventos recitados, así como cualquier otro orden que sea lógicamente posible.

Como se usa en la presente memoria, los términos "comprende", "que comprende", "incluye", "que incluye", "tiene", "que tiene" o cualquier otra variación de los mismos, están destinados a cubrir una inclusión no exclusiva. Por ejemplo, un procedimiento, procedimiento, artículo o aparato que comprende una lista de elementos no se limita  
45 necesariamente solo a esos elementos, sino que puede incluir otros elementos que no están expresamente listados o son inherentes a dicho procedimiento, procedimiento, artículo o aparato.

Además, a menos que se indique expresamente lo contrario, "o" se refiere a un inclusivo o y no a un exclusivo o. Por ejemplo, una condición A o B es satisfecha por cualquiera de los siguientes: A es verdadero (o presente) y B es falso (o no presente), A es falso (o no presente) y B es verdadero (o presente), y tanto A como B son verdaderas (o  
50 presentes).

Además, el uso de "un" o "una" se emplea para describir elementos y componentes de las realizaciones de la presente memoria. Esto se hace simplemente por conveniencia y para dar un sentido general del concepto inventivo. Esta descripción debe leerse para incluir uno o más y el singular también incluye el plural a menos que sea obvio que se quiere decir lo contrario.

5 El uso del término "pluralidad" pretende transmitir "más de uno" a menos que se indique expresamente lo contrario.

Como se usa en la presente memoria, cualquier referencia a "una realización" o "una realización" indica que un elemento, característica, estructura o característica particular descritos en relación con la realización se incluye en al menos una realización. Las apariciones de la frase "en una realización" en diversos lugares de la memoria descriptiva no se refieren necesariamente a la misma realización.

10 La referencia a una rueda de energía en la presente memoria y en las reivindicaciones adjuntas se refiere a un tipo de intercambiador de calor aire-aire giratorio. Una rueda de energía que transfiere sólo calor sensible se denomina en la presente memoria y en las reivindicaciones adjuntas como "rueda de calor". Una rueda de energía que transfiere solo calor latente se denomina en la presente memoria y en las reivindicaciones adjuntas como una "rueda desecante".  
 15 Una rueda de energía que puede transferir tanto calor sensible como calor latente se denomina en la presente memoria y en las reivindicaciones adjuntas como "rueda de entalpía".

Las referencias a espacios de cultivo agrícolas son solo, por ejemplo, y los conceptos inventivos divulgados en la presente memoria pueden usarse con cualquier espacio cerrado, confinado o casi cerrado y confinado.

20 Los espacios de cultivo agrícola generan alta humedad debido a la transpiración de las plantas y altas cargas de calor sensible debido a la luz solar o las luces del cultivo. Para mantener un espacio de cultivo con bajos niveles de contaminación, es deseable eliminar el exceso de calor y humedad sin agregar aire exterior al espacio de cultivo confinado.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 1 y FIG. 2, un sistema 10 agrícola controlado incluye un espacio 12 de cultivo y un sistema 13 de tratamiento de aire. El sistema 13 de tratamiento de aire incluye una rueda 14 de entalpía, un serpentín 16 de enfriamiento y opcionalmente un serpentín 18 de condensación. La rueda 14 de entalpía es capaz de transferir calor sensible y latente, y está posicionada en y puede rotar a través de un conducto 22 de aire de recirculación y un conducto 24 de aire exterior adyacente al conducto 22 de aire de recirculación. El conducto 22 de  
 25 aire de recirculación está en conexión de fluidos con el espacio 12 de cultivo y uno o más ventiladores 26 de aire de recirculación, mientras que el conducto 24 de aire exterior está en conexión de fluidos con uno o más ventiladores 28 de aire exteriores ubicados para causar que el aire exterior fluya en contracorriente al aire de recirculación. El serpentín 16 de enfriamiento se ubica dentro del conducto 22 de aire de recirculación, corriente abajo y en serie con la rueda 14 de entalpía. El serpentín 16 de enfriamiento circula un fluido de transferencia de calor a través de una línea 30 de fluido de transferencia de calor para eliminar el calor del aire de recirculación.

30 El sistema 10 agrícola controlado se puede operar para controlar el entorno dentro del espacio 12 de cultivo definido por las paredes 34 laterales y una pared 36 superior. Las paredes 34 laterales y la pared 36 superior pueden estar hechas de vidrio como invernaderos tradicionales, con persianas o similares para controlar la cantidad de luz solar que ingresa al espacio 12 de cultivo. En una realización, las paredes 34 laterales y la pared 36 superior son opacas a la luz solar, y se proporciona luz artificial a las plantas que crecen en el espacio 12 de cultivo mediante las luces 38 del cultivo. El uso de luces 38 del cultivo proporciona una flexibilidad adicional y un ahorro de energía, ya que los factores ambientales pueden controlarse y, por lo tanto, optimizarse en términos de rendimiento de la planta y eficiencia energética.  
 35

40 Por ejemplo, en algunos climas puede ser ventajoso tener luz artificial por la noche cuando la temperatura del espacio exterior de cultivo es más fría, y oscuridad durante el día cuando la temperatura del espacio exterior de cultivo es mucho más caliente, disminuyendo así la carga de calor que debe eliminarse del aire de recirculación. Además, el uso de luces 38 del cultivo permite optimizar la duración de la luz y la oscuridad tanto para el rendimiento de la planta como para los costes energéticos.  
 45

En una realización, la luz solar real se reemplaza completamente por luz artificial. En otra realización, las longitudes de onda de la luz, la intensidad de la luz y la duración de la luz pueden ser completamente artificiales y controladas, eliminando así las ineficiencias asociadas con el clima y las condiciones estacionales.

50 El espacio 12 de cultivo puede acondicionarse durante todo el año y se puede evitar el aire exterior, eliminando así los problemas debidos a estaciones variables, plagas, contaminantes del aire tales como mohos, polen, etc. El enfriamiento constante del aire dentro del espacio 12 de cultivo puede resultar en ahorros significativos en el uso de energía y los costes resultantes.

55 En una realización, el aire en el espacio 12 de cultivo circula de tal manera que no se mezcla con el aire exterior, minimizando así la contaminación del espacio 12 de cultivo. Los ventiladores 26 de aire de recirculación extraen aire del espacio 12 de cultivo a través del sistema 13 de tratamiento de aire, separados desde y en flujo a contracorriente hacia el aire exterior que es extraído del exterior del sistema 13 de tratamiento de aire por los ventiladores 28 aire exteriores y pueden ser controlados, al menos en parte, por un amortiguador 39 de aire exterior.

