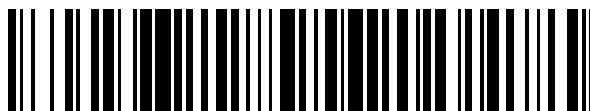


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 782 202**

51 Int. Cl.:

A01G 9/18 (2006.01)

A01G 9/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.08.2017** **PCT/NO2017/050204**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.02.2018** **WO18034570**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.08.2017** **E 17780905 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2020** **EP 3500089**

54 Título: **Un sistema para el control del clima en espacios cerrados o semicerrados**

30 Prioridad:

16.08.2016 NO 20161306

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

11.09.2020

73 Titular/es:

GREENCAP SOLUTIONS AS (100.0%)

Løkka 9

3271 Larvik, NO

72 Inventor/es:

JOHANSEN, TOM;

CHRISTENSEN, TOR y

SKJÆVELAND, JARLE

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 782 202 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

Un sistema para el control del clima en espacios cerrados o semicerrados

Campo técnico

La presente invención se refiere a un método para la mejora en la concentración de CO₂ en espacios cerrados, tales como invernaderos; combinado con aire acondicionado, lo que permite una mayor tasa de captación de CO₂ por las plantas y unas tasas de crecimiento de las plantas más rápidas al tiempo que se evitan los problemas en la planta asociados con una humedad relativa del aire demasiado alta o demasiado baja. Más específicamente, la presente invención se refiere a la integración de un método y proceso limpios para captura de CO₂ desde el aire en combinación con un control de temperatura de bulbo húmedo de alta eficacia energética y un control de temperatura de bulbo seco, sin ningún uso de productos químicos degradables con oxígeno, con captura de CO₂ de alta eficiencia, con un ahorro total neto de energía, y sin emisiones de carbono desde el punto de vista general del sistema.

Antecedentes de la técnica

Las plantas que crecen en áreas cerradas o confinadas como los invernaderos absorberán CO₂ y agotarán el CO₂ del aire circundante. Esto reduce la concentración de CO₂ y obstaculiza la tasa de crecimiento de las plantas. El agotamiento puede ocurrir muy rápidamente, en cuestión de horas, incluso si hay alguna fuga de aire desde los alrededores hacia el espacio cerrado o semicerrado. Mientras que la concentración de CO₂ en la atmósfera es de aproximadamente 400 ppm en volumen, la concentración de CO₂ en un espacio semicerrado y bien ventilado, normalmente puede estar en el intervalo de 300-330 ppm. Esto supone altas tasas de ventilación, suficientes para cambiar completamente todo el aire en el espacio semicerrado una o dos veces por hora. Si la ventilación es inadecuada pueden darse valores de concentraciones de CO₂ muy por debajo de 300-330 ppm, más bien cerca de 200 ppm. Esto puede detener virtualmente el crecimiento de las plantas. Si hay una diferencia de temperatura entre el espacio semicerrado y el aire circundante, se debe calentar el aire de ventilación requerido. Esto puede conllevar un consumo energético muy alto.

Independientemente de las tasas de ventilación, no es posible aumentar la concentración de CO₂ en un espacio semicerrado a la misma concentración que el aire de ventilación, sin un enriquecimiento en CO₂. Sin embargo, es bien sabido que el aire enriquecido en CO₂, hasta el punto donde la concentración de CO₂ en el sistema semicerrado alcance las 400 ppm y hasta más de 1000 ppm puede mejorar significativamente el crecimiento de las plantas, así como la tasa de producción de biomasa, por ejemplo en un 20-80% o más.

La transpiración de la planta en espacios cerrados o semicerrados aumenta la humedad relativa en el aire local. Alrededor del 90% de la humedad absorbida por las plantas se usa para la transpiración, mientras que el 10% se usa para su crecimiento. La transpiración enfría la planta hasta 2°C o más por debajo de la temperatura ambiental. La tasa de transpiración depende de, entre otros factores, la entrada de calor por radiación y la humedad relativa del aire. La alta humedad relativa, cerca de la saturación del vapor de agua en el aire local, reduce la transpiración. Si la temperatura baja, el agua puede precipitarse sobre las hojas de las plantas y en otros lugares. Esto aumenta el riesgo de enfermedades fúngicas. Una humedad relativa baja, tal como por debajo del 50% en combinación con una temperatura alta, puede provocar tasas de transpiración excesivas. La planta puede entonces comenzar a cerrar las aberturas de los estomas, a través de los cuales ocurre la transpiración, para reducir la transpiración. Sin embargo, la captación de CO₂ también ocurre a través de las aberturas de los estomas, por lo que esto puede restringir el crecimiento de la planta. Es importante mantener la humedad relativa del aire local en niveles aceptables, si no óptimos.

La tasa de crecimiento de las plantas depende de la temperatura del aire local. La temperatura óptima depende de las especies de plantas y la hora del día. Una temperatura diurna de 20-25°C es la adecuada para la mayoría de las plantas. Las temperaturas nocturnas óptimas pueden estar en el intervalo de 10-18°C. En muchas áreas con un uso extensivo de sistemas cerrados o semicerrados, la producción de biomasa requiere calefacción durante todo el año.

Aunque son altamente interdependientes, los tres parámetros operativos controlables importantes; la concentración de CO₂, la humedad relativa y la temperatura, a menudo se manejan de manera más o menos independiente. La Figura 3 muestra un efecto, como ejemplo, del CO₂ en la tasa de crecimiento, suponiendo que otros nutrientes y la luz se ajusten a los niveles apropiados. En el ejemplo, la tasa de crecimiento normal o del 100% se establece en un nivel de concentración de CO₂ de 320 ppm en volumen. En este caso, además el ejemplo del consumo de CO₂ corresponde a 100 ppm de CO₂ por hora, o a alrededor de 900 g de CO₂ por 5000 m³ en volumen y por hora. La tasa de crecimiento óptima, al menos para algunas plantas, se alcanza cuando la concentración de CO₂ es de aproximadamente 1000 ppm. Si se requiere ventilación, el aire del sistema cerrado también contendrá 1000 ppm de CO₂ y por lo tanto será una fuente de emisión de CO₂.

El CO₂ puede ser suministrado mediante ventilación. Sin embargo, esto no puede elevar la concentración de CO₂ por encima de la concentración de CO₂ en la atmósfera, que es aproximadamente de 400 ppm. El mantenimiento de unas concentraciones de CO₂ muy superiores a 320 ppm requiere altas tasas de ventilación. En climas fríos, puede ser importante la energía asociada y necesaria para el calentamiento del aire de ventilación. En climas muy cálidos, puede ser deseable el enfriamiento del aire de ventilación. Puede tenerse que eliminar la humedad del aire para minimizar la

formación de condensado de agua. La ventilación provoca la pérdida del vapor de agua formado por la transpiración, o el 90% del agua para riego.

Para concentraciones de CO₂ mejorado, el CO₂ normalmente debe suministrarse a partir de fuentes distintas del aire. Ejemplos de suministro de CO₂ son: la quema de combustibles fósiles, que también genera calor; el CO₂ suministrado a partir de CO₂ comprimido y embotellado, el suministro de CO₂ a partir de hielo seco, a partir de la descomposición de materia orgánica o a partir de la fermentación. Si el invernadero está ventilado y la concentración de CO₂ se mantiene por encima de 400 ppm, todo esto da como resultado una emisión de CO₂ neto a la atmósfera que resulta indeseable.

El documento WO 2013075981 describe un método para extraer CO₂ del aire por adsorción y desorción en un adsorbente sólido. El sorbente sólido se funcionaliza usando compuestos amínicos. Esto mejora la capacidad de adsorción y reduce la sensibilidad del adsorbente a la humedad. Sin embargo, durante la regeneración del adsorbente, los compuestos amínicos están expuestos a aire caliente con altas concentraciones de oxígeno, lo que provoca la degradación potencial en productos tóxicos y posiblemente cancerosos. Por lo tanto, el CO₂ de tales fuentes no puede usarse en el espacio cerrado de un invernadero.

La humedad relativa en los invernaderos puede controlarse mediante ventilación con aire. Sin embargo, esto puede afectar negativamente a la concentración de CO₂ en el invernadero, en particular si se emplean niveles de CO₂ mejorados. Además, la energía necesaria para el calentamiento del aire de ventilación puede ser importante. En climas cálidos y húmedos, la reducción de la humedad por ventilación puede no funcionar bien. De manera similar a la ventilación para suministrar CO₂, cualquier ventilación que reduzca la cantidad de vapor de agua en el aire provoca la pérdida de vapor de agua a partir de la transpiración, o alrededor del 90% del agua para riego.

Una forma alternativa de reducir el contenido de vapor de agua en el aire dentro de un invernadero es rociar el aire con agua enfriada. El enfriamiento se puede lograr haciendo circular el agua entre la rociada interna y un contacto externo con el aire. Parte del agua en contacto con el aire se evaporará, suponiendo que el aire exterior no esté saturado o casi saturado con vapor de agua. Esto enfría el agua que entonces podrá recircular para enfriar el interior del invernadero mediante la pulverización de agua. Sin embargo, de manera similar a la eliminación de humedad por ventilación, esto provoca la pérdida de un agua potencialmente valiosa. Desafortunadamente, rociar con agua fría no reduce la humedad relativa en el aire. Independientemente del enfriamiento y la eliminación del vapor de agua del aire, el aire permanecerá saturado con vapor de agua que puede resultar dañino para las plantas.

Una manera mejor de controlar la humedad relativa del invernadero, o el contenido de vapor de agua relativo al contenido de vapor de agua en condiciones saturadas, es la combinación de ventilación y calefacción. El calentamiento aumenta el contenido de vapor de agua del aire en condiciones saturadas, sin agregar vapor de agua al aire y, por lo tanto, haciendo disminuir la humedad relativa. Sin embargo, esto puede no funcionar de manera adecuada en áreas muy cálidas donde el calentamiento del aire no resulta deseable.