En una realización, la rueda 14 de entalpía se ubica y puede girar a través de un conducto 20 bifurcado. Una pared 40 de separación bifurca al menos una porción del conducto 20, de modo que la pared 40 de separación separa una porción 22' de aire de recirculación de una porción 24' de aire exterior. La porción 22' de aire de recirculación del conducto 20 bifurcado se denomina a veces como el conducto 22 de aire de recirculación. Del mismo modo, la porción 24' de aire exterior del conducto 20 bifurcado a veces se denomina en la presente memoria como el conducto 24 de aire exterior.

La rueda 14 de entalpía se puede colocar dentro del conducto 20 bifurcado, o dentro del conducto 22 de aire de recirculación y el conducto 24 de aire exterior, de modo que el aire caliente húmedo recirculado desde el espacio 12 de cultivo pase por una porción de la rueda 14 de entalpía y el aire exterior pase en la dirección opuesta a través de la porción restante de la rueda 14 de entalpía. Se pueden usar juntas de cepillo y similares para mantener el aislamiento entre el aire de recirculación y el aire exterior o al menos minimizar la contaminación del aire de recirculación con aire exterior.

Las ruedas de energía son un tipo de intercambiador de calor aire-a-aire que no solo puede transferir calor sensible sino también calor latente. Cuando se transfieren tanto la temperatura como la humedad, la rueda de energía se considera una rueda de entalpía. El intercambiador de calor de rueda de energía giratoria está compuesto por un cilindro giratorio lleno de un material permeable al aire que da como resultado una gran área superficial para la transferencia de energía sensible. A medida que la rueda gira entre la porción 22' de aire de recirculación y la porción 24' de aire exterior del conducto 20 bifurcado, o a través del conducto 22 de aire de recirculación adyacente al conducto 24 de aire exterior, la rueda recoge energía sensible (calor) y libera la energía sensible en una corriente de aire exterior relativamente más fría. La fuerza impulsora detrás del intercambio es la diferencia de temperaturas entre las corrientes de aire opuestas, lo que también se denomina gradiente térmico. Ejemplos no limitantes de material adecuado utilizado incluyen polímero, aluminio y fibra sintética.

El intercambio de humedad o energía latente en las ruedas de entalpía se logra mediante el uso de desecantes. Los desecantes transfieren humedad a través del procedimiento de adsorción, que es impulsado principalmente por la diferencia en la presión parcial de vapor dentro de las corrientes de aire opuestas. Ejemplos no limitantes de desecantes adecuados incluyen gel de sílice y tamices moleculares.

En algunos entornos, se pueden usar reguladores de modulación para controlar el caudal de aire exterior. La modulación de la velocidad de la rueda, el precalentamiento del aire y la detención/desplazamiento del sistema ofrecen medios adicionales para controlar la transferencia de energía. La contaminación cruzada de los contaminantes a través del desecante también puede ser un problema, pero se puede evitar, por ejemplo, mediante el uso de un desecante selectivo como un tamiz molecular.

En una realización, se ubica un amortiguador 42 de mezcla en el conducto 24 de aire exterior, o la porción 24' de aire exterior del conducto 20 bifurcado, corriente abajo de la rueda 14 de entalpía, y puede usarse para controlar la cantidad de aire exterior. Por ejemplo, uno o más amortiguadores moduladores estándar de la industria pueden ubicarse en paralelo con la rueda 14 de entalpía y modularse en concierto con el amortiguador 39 de aire exterior para mantener el funcionamiento y rendimiento deseados de la rueda 14 de entalpía.

Las mediciones de temperatura y humedad relativa se pueden tomar usando, por ejemplo, sensores de temperatura y humedad estándar de la industria. Las mediciones de temperatura y humedad relativa de la corriente de aire exterior que ingresa a la rueda 14 de entalpía, donde el aire de recirculación ingresa a la rueda 14 de entalpía, y el aire de recirculación que sale de la rueda 14 de entalpía se pueden usar para controlar la velocidad de los ventiladores 28 de aire exteriores, la velocidad de la rueda de entalpía y la operación de control del serpentín 16 de enfriamiento evaporador de expansión directa.

El serpentín 16 de enfriamiento puede enfriar aún más el aire de recirculación que sale de la rueda 14 de entalpía. El serpentín 16 de enfriamiento puede hacer circular agua fría, una mezcla de agua fría y glicol, refrigerante y similares.

En una realización, se produce agua enfriada en otra porción de la instalación que aloja el sistema agrícola controlado y se utiliza para enfriar aún más el aire de recirculación que sale de la rueda 14 de entalpía.

En una realización, el serpentín 16 de enfriamiento es un serpentín de enfriamiento del evaporador de expansión directa. Un compresor 32 y un serpentín 18 de condensación son exteriores al conducto 22 de aire de recirculación, o la porción 22' de aire de recirculación del conducto 20 bifurcado, y usan aire del exterior para eliminar el calor del fluido de transferencia de calor.

El diseño y el funcionamiento de los serpentines de enfriamiento del evaporador son bien entendidos por los expertos en la técnica. Típicamente, el refrigerante líquido condensado y presurizado se dirige a través de una válvula de expansión donde sufre una abrupta reducción de presión. Esa reducción de presión da como resultado la evaporación instantánea de una parte del refrigerante líquido, lo que reduce su temperatura. El refrigerante frío se dirige entonces a través del serpentín de enfriamiento del evaporador. Los ventiladores de aire soplan el aire de recirculación a través del evaporador, lo que hace que la parte líquida de la mezcla refrigerante fría también se evapore, lo que reduce aún más la temperatura. Por lo tanto, el aire de recirculación se enfría mediante transferencia de calor desde el serpentín 16 de enfriamiento del evaporador de expansión directa.

5 El vapor de refrigerante de recirculación entra en el compresor 32 y se comprime a una presión más alta, lo que también da como resultado una temperatura más alta. El vapor refrigerante comprimido caliente se encuentra a una temperatura y presión a las que se puede condensar y pasa a través del serpentín 18 de condensación ubicado en el conducto 24 de aire exterior, o la porción 24' de aire exterior del conducto 20 bifurcado. Los ventiladores 28 de aire exteriores hacen que el aire exterior que sale de la rueda 14 de entalpía fluya a través del serpentín 18 de condensación. El aire exterior más frío que fluye a través del serpentín 18 de condensación hace que el refrigerante en el serpentín se condense en un líquido. Por lo tanto, en resumen, el refrigerante circulante elimina el calor del aire de recirculación y el calor es arrastrado por el aire exterior.