El calentamiento del aire del invernadero puede lograrse mediante calentamiento eléctrico o gracias al calor de la quema de combustibles fósiles. Esto último afectará tanto al contenido de CO₂ como, en menor medida, al contenido de vapor de agua en el aire del invernadero.

A nivel mundial, los desafíos en el suministro de alimentos están aumentando. Se espera que la población mundial aumente aproximadamente de 7 mil millones en 2012 a más de 9 mil millones para 2050. El suministro de alimentos debe aumentar de forma consecuente sin mayores efectos nocivos para el medioambiente. Esto es necesario en una situación en la que el calentamiento global reduce el rendimiento de los cultivos, especialmente en áreas cálidas donde se da el mayor aumento de la población y donde la escasez hídrica en muchas de estas mismas áreas resulta alta debido a un mayor uso del agua. Las soluciones incluyen: el cambio en la dieta a fin de orientarla a más productos a base de vegetales, una reducción de las emisiones de CO₂, y una reducción en el uso del agua así como en la utilización de combustibles fósiles.

El objetivo de la presente invención es proporcionar un método y un sistema donde el nivel de CO₂, la humedad relativa y la temperatura de un invernadero se pueden controlar de forma independiente con un mínimo de emisiones o bien con cero emisiones de CO₂, con la conservación de agua y con un uso eficiente de la energía destinada a la calefacción. Otro objetivo es proporcionar CO₂ o niveles mejorados de CO₂ localmente a partir del aire y sin ninguna posibilidad de aparición de productos nocivos de degradación de tipo amínico, y para garantizar que prácticamente todo este CO₂ es utilizado por las plantas en lugar de ser reemitido al aire mediante ventilación.

El documento WO 2009/105566 A2 considera una opción alternativa para capturar CO₂ a niveles elevados de CO₂ que incluye el uso de carbono activado, el uso de zeolitas, el uso de aminas de base débil u otros sorbentes, tales como la alúmina activada para la captura de CO₂ en lugar de resina de intercambio iónico.

Sin embargo, a niveles no elevados de CO₂ existe un desafío importante dado que los adsorbentes físicos están contaminados por H₂O y, por lo tanto, se reduce la capacidad de captura de CO₂, un problema que no se menciona en el documento WO 2009/105566 A2. Los documentos WO 2011/004596 A1 y EP 1908809 A1 se refieren a los sistemas de control del clima en espacios cerrados o semicerrados que comprenden una unidad de aire acondicionado

para filtrado, enfriamiento y deshumidificación de aire y calefacción, y que además comprenden una bomba de calor. Sin embargo, ninguno de estos dos documentos presenta una solución para capturar CO₂ a partir del aire ambiente.

Compendio de la invención

5 El objetivo de la presente invención, como se establece en el conjunto de reivindicaciones, es resolver los problemas mencionados anteriormente.

La presente invención se refiere a un sistema y un método para mejorar la concentración de CO₂ en espacios cerrados o semicerrados, en donde dicho sistema comprende una unidad para capturar CO₂ a partir del aire ambiente, dicha unidad comprende además dos unidades de proceso capaces de adsorber y desorber CO₂ en un adsorbente y, además, trabajar alternativamente en modo de adsorción y desorción.

10 Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama esquemático que muestra el control de la temperatura y la humedad relativa y el suministro de CO₂ de un invernadero en una realización de la invención.

La Figura 2 muestra detalles de las unidades de adsorción de CO₂.

La Figura 3 muestra un ejemplo de tasa de crecimiento en función del nivel de CO₂.

15 La Figura 4 muestra una comparación de las eficiencias en la captura de CO₂.

La Figura 5 muestra un ejemplo de las isothermas de equilibrio de adsorción de CO₂.

La Figura 6 muestra un ejemplo de las isothermas de equilibrio de adsorción de H₂O.

Descripción detallada de la invención

20 En la presente descripción y sus reivindicaciones, los términos "humedad" y "humedad absoluta" se usan como una medida del contenido de vapor de agua verdadero en el aire (g/m³). El término "humedad relativa" de una mezcla de vapor de agua y aire se usa como una medida de la relación entre la presión parcial real de vapor de agua en el aire y la presión parcial de vapor de agua en el aire si el aire se hubiera saturado a la temperatura en cuestión. El término "concentración de CO₂" es una medida del número de moles de CO₂ en el aire en relación con el número total de moléculas de gas en el aire. Se mide en "ppm" o "partes por millón".

25 En el presente documento, la presión se expresa en la unidad "bara" que significa "bar absoluto". En consecuencia, 1.013 bara es la presión atmosférica normal a nivel del mar. En unidades del SI, 1 bar corresponde a 100 kPa.

30 La expresión "temperatura ambiental" tal como se usa en el presente documento puede diferir con el clima para el funcionamiento del sistema cerrado o semicerrado servido por un proceso según la presente invención. Normalmente, la temperatura ambiental es de aproximadamente 0 a 40°C, pero la temperatura ambiental también puede ser a partir de niveles bajo cero a algo más de 40°C, tal como 50°C.

El término "radiación solar" o "insolación", como se usa en el presente documento, se refiere a la energía recibida del sol a nivel del mar. Se mide en W/m². Las áreas que representan a la mayoría de la población mundial tienen niveles de insolación de 150-300 W/m².