10 En una realización, por ejemplo, cuando el clima u otras circunstancias hacen que el aire de recirculación sea más frío de lo deseado, el ciclo de refrigeración puede invertirse y el refrigerante se bombea en la dirección opuesta. El efecto general es el opuesto, y el aire de recirculación se calienta en lugar de enfriarse.

15 En una realización, por ejemplo, cuando el aire de recirculación se enfría más de lo deseado para recircular al espacio 12 de cultivo, uno o más calentadores 44 en el conducto 22 de aire de recirculación, o la porción 22' de aire de recirculación del conducto 20 bifurcado, puede utilizarse para controlar la temperatura del aire de recirculación y el espacio 12 de cultivo. Los ejemplos no limitantes de calentadores adecuados incluyen calentadores de resistencia eléctrica, radiadores de agua caliente, hornos de gas natural y similares.

20 Se puede usar un generador 46 de CO<sub>2</sub> para agregar al conducto 22 de aire de recirculación, o la porción 22' de aire de recirculación del conducto 20 bifurcado. Un sensor 48 de CO<sub>2</sub> asociado puede detectar y leer el nivel de CO<sub>2</sub> en el aire de recirculación e introducir el nivel en un controlador 50 de CO<sub>2</sub>. El generador 46 de CO<sub>2</sub> es controlado por el controlador 50 de CO<sub>2</sub> para mantener el contenido de CO<sub>2</sub> en un punto de ajuste o intervalo de ajuste.

25 En una realización, el generador 46 de CO<sub>2</sub> comprende un quemador de gas natural ubicado en el conducto 24 de aire exterior, o la porción 24' de aire exterior del conducto 20 bifurcado. La ubicación del quemador de gas natural en la porción de aire exterior permite que la mayor parte del calor relacionado con la combustión se escape directamente al exterior. Los gases de combustión del quemador de gas natural se suministran en cantidades controladas al aire de recirculación. Se puede utilizar un ventilador 52 de gases de combustión ubicado en la pared 40 de separación, por ejemplo, para medir el gas de combustión a la porción 22' de aire de recirculación del conducto 20 bifurcado y así mantener el contenido de CO<sub>2</sub> en un punto o intervalo establecido.

30 En una realización, también se usa una persiana 54 de control para purgar el exceso de CO<sub>2</sub> del conducto 22 de aire de recirculación, o la porción 22' de aire de recirculación del conducto 20 bifurcado, para mantener el contenido de CO<sub>2</sub> en un punto o intervalo establecido.

35 En una realización, se instala un sensor 48 de CO<sub>2</sub> estándar de la industria en el conducto 22 de aire de recirculación, o en la porción 22' de aire de recirculación del conducto 20 bifurcado. El sensor 48 de CO<sub>2</sub> retroalimenta al controlador 50 de CO<sub>2</sub> dentro de un sistema 55 de control central para determinar si el quemador de gas natural debe encenderse y a qué tasa debe medirse el gas de combustión que contiene CO<sub>2</sub> en el sistema 13 de tratamiento de aire para cumplir o mantener un punto establecido de CO<sub>2</sub> definido por el usuario.

40 En una realización, el sistema 13 de tratamiento de aire incluye una rueda 56 desecante separada para eliminar la humedad del aire de recirculación. La rueda 56 desecante se ubica y puede girar a través de tanto el conducto 22 de aire de recirculación como el conducto 24 de aire exterior de modo que el aire húmedo caliente recirculado desde el espacio 12 de cultivo pasa a través de una porción de la rueda 56 desecante y el aire exterior calentado que sale del serpentín 18 de condensación pasa en la dirección opuesta a través de la porción restante de la rueda 56 desecante. Una rueda 57 térmica separada capaz de transferir calor sensible también ubicada dentro y que puede girar a través de tanto el conducto de aire de recirculación como el conducto de aire exterior. La rueda 57 de calor enfría el aire de recirculación seco que sale de la rueda 56 de desecante y transfiere el calor sensible al aire exterior corriente arriba de la rueda 56 de desecante.

45 Como se describió anteriormente para la rueda 14 de entalpía, la rueda 56 desecante está compuesta por un cilindro que gira llenado con un material permeable al aire que comprende desecante. A medida que la rueda 56 desecante gira entre el conducto 22 de aire de recirculación y el conducto 24 de aire exterior, recoge la humedad del aire de recirculación húmedo y la libera en la corriente de aire exterior del secador. Los desecantes transfieren la humedad a través del procedimiento de adsorción que es impulsado predominantemente por la diferencia en la presión parcial de vapor dentro de las corrientes de aire opuestas. Los desecantes adecuados incluyen gel de sílice y tamices moleculares. El aire exterior con calor y humedad absorbidos es luego descargado desde el sistema 13 de tratamiento de aire y devuelto a la atmósfera.

50 En una realización, un filtro 58 de aire de recirculación ubicado en el conducto 22 de aire de recirculación elimina las partículas del aire de recirculación antes de devolverlas al espacio 12 de cultivo. Los expertos en la técnica conocen bien el diseño y el funcionamiento de los filtros de aire.

55 Se puede colocar un filtro 60 de aire exterior en el conducto 24 de aire exterior para eliminar las partículas del aire exterior antes de pasarlas a través de la rueda 14 de entalpía o la rueda 56 desecante y la rueda 57 de calor. La eliminación de partículas puede ayudar en la reducción del mantenimiento de las ruedas.

5 El sistema 55 de control central puede modular los ventiladores, las ruedas y, opcionalmente, el compresor para minimizar el consumo de energía. Los componentes del sistema descrito anteriormente pueden ser de velocidad variable. Los ventiladores pueden variar el volumen de aire movido y las velocidades de las ruedas pueden variar para maximizar la eficiencia. El sistema de enfriamiento mecánico que incluye el serpentín 16 de enfriamiento proporciona de manera óptima solo el enfriamiento necesario. La lógica de control de los componentes se puede alojar en un armario de control común.

10 En la realización mostrada en la FIG. 2, el sistema 13 de tratamiento de aire está construido adyacente al espacio 12 de cultivo con una salida 62 de aire de recirculación que se origina desde un lado lejano del espacio 12 de cultivo, y una entrada 64 de aire de recirculación próxima al sistema 13 de tratamiento de aire. Si bien se pueden utilizar numerosas distribuciones, la separación de la salida y la entrada 62 y 64 de aire de recirculación, respectivamente, mejora la eficiencia del reemplazo de aire en el espacio 12 de cultivo. La FIG. 3 a la FIG. 5 muestran posibles distribuciones de equipos en tres niveles del sistema 13 de tratamiento de aire.

15 Un procedimiento para tratar el aire dentro de un espacio de cultivo de un sistema agrícola cerrado incluye un equipo de control de temperatura y humedad como se describió anteriormente. El aire de recirculación desde un espacio de cultivo confinado se hace pasar a través de un sistema de tratamiento de aire que comprende al menos una rueda de energía para reducir el contenido de energía del aire de recirculación. El aire de recirculación que sale de las ruedas de energía pasa a través de un serpentín de enfriamiento que hace circular un fluido de transferencia de calor para reducir más el contenido de calor del aire de recirculación. El aire de recirculación que pasa por el serpentín de enfriamiento se devuelve luego al espacio de cultivo confinado. El aire exterior pasa a través de las ruedas de energía en contracorriente a y se separa del aire de recirculación.

20

25 En una realización, el aire de recirculación que sale de las ruedas de energía se puede pasar a través de un serpentín de enfriamiento del evaporador de expansión directa que hace circular un fluido de transferencia de calor para reducir aún más el contenido de calor del aire de recirculación antes de devolver el aire a la porción principal de la estructura cerrada. El fluido de transferencia de calor se enfría circulando a través de un compresor y un serpentín de condensación en contacto con el aire exterior.

30

30 En una realización, la rueda de energía comprende una rueda de entalpía para reducir la temperatura y el contenido de humedad del aire de recirculación. En otra realización, las ruedas de energía comprenden tanto una rueda desecante para reducir el contenido de humedad del aire de recirculación como una rueda térmica para reducir la temperatura del aire de recirculación.

35 El procedimiento para tratar el aire dentro de un espacio de cultivo de un sistema agrícola cerrado puede incluir adicionalmente el control del contenido de CO<sub>2</sub> del aire que circula desde el espacio de cultivo. Se agrega CO<sub>2</sub> si el contenido de CO<sub>2</sub> está por debajo de un valor deseado, y una porción del aire de recirculación se descarga si el contenido de CO<sub>2</sub> está por encima de un nivel determinado como dañino.

40 En los siguientes ejemplos, se describen sistemas agrícolas controlados y cerrados específicos. Sin embargo, los conceptos de la presente invención no deben limitarse en su aplicación al equipo específico, la distribución de la planta y los procedimientos operativos. Más bien, los Ejemplos se proporcionan simplemente como una de diversas realizaciones y se pretende que sean ejemplares, no exhaustivos.

### Ejemplo 1

45 En algunas aplicaciones, el nivel de humedad en el sistema agrícola cerrado requiere una deshumidificación más extensa de lo normal. Como se muestra en la FIG. 6, se instala una segunda rueda desecante corriente abajo de los ventiladores de recirculación y el serpentín de condensación. La rueda de entalpía se reemplaza por una rueda de calor (rueda sensible de solo calor, sin desecante). Un serpentín de condensación o un quemador de gas natural actúa como calor de regeneración para la rueda de solo calor latente. A medida que la rueda desecante gira desde una corriente de aire a la otra, adsorbe la humedad del aire de recirculación. Esa humedad luego se libera a la corriente de aire exterior. Para ayudar en esa liberación, se aplica calor de regeneración (calor del serpentín de condensación y/o quemador de gas natural opcional) al aire que ingresa a la rueda en la corriente de aire exterior. Se instala un conjunto adicional de sensores de temperatura y humedad relativa corriente abajo de la rueda desecante. El sistema de control varía la velocidad de la rueda desecante para cumplir con el punto de ajuste de humedad relativa definido por el usuario. De manera similar, el sistema de control varía la rueda de calor para cumplir con el punto establecido de temperatura definido por el usuario.

50

### Ejemplo 2

55 La eficacia del sistema de tratamiento de aire depende de la temperatura y la humedad del aire exterior. Cuando las condiciones son favorables (clima de secado más fresco), el sistema es capaz de transferir el calor y la humedad del aire de recirculación a través de la rueda de entalpía al aire exterior más frío y más seco. Como se indica en el diagrama de flujo mostrado en la FIG. 7, aire exterior a 13,89 °C con 40,7 granos de humedad ingresan a la unidad y a la rueda

de entalpía. La temperatura del aire de recirculación resultante y el nivel de grano fuera de la rueda (15,56 °C/45,1 granos) para proporcionar el 100% del calentamiento y deshumidificación requeridos.

### Ejemplo 3

5 A medida que aumentan la temperatura y la humedad del aire exterior, la rueda de entalpía aún puede proporcionar valor "preacondicionando" el aire de recirculación antes del serpentín de enfriamiento. En el diagrama de flujo mostrado en la FIG. 8, aire exterior a 13,89 °C con 60,6 granos ingresan a la unidad de tratamiento de aire y a la rueda de entalpía. La temperatura del aire de recirculación resultante y el nivel de grano de la rueda (15,56 °C/63,2 granos) es suficiente para enfriar el aire de recirculación, pero no es suficiente para eliminar la humedad del aire de recirculación. Como resultado, el sistema de control de la unidad de tratamiento de aire permitirá que el enfriamiento mecánico elimine los granos adicionales de humedad del aire de recirculación, hasta el punto establecido definido por el usuario de 48 granos. Con el fin de eliminar la humedad, el serpentín de enfriamiento debe sobreenfriar el aire, 10 °C. El aire sobreenfriado podría potencialmente sobreenfriar el aire de recirculación, por lo tanto, el sistema de control de la unidad de tratamiento de aire permitirá que la fuente de calor caliente el aire de recirculación al punto establecido definido por el usuario.

### 15 Ejemplo 4

En algún momento, el aire exterior estará demasiado caliente y demasiado húmedo para que el sistema de tratamiento de aire pueda transferir calor y humedad de la corriente de aire de recirculación a la corriente de aire exterior. En el diagrama de flujo mostrado en la FIG. 9, cuando el sistema de control determina que no hay ningún beneficio de la rueda de entalpía, la rueda se detendrá. En este punto, la unidad de tratamiento de aire es capaz de enfriar mecánicamente todo el aire de recirculación para cumplir con el punto establecido definido por el usuario.