35 La Figura 1 es un esbozo general fundamental de un sistema según una realización preferida de la presente invención. La Parte 1 es un proceso para filtración, enfriamiento y deshumidificación de aire y calefacción, que comprende dos columnas. Una es para el tratamiento del aire en circulación y del aire de ventilación en un sistema cerrado o semicerrado, tal como un invernadero. El otro es para filtrar, enfriar y deshumidificar el aire de los alrededores. La Parte 2 es una bomba de calor. La Parte 3 es un sistema para la adsorción de CO₂ a partir del aire ambiental y del aire de ventilación del invernadero, utilizando solo materiales sólidos de zeolita sin ningún producto químico.

40 La Parte 1, filtración, enfriamiento y deshumidificación de aire y calefacción, muestra un sistema cerrado o semicerrado para el crecimiento de las plantas 100 y un sistema de enriquecimiento de CO₂ y purificación de aire que comprende un filtro 149, un conducto 130 para el suministro de aire enriquecido con CO₂, una columna 106 de enfriamiento y deshumidificación, un ventilador 123 y un calentador 104. El aire fluye desde la unidad 100 a través de un conducto 102 al filtro 149. Sale del filtro 149 en un conducto 109 y se mezcla con aire rico en CO₂ proveniente de la Parte 3 del proceso, suministrado a través del conducto 130. El aire rico en CO₂ contiene entre 500 y 5000 ppm de CO₂, tal como 1900 ppm de CO₂. La mezcla de aire en circulación y aire rico en CO₂ se dirige a través de un conducto 110 a la columna 106. En la columna 106, el aire fluye hacia arriba en contracorriente al agua enfriada sobre un compactado 107, proporcionando un buen contacto entre el aire y el agua. El agua enfriada se suministra en un conducto 128. Después del contacto en el compactado 107, el aire enfriado fluye a través de un secador antivaho 122 para eliminar las gotas de agua arrastradas. El aire enfriado sale de la columna 106 en un conducto 146. El flujo se divide en dos, un flujo más pequeño que se dirige a la Parte 3 del proceso a través de un conducto 103, que elimina el aire desplazado por el aire del conducto 130, que se describirá más adelante, y un flujo mayor que se dirige a un

ventilador 123 a través de un conducto 145. Después de un aumento de presión en el ventilador 123, el aire se calienta en el calentador 104 y se recicla a la unidad de crecimiento de plantas cerrada o semicerrada a través de un conducto 101.

El agua enfriada y el agua recuperada del aire por condensación en la columna 106 se recoge en el fondo de la columna y se descarga del sistema a través de un conducto 105. Después de mezclarlo con agua de una columna 115, se suministra a través de un conducto 114, el flujo de agua combinado se dirige a una bomba 147 a través de un conducto 127. El agua se descarga desde la bomba 147 en un conducto 148. El agua excedente se descarga del sistema en un conducto 152. El agua restante se orienta a un enfriador 154 a través de un conducto 155, después a través de un conducto 156 para dividirse en un conducto 131 y el conducto 128. Las personas expertas en la técnica sabrán que el aire de la columna 106 está saturado o casi saturado con vapor de agua, y que la temperatura de este aire por lo tanto determina la humedad absoluta. También sabrán que la humedad absoluta y la temperatura corriente abajo del calentador 104 determinarán la humedad relativa del aire. Además, el caudal de aire y la concentración de CO₂ en el conducto 130 determinarán el la concentración de CO₂ de los flujos de aire desde la columna 106 en el conducto 146. Es posible un control de tal manera que se alcancen la humedad relativa, la temperatura y los niveles de CO₂ deseados en la unidad 100, tal como se representa mediante mediciones en el flujo de aire de salida desde la unidad 100, en el conducto 102.

En la Parte 1, el pretratamiento y la entrada de aire muestran una entrada de aire 116 que facilita aire a un filtro 129 a través de un conducto 112. Después del filtrado, el aire se enfría y se deshumedece en una columna 115 mediante flujo por contracorriente hacia el agua enfriada en un compactado 125. Un secador antivaho 113 elimina las gotas de agua arrastradas del aire antes de la descarga de aire y fluyen a través de un conducto 124 hasta la Parte 3 del proceso, que se tratará más adelante. El condensado y el agua en circulación se descargan desde la columna 115 en el conducto 114. Se dirige al conducto 105 y se mezcla con agua en este conducto. De manera similar al agua de la columna 106, se dirige después al circuito de enfriamiento de agua que comprende el conducto 127, la bomba 147 y el conducto 148. El excedente de agua se descarga a través de la extracción lateral 152. El flujo de agua restante se enfría en el enfriador 154, y luego se dirige de nuevo a la columna 115 a través de los conductos 156 y 131.

La Parte 2 muestra una bomba de calor que usa el calor a partir del enfriamiento del aire y la condensación de vapor de agua en la Parte 1, opcionalmente y con algo de calor del entorno, lo bombea a un nivel de temperatura más elevado y usa el calor de temperatura más elevada y resultante para calentar el aire para su regreso al sistema de crecimiento de plantas 100 cerrado o semicerrado. Hay dos circuitos de flujo principales. Uno, que también se trató anteriormente, es un circuito de flujo de agua suministrado con agua de las columnas 106 y 115. Esta agua fluye a través del conducto 127, la bomba 147 y los conductos 148 y 155 al enfriador 154 de agua. Aquí, la temperatura del agua se reduce entre 0 y 5°C, tal como 1°C, y se dirige a través de los conductos 156, 128 y 131 a las columnas 106 y 115, respectivamente. Los caudales de agua en los conductos 128 y 131 se ajustan de modo que las temperaturas del aire resultantes, por encima de los compactados 107 y 125, alcancen los niveles deseados.

El segundo circuito de flujo en la Parte 2 es un refrigerante, tal como el ciclo de enfriamiento de amoníaco o freón. El refrigerante a alta presión, a una presión, por ejemplo, de entre 15 y 30 bara, tal como 20 bara, dependiendo de las propiedades del refrigerante, fluye desde un compresor 151 a través de un conducto 150 hasta una extracción lateral en un conducto 178. El conducto 178 dirige el refrigerante como medio de calentamiento de alta temperatura a la Parte 3 del proceso, donde se utiliza principalmente calor sensible. Después de utilizar parte del calor sensible disponible, tal como por ejemplo el 15%, el refrigerante aún gaseoso se devuelve desde la Parte 3 del proceso en un conducto 187. Este flujo se divide en dos, una parte en un conducto 144 a un calentador de aire 104 donde el refrigerante se enfría y condensa, y se devuelve en un conducto 143. El resto del refrigerante se dirige a través de un conducto 175 a un enfriador 177, donde se enfría y condensa y luego se mezcla con el refrigerante en el conducto 143 a través de un conducto 176. La cantidad total de refrigerante condensado se dirige en un conducto 181 a una válvula 185. En esta válvula, la presión se reduce, por ejemplo, a entre 2 y 5 bara, tal como 2,8 bara. Esto reduce la temperatura del refrigerante a, según las propiedades del refrigerante, entre -5 y -20°C, tal como -10°C. El fluido frío se dirige a través de un conducto 186 a un conducto de extracción lateral 184 donde parte del fluido se dirige a un calentador 183, utilizando convenientemente el calor del aire ambiente, en caso de que el calor del intercambiador de calor 154 sea insuficiente. El resto del fluido se dirige a través de un conducto 157 al intercambiador de calor 154, donde se calienta y vaporiza por intercambio de calor con agua desde el conducto 155. El refrigerante calentado y el vaporizado resultantes, desde el calentador 183 a través del conducto 182 y desde el intercambiador de calor 154 a través de un conducto 191, se mezclan y dirigen a través de un conducto 180 a un tambor de separación de líquido 179 antes de ser conducido al compresor 151 a través de un conducto 153, lo que cierra el circuito de flujo de refrigerante.

La Parte 3 del proceso es la captura de CO₂ del aire, que contiene aproximadamente 400 ppm de CO₂, y la distribución de este CO₂ en una forma más concentrada, por ejemplo, entre 750 y 4500 ppm, tal como 1400 ppm, a la unidad de crecimiento de plantas 100. La Parte 3 comprende dos unidades de proceso principales e idénticas 134 y 172, ambas capaces de adsorber y desorber CO₂ en un adsorbente, y que funcionan alternativamente en modo de adsorción y desorción. El adsorbente sólido es zeolita, un silicato de alúmina cristalino microporoso que no contiene productos químicos adicionales y, por lo tanto, es inerte y completamente seguro. Es estable hasta temperaturas superiores a 700°C y se usa comúnmente como desecante y adsorbente de CO₂. Cuando se usa como adsorbente de CO₂ el agua es preferentemente adsorbida y el adsorbente de CO₂, por lo tanto, debe mantenerse seco.

El aire se suministra a través de la toma de aire 116 y se dirige a través del filtro 129, la columna 115 y el conducto 124 que se bifurca en un conducto 188 que lleva a la unidad 134 que está en modo de adsorción de CO₂ y un conducto 120 que lleva a la unidad 172 que está en modo de desorción de CO₂.