20 A partir de la descripción anterior, queda claro que los conceptos inventivos divulgados en la presente memoria están bien adaptados para llevar a cabo los objetos y lograr las ventajas mencionadas en la presente memoria, así como las inherentes al concepto inventivo divulgado en la presente memoria. Si bien se han divulgado realizaciones ejemplares del concepto inventivo divulgado en la presente memoria para los fines de esta divulgación, se entenderá que se pueden realizar numerosos cambios que se sugerirán fácilmente a los expertos en la técnica y que se logran sin apartarse del alcance del concepto inventivo divulgado en la presente memoria y definido por las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema (10) agrícola controlado, que comprende:

Un espacio (12) de cultivo confinado; y también:

- 5 una rueda (14) de entalpía capaz de transferir calor sensible y latente, estando la rueda (14) de entalpía ubicada en y pudiendo girar a través de un conducto (22) de aire de recirculación y un conducto (24) de aire exterior, siendo el conducto (22) de aire de recirculación adyacente al conducto (24) de aire exterior y en conexión de fluidos con el espacio (12) de cultivo confinado y uno o más ventiladores (26) de recirculación para devolver el aire de recirculación al espacio (12) de cultivo confinado, estando el conducto (24) de aire exterior en conexión de fluidos con uno o más ventiladores (28) de aire exterior ubicados para hacer que el aire exterior fluya en contracorriente del aire de recirculación; y un serpentín (16) de enfriamiento dentro del conducto (22) de aire de recirculación, corriente abajo y en serie con la rueda (14) de entalpía, haciendo circular el serpentín (16) de enfriamiento un fluido de transferencia de calor para eliminar calor del aire de recirculación; o
- 10 una rueda (57) de calor capaz de transferir calor sensible, estando la rueda (57) de calor ubicada en y pudiendo girar a través de un conducto (22) de aire de recirculación y un conducto (24) de aire exterior, siendo el conducto (22) de aire de recirculación adyacente al conducto (24) de aire exterior y en conexión de fluidos con el espacio (12) de cultivo confinado y uno o más ventiladores (26) de recirculación para devolver el aire de recirculación al espacio (12) de cultivo confinado, estando el conducto (24) de aire exterior en conexión de fluidos con uno o más ventiladores (28) de aire exterior ubicados para hacer que el aire exterior fluya en contracorriente del aire de recirculación; y una rueda (56) desecante capaz de transferir calor latente, estando la rueda (56) desecante ubicada en y pudiendo girar a través del conducto (22) de aire de recirculación en serie con la rueda (57) de calor de manera que el aire de recirculación pasa a través del rueda (56) desecante antes de pasar por la rueda (57) de calor; y un serpentín (16) de enfriamiento dentro del conducto (22) de aire de recirculación, corriente abajo y en serie con la rueda (57) de calor, haciendo circular el serpentín (16) de enfriamiento un fluido de transferencia de calor para eliminar el calor del aire de recirculación.
- 15
- 20
- 25 2. El sistema (10) agrícola controlado de la reivindicación 1, en el que el espacio (12) de cultivo confinado comprende un invernadero cerrado.
3. El sistema (10) agrícola controlado de la reivindicación 1, en el que el espacio (12) de cultivo confinado es cerrado y comprende paredes (34, 36) exteriores impermeables a la luz y luces (38) de cultivo ubicadas dentro del espacio (12) de cultivo confinado.
- 30 4. El sistema (10) agrícola controlado de una cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en el que el serpentín (16) de enfriamiento comprende un serpentín de enfriamiento de evaporación de expansión directa.
5. El sistema (10) agrícola controlado de la reivindicación 4, que comprende además un compresor (32) y un serpentín (18) de condensación externo al conducto (22) de aire de recirculación para eliminar el calor del fluido de transferencia de calor.
- 35 6. El sistema (10) agrícola controlado de una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, que comprende además un amortiguador (42) de recirculación dentro del conducto (24) de aire exterior y posicionado para recircular una porción del aire exterior desde corriente abajo de la rueda (14) de entalpía hasta corriente arriba de la rueda (14) de entalpía.
7. El sistema (10) agrícola controlado de una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, que comprende además una fuente (44) de calor posicionada para proporcionar calor al aire de recirculación corriente abajo de la rueda (14) de entalpía o la rueda (57) de calor y la rueda (56) desecante.
- 40 8. El sistema (10) agrícola controlado de una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, que comprende además un monitor (48) de CO<sub>2</sub> ubicado para monitorizar un contenido de CO<sub>2</sub> en el conducto (22) de aire de recirculación, preferiblemente comprendiendo además un generador (46) de CO<sub>2</sub> y un controlador (50) de CO<sub>2</sub> en comunicación con el monitor (48) de CO<sub>2</sub>, en el que el generador (46) de CO<sub>2</sub> tiene una salida posicionada para agregar CO<sub>2</sub> al conducto (22) de aire de recirculación.
- 45 9. Un procedimiento de tratamiento de aire dentro del espacio (12) de cultivo confinado del sistema (10) agrícola controlado de cualquiera de las reivindicaciones 1-8, comprendiendo el procedimiento: recircular el aire del espacio (12) de cultivo confinado a través de un sistema (13) de tratamiento de aire, comprendiendo el sistema (13) de tratamiento de aire al menos una rueda de energía de la rueda (14) de entalpía o la rueda (57) de calor para reducir el contenido energético del aire de recirculación; hacer pasar el aire de recirculación que sale de la al menos una rueda de energía a través del serpentín (16) de enfriamiento haciendo circular el fluido de transferencia de calor para reducir más el contenido de calor del aire de recirculación; devolver el aire de recirculación que pasa por el serpentín (16) de enfriamiento al espacio (12) de cultivo confinado; hacer pasar aire exterior a través de la al menos una rueda de energía, pasando el aire exterior en contracorriente y separado del aire de recirculación; y opcionalmente hacer circular el fluido de transferencia de calor a través de un compresor (32) y un serpentín (18) de condensación mientras pasa aire exterior a través del serpentín (18) de condensación para enfriar y condensar el fluido de transferencia de calor,
- 50
- 55

en el que el serpentín (16) de enfriamiento comprende un serpentín de enfriamiento del evaporador de expansión directa.

- 5 10. El procedimiento de la reivindicación 9, que comprende además monitorizar la temperatura y humedad del aire de recirculación, y preferiblemente controlando la temperatura y humedad del espacio (12) de cultivo confinado monitorizando la temperatura y humedad del aire de recirculación en el conducto (22) de aire de recirculación corriente abajo del serpentín (16) de enfriamiento y controlando el funcionamiento de la rueda de energía y el serpentín (16) de enfriamiento.

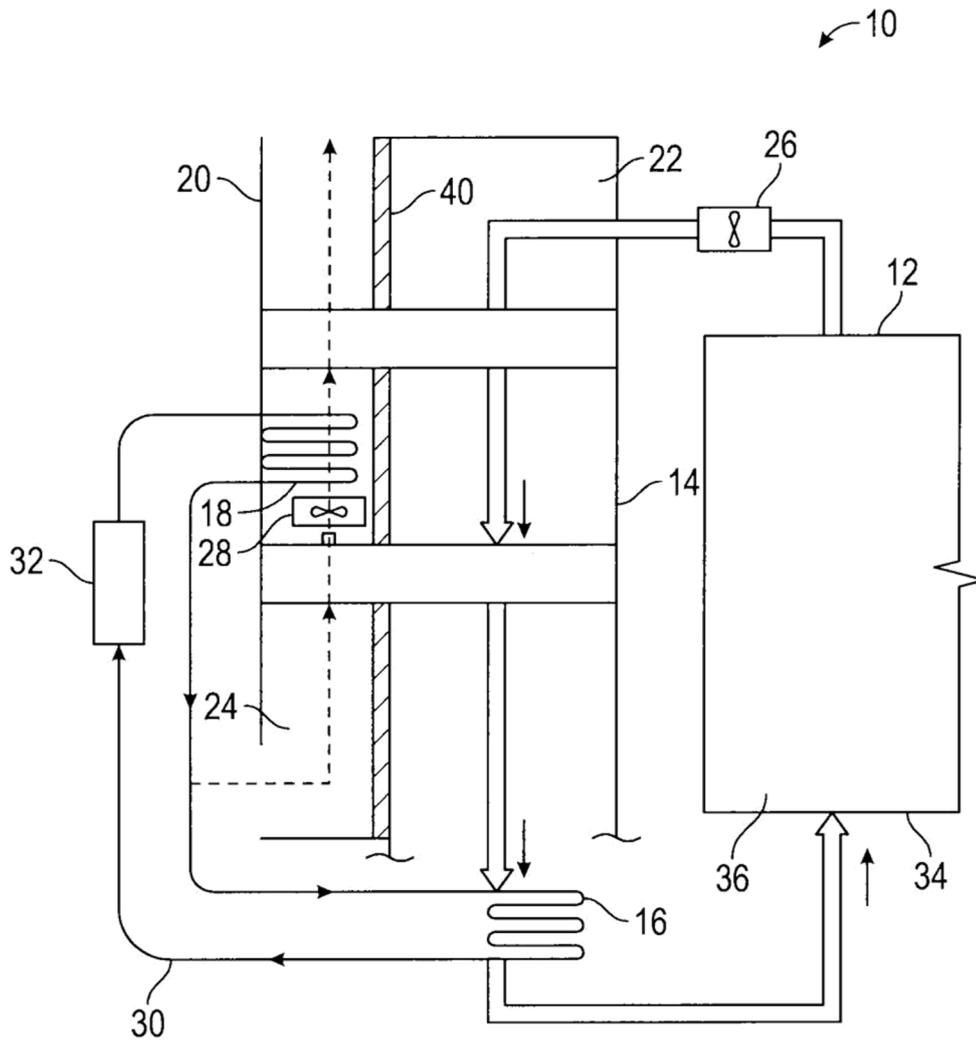


FIG. 1

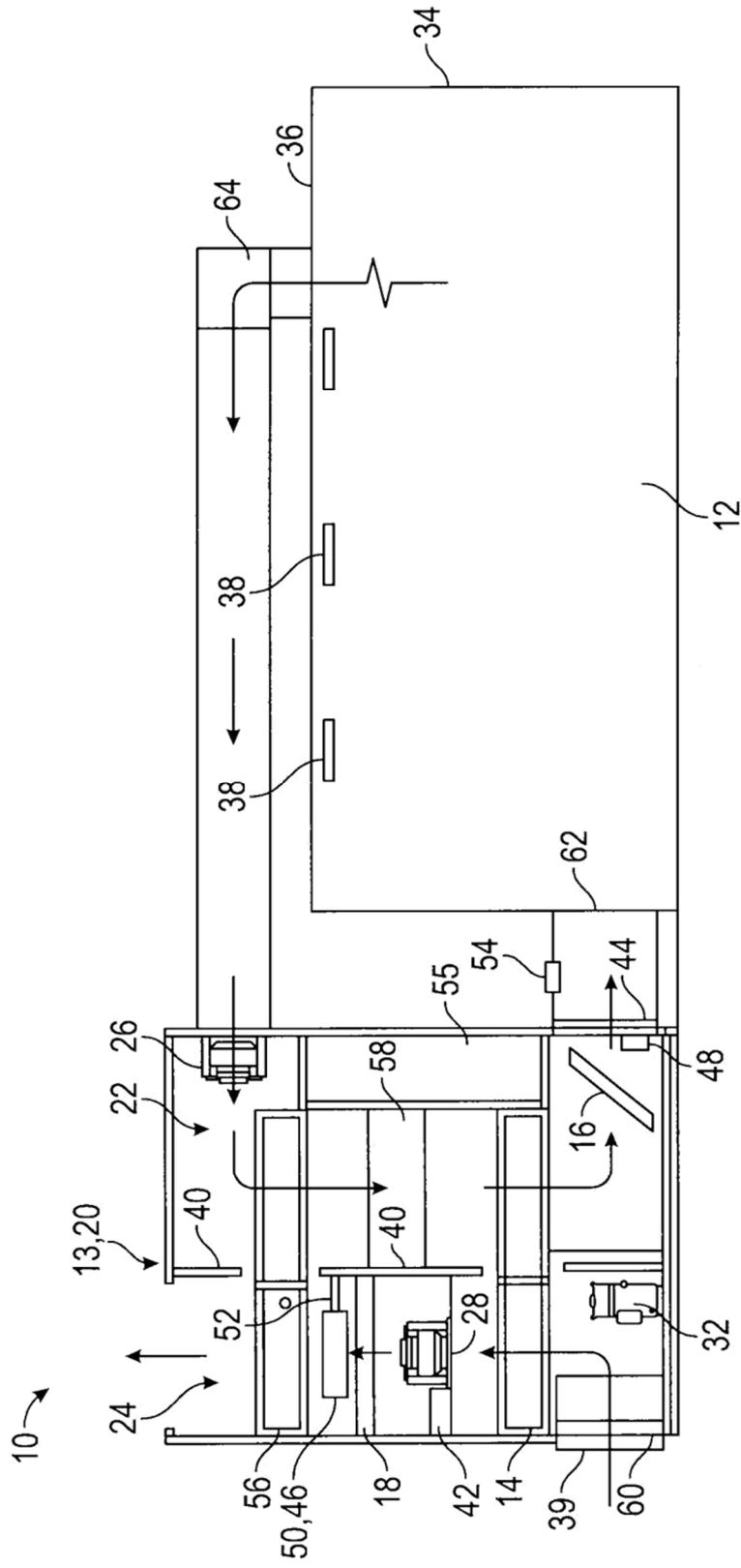


FIG. 2

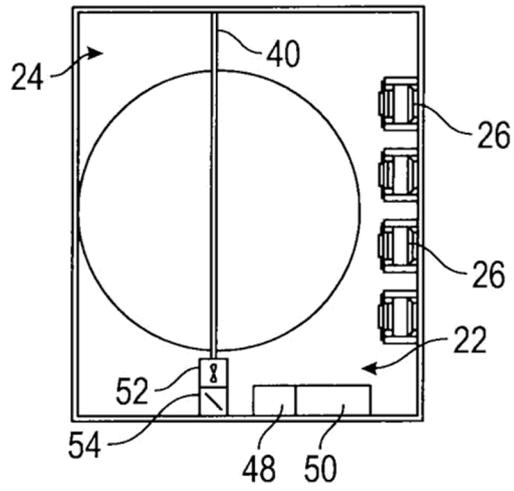


FIG. 3