El aire en el conducto 120 fluye a través de un ventilador 139 y un conducto 159 a la unidad 172 para desorción de CO₂. La unidad 172 de CO₂ tiene una válvula 162 y una válvula 170 que se muestran en posiciones donde solo el aire del conducto 159 puede entrar a la unidad, y el aire rico en CO₂ solo puede salir a través de un conducto 173. No hay flujo de aire a la unidad a través de un conducto de aire de entrada 174, o un ventilador 158. El aire del conducto 159 se deshidrata a niveles de agua residual muy bajos en una sección 164 de zeolita. El aire seco se calienta mediante intercambio de calor con aire de salida de la unidad en un intercambiador de calor 117 y posteriormente en un calentador de compensación 166. El calentador de compensación emplea refrigerante proveniente de la Parte 2 del proceso como medio de calentamiento, suministrado a través del conducto 178, una válvula 160 que está abierta y un conducto 163. El refrigerante condensado y/o refrigerado se devuelve desde el intercambiador de calor 166 a través del conducto ac161 y el conducto 187 al conducto 175 en la Parte 2 del proceso. Desde el intercambiador de calor 166, el aire, ahora calentado desde menos de 10°C a una temperatura, por ejemplo, en el intervalo de 50 a 70°C, fluye a una sección 171 de zeolita donde el CO₂ es desorbido. La desorción ocurre por la acción combinada de baja concentración de CO₂ en el aire entrante, creando una fuerza impulsora para el flujo de CO₂ desde el adsorbente hasta el aire, así como una elevada temperatura, lo que reduce la capacidad del adsorbente para retener CO₂. Después del enriquecimiento de CO₂ en la sección 171 de zeolita, el aire seco y rico en CO₂ fluye a una sección de zeolita 167 donde se desorbe el agua adsorbida. El aire caliente y seco crea una fuerza impulsora para el flujo de agua desde la zeolita hasta el aire y aumenta la temperatura de la zeolita, reduciendo así la capacidad de la zeolita para retener el agua. El aire rico en CO₂ sale de la unidad 172 en el conducto 173, fluye a través del intercambiador de calor 117, un conducto 126 y el conducto 130 a la Parte 1 del proceso.

El aire en el conducto 188 se mezcla con el aire del conducto 103 y se dirige a través de un conducto 119 y un conducto 142 a la unidad 134. Esta unidad está en modo de adsorción de CO₂. Las conexiones para la desorción, incluida la entrada de aire a través de un conducto 118 y la salida de aire a través de un conducto 169, un intercambiador de calor 189 y un conducto 111 son clausurados por las compuertas 140 y 141. El refrigerante comprimido para el calentamiento de compensación, desde un conducto 132 a través de una válvula 133 a un calentador 136, y con el retorno a través de un conducto 165, también es clausurado. El aire del conducto 142 fluye a través de un ventilador 168, y a través de la compuerta abierta 141 a una sección 138 de adsorción donde se adsorbe el agua. El aire frío y seco de la sección 138 fluye a una nueva sección 137 donde se adsorbe el CO₂. El aire, con el CO₂ agotado, luego fluye a través del calentador 136 y el intercambiador de calor 189 a una sección 135. En esta sección, el agua se está desorbiendo mediante la fuerza impulsora creada por el alto contenido de humedad en esta sección, así como el bajo contenido de humedad del aire. Existen posibilidades de aplicar un poco de calor usando el calentador 136, ayudando a este proceso de desorción mediante la reducción de la capacidad del adsorbente en la sección 135 para retener el agua. Después de la adsorción de CO₂, el aire de la unidad 134 se dirige a los alrededores.

La Figura 2 muestra realizaciones preferidas de los sistemas de adsorción 134, en modo de adsorción de CO₂, y el 172, en modo de desorción de CO₂. Los números son los mismos que para las mismas unidades de la Figura 1. Las compuertas 140 y 141 están abiertas. En lugar de cerrar directamente los conductos 118 y 169, esto se hace con dos válvulas separadas 140' y 141' respectivamente, que se muestran como cerradas en la Figura 2. Las compuertas 162 y 170 están cerradas. En lugar de abrirse directamente a los conductos 159 y 173, esto se hace con dos válvulas separadas 162' y 170' respectivamente, que se muestran como abiertas en la Figura 2.

La zeolita en las secciones 135, 137 y 138 en la unidad 134 se divide en secciones horizontales para mejorar el flujo de aire en la zeolita. Del mismo modo, la zeolita en las secciones 164, 171 y 167 en la unidad 172 se divide en secciones horizontales. Los colectores 200 y 201 mejoran aún más la distribución y el flujo de aire en la unidad 134, mientras que los colectores 202 y 203 mejoran la distribución y el flujo de aire en la unidad 172.

Ejemplo

Un invernadero con una superficie de 1000 m² y un volumen de 5000 m³ recibe radiación solar de 150 W/m². La concentración de CO₂ se mantendrá a 850 ppm, la temperatura a 25°C y la humedad relativa al 75%. La temperatura ambiental es de 15°C y el aire ambiente tiene una humedad relativa del 80%. El consumo de CO₂ por las plantas dentro del invernadero es de aproximadamente 1,6 kg/h, basado en una referencia de consumo de CO₂ de 100 ppm o aproximadamente 0,9 kg/h cuando la concentración de CO₂ es de 320 ppm. Esto se muestra como un triángulo denominado "aire normal" en la Figura 3. Con 850 ppm de CO₂ en el aire del invernadero, la tasa de crecimiento del ejemplo es aproximadamente 1,8 veces mayor, en correspondencia al consumo de CO₂ de aproximadamente 1,6 kg/h.

La pérdida neta de calor del invernadero, la irradiación solar cuando se refleja ("albedo"), la radiación infrarroja, la energía consumida por la fotosíntesis y la transpiración de las plantas, y la pérdida de energía hacia los alrededores por transferencia de calor al aire ambiente más frío, es de aproximadamente 46 kW. La tasa de transpiración de una planta es de aproximadamente 74 kg/h.