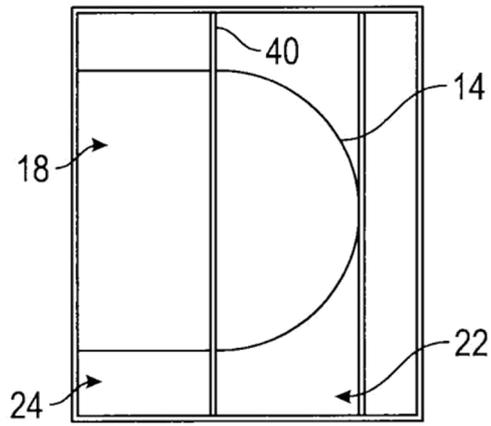


FIG. 4

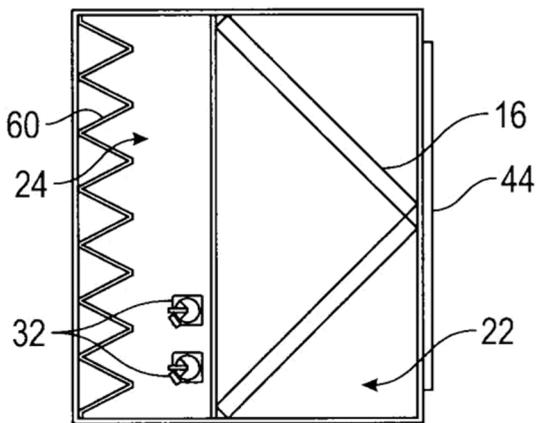


FIG. 5

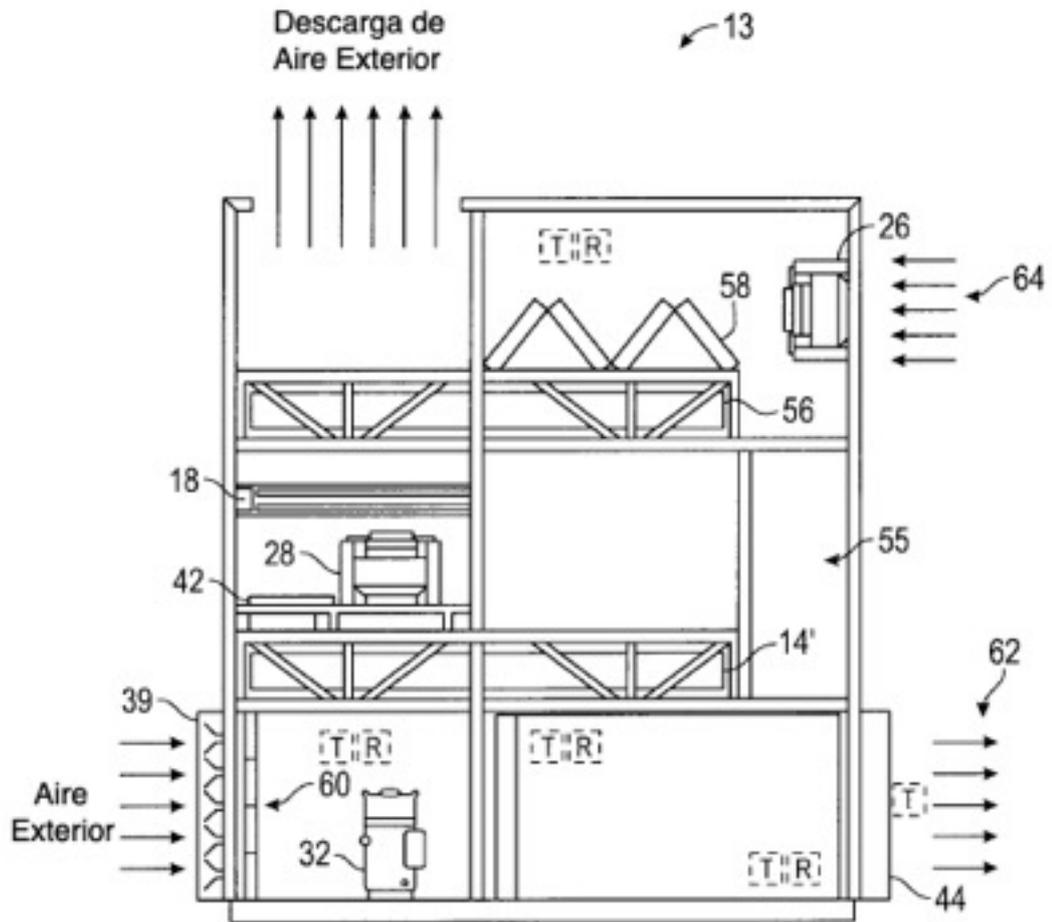


FIG. 6