Se emplea el proceso en la Figura 1. El flujo de aire desde el invernadero en el conducto 102 es de 7600 m³/h o alrededor de 10000 kg/h. Esto proporciona un tiempo de residencia del aire, o volumen de invernadero en relación con

el flujo de aire volumétrico a través del invernadero, de aproximadamente 40 minutos. Con un funcionamiento estable, este aire está a 25°C y con un 75% de humedad relativa. La concentración de CO₂ es de aproximadamente 850 ppm. Este aire se mezcla con 1080 m³/h de aire que contienen aproximadamente 1900 ppm de CO₂ desde el conducto 130. Esta mezcla se enfría a aproximadamente 7°C por contacto a contracorriente con agua en el compactado 107. Este enfriamiento elimina aproximadamente 75 kg de agua del aire a la hora, y la humedad absoluta del aire o el contenido de humedad corriente abajo del secador antivaho 122, en el conducto 146, es de aproximadamente 8 g/m³. Una extracción lateral del aire desde el conducto 146 de aproximadamente 1080 kg/h o un 10% en base molar se dirige a través del conducto 103 para la recuperación del CO₂. El aire restante se calienta a aproximadamente 44°C en el calentador 104 y se recicla al invernadero a través del conducto 101.

El flujo de agua de enfriamiento a la columna 106, a través del conducto 128, es de aproximadamente 5500 kg/h a 1°C. Esta agua se calienta a aproximadamente 18°C en el compactado 107 y fluye junto con aproximadamente 4500 kg/h de agua a 6°C desde la columna 115, el conducto 114, a través del conducto 127, la bomba 147 y el conducto 148 a una extracción lateral 152. La temperatura en este punto es de aproximadamente 13°C. El excedente de agua o condensado, aproximadamente 90 kg/h, 71 kg/h desde la columna 106 y 19 kg/h desde la columna 115, se descarga a través del conducto 152. El agua restante, aproximadamente 10000 kg/h, se enfría desde aproximadamente 13°C a aproximadamente 1°C en el intercambiador de calor 154 y se recicla a través del conducto 156. El rendimiento del intercambiador de calor 154 es de aproximadamente 135 kW.

El agua del conducto 156, 10000 kg/h, se divide para proporcionar 5500 kg/h al conducto 128 y 4500 kg/h al conducto 131. El agua en el conducto 131 fluye a la columna 115 y se dirige hacia la parte superior del compactado 125. Fluye en contracorriente hacia abajo a aproximadamente 3650 kg/h de aire desde la toma de aire 116, a través del conducto 112, el filtro 129 de aire y el conducto 121 a la columna 115 por debajo del compactado 125. En el compactado, el aire se enfría entre 1 y 2°C, tal como aproximadamente 1,2°C, antes de salir de la columna 115 a través del secador antivaho 113. El aire así enfriado y deshidratado fluye al sistema de captura de CO₂ a través del conducto 124. Aproximadamente 19 kg/h de agua se condensa en este proceso de enfriamiento y sale de la columna 125 con el flujo principal de salida de agua en el conducto 114.

El ciclo de enfriamiento desempeñado por el compresor 151 emplea refrigerante de amoníaco. Aproximadamente 396 kg/h de refrigerante es comprimido de 2,8 bara a 20 bara en el compresor 151. El rendimiento del compresor es de aproximadamente 44 kW. La temperatura del amoníaco en el lado de succión del compresor es de aproximadamente 3°C. Después de la compresión, la temperatura es de aproximadamente 193°C, suponiendo una eficacia politrófica del compresor del 85%. El refrigerante caliente se dirige a la unidad de absorción que funciona en modo de desorción. Esta unidad usa aproximadamente 6 kW, enfriando el refrigerante a aproximadamente 170°C. El refrigerante se devuelve en el conducto 187. Aproximadamente 242 kg/h fluyen hacia el calentador 104 donde se condensan y se enfrían a aproximadamente 16°C. El rendimiento del calentador es de aproximadamente 105 kW. El resto del refrigerante, 156 kg/h, se dirige al enfriador 177 a través del conducto 175 y se condensa. El rendimiento del enfriador es de unos 65 kW. El flujo combinado de condensado y refrigerante, 396 kg/h, se regula de aproximadamente 20 bara o un poco menos a aproximadamente 3 bara en la válvula 185. Esto reduce la temperatura de aproximadamente 16°C a aproximadamente -10°C. El fluido en corriente abajo de la válvula es principalmente líquido, con pequeñas cantidades, tales como aproximadamente un 10% de gas. Todo este fluido se dirige al intercambiador de calor 154 a través del conducto 157. En el intercambiador de calor, todo el refrigerante se vaporiza y se calienta a aproximadamente 3°C. La presión cae de 3,0 bara a aproximadamente 2,8 bara debido a la fricción dentro del intercambiador de calor. Este refrigerante vaporizado se recicla al compresor 151 a través del conducto 191, el conducto 180, el tambor de separación de líquidos 179 y el conducto 153, cerrando el ciclo de refrigeración.