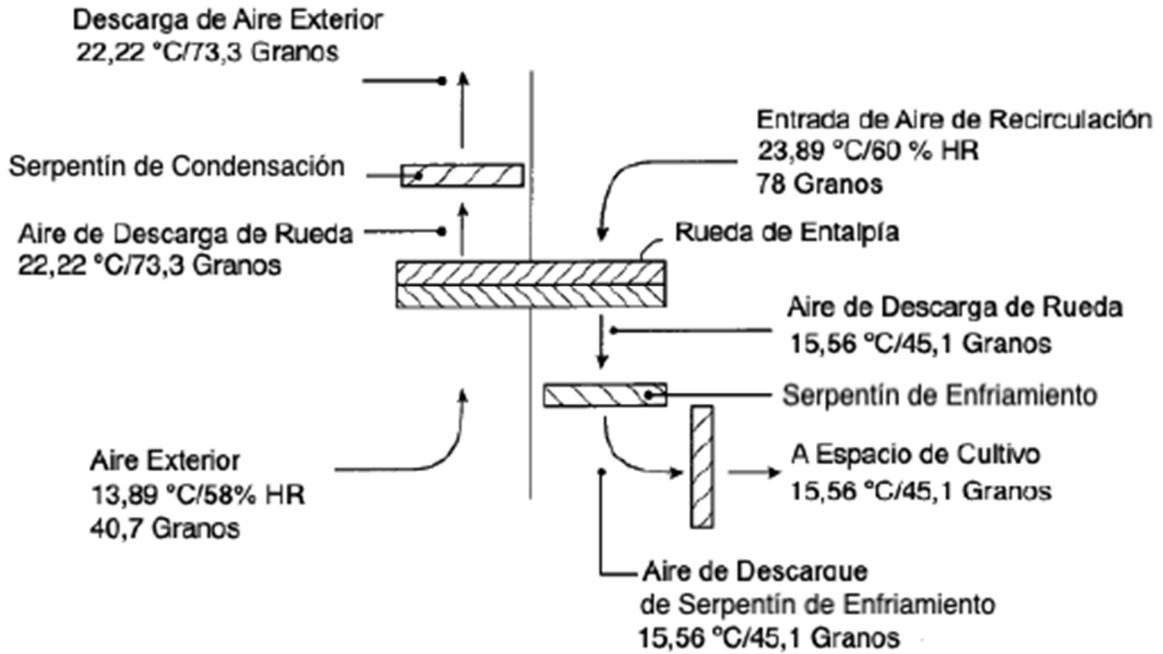


FIG. 7

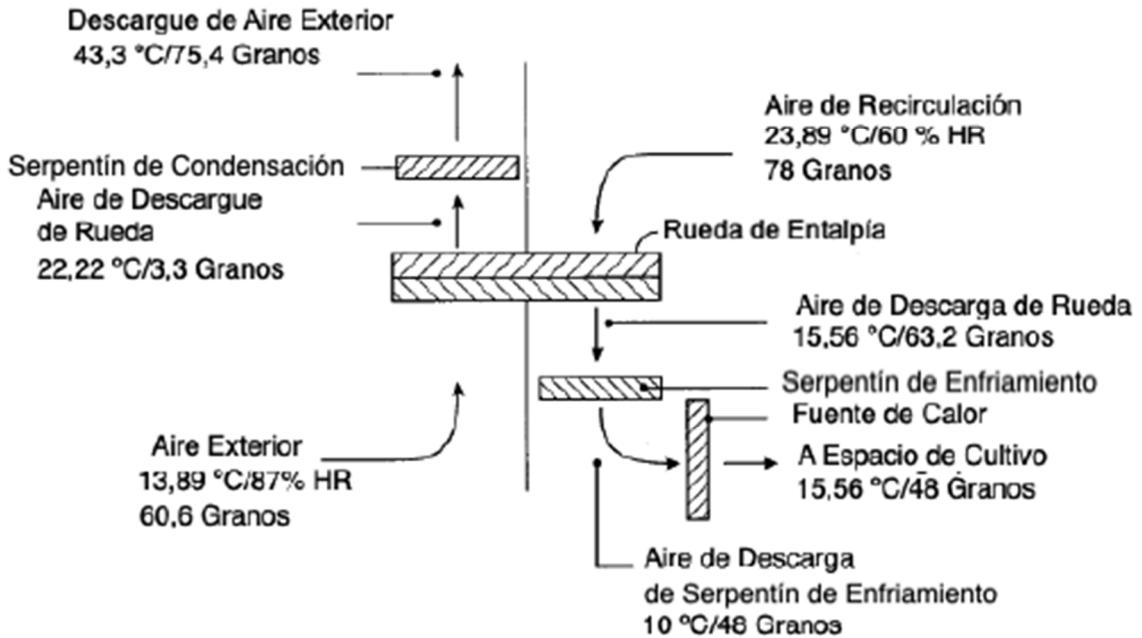


FIG. 8

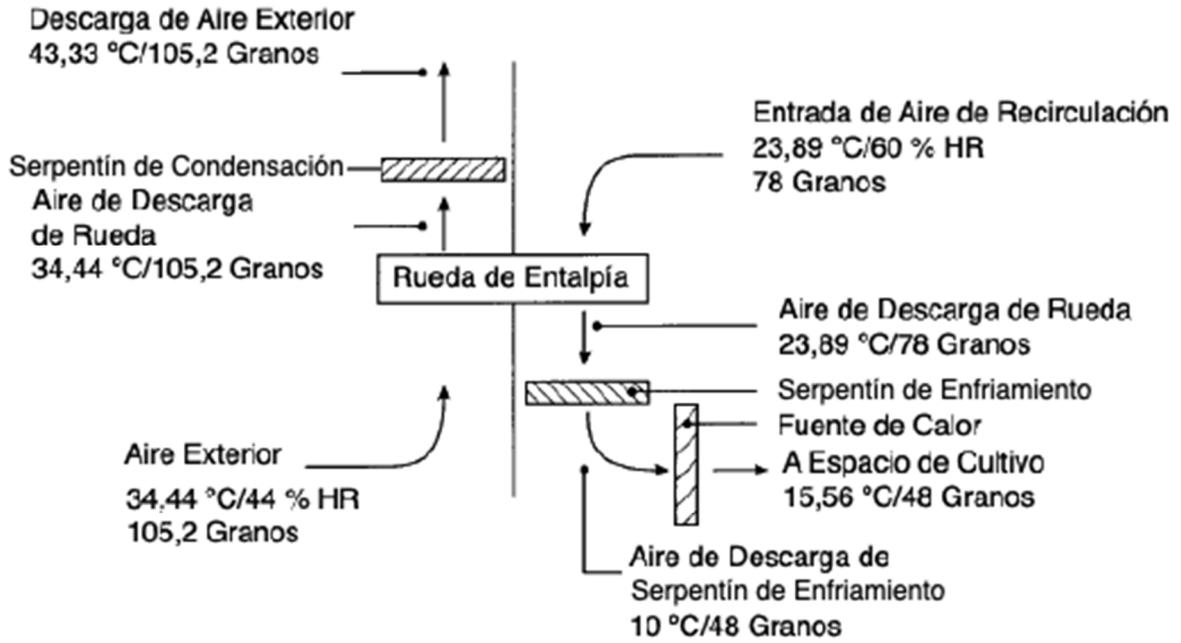


FIG. 9