El flujo de aire en el conducto 124 se divide en dos, aproximadamente 1080 kg/h a la unidad 172, que está en modo de desorción de CO₂, a través del conducto 120, el ventilador 139 y el conducto 159. Los datos de la unidad 172 son los siguientes:

- Adsorción de H₂O, unidad 164: el aire de alimentación del conducto 159, 1080 kg/h, tiene una humedad de aproximadamente 6 g/m³. Esto corresponde a un flujo de agua total de aproximadamente 4,7 kg/h. La presión parcial de H₂O es de aproximadamente 700 N/m². Con referencia a la Figura 6, el estado adsorbente de agua se mueve desde el área indicada como "H₂O descargado" al área indicada como "H₂O cargado". La capacidad de carga es de aproximadamente 250 g/kg. Por lo tanto, se necesitan al menos 18,8 kg de adsorbente si la duración del proceso de desorción de CO₂ es de una hora.
- Desorción de CO₂, unidad 171: 1080 kg/h de aire de alimentación de la unidad 171 contienen 400 ppm de CO₂ correspondientes a aproximadamente 0,65 kg/h. La presión parcial de CO₂ es de aproximadamente 40 N/m². Este aire se calienta a aproximadamente 90°C en los calentadores 117 y 166. Después de la desorción, en corriente abajo de la unidad 171, el contenido de CO₂ es de aproximadamente 1900 ppm. La presión parcial de CO₂ es de aproximadamente 190 N/m² y el flujo de CO₂ es de aproximadamente 3,1 kg/h. Con referencia a la Figura 5, el estado adsorbente de CO₂ se mueve desde el punto indicado como "cargado" (círculo superior izquierdo) al punto indicado como "descargado" (círculo inferior derecho). La capacidad de carga es de aproximadamente 15 g/kg de adsorbente. La cantidad neta de CO₂ desorbido es aproximadamente 2,5 kg. Por lo tanto, se necesitan al menos 163 kg de adsorbente si la duración del proceso de desorción del CO₂ es de una hora.

- Desorción de H₂O, unidad 167: el aire cálido y seco de la unidad 171 se utiliza para desorber H₂O. Al final del ciclo, la temperatura puede elevarse a un nivel alto tal como 150°C para completar la desorción del H₂O.

El resto del aire fluye en el conducto 124, 2550 kg/h, y fluye a través del conducto 188 a un punto de mezcla donde tiene lugar la mezcla con aproximadamente 1080 kg/h de aire desde el conducto 103. Los 2550 kg/h de aire en el conducto 188 están a aproximadamente 1,2°C, contienen 400 ppm de CO₂ y la humedad es de aproximadamente 5 g/m³. Los 1080 kg/h de aire en el conducto 103 están a aproximadamente 7°C, contienen aproximadamente 920 ppm de CO₂ y la humedad es de aproximadamente 8 g/m³. Después de la mezcla, el aire en los conductos 119 y 142 está a aproximadamente 2,8°C, la concentración de CO₂ es de aproximadamente 550 ppm, en correspondencia al flujo másico de aproximadamente 3,0 kg/h. La presión parcial de CO₂ es de aproximadamente 55 N/m². La humedad es de aproximadamente 6 g/m³. Esto corresponde a un flujo de agua de aproximadamente 17,7 kg/h. La presión parcial del vapor de agua es de aproximadamente 770 N/m². Los datos de la unidad 134 son los siguientes:

- Adsorción de H₂O, sección adsorbente 138: el aire de alimentación del conducto 142, 3630 kg/h, tiene una humedad de aproximadamente 6 g/m³ y el flujo de agua es de 17,7 kg/h. La presión parcial de H₂O es de aproximadamente 700 N/m². Con referencia a la Figura 6, el estado adsorbente del agua se mueve desde el área indicada como "H₂O descargada" al área indicada como "H₂O cargada". La capacidad de carga es de aproximadamente 250 g/kg. Por lo tanto, se necesitan al menos 70,8 kg de adsorbente si la duración del proceso de desorción del CO₂ es de una hora.
- Adsorción de CO₂, unidad 137: 3612 kg/h de aire de alimentación deshidratado de la unidad 138 contienen 550 ppm de CO₂ que corresponde a aproximadamente 3,0 kg/h. La presión parcial de CO₂ es de aproximadamente 55 N/m². Después de la adsorción, en corriente abajo de la unidad 137, el contenido de CO₂ es de aproximadamente 90 ppm. La presión parcial de CO₂ es de aproximadamente 9 N/m². Con referencia a la Figura 5, el estado adsorbente de CO₂ se mueve desde el punto indicado como "descargado" (círculo inferior derecho) al punto indicado como "cargado" (círculo superior izquierdo). La capacidad de carga es de aproximadamente 15 g/kg de adsorbente. La cantidad neta de CO₂ adsorbido es de aproximadamente 2,5 kg, que es lo mismo que la cantidad desorbida en la unidad 172, sección 171. De manera similar a la unidad 172 se necesitan al menos 163 kg de adsorbente si la duración del proceso de desorción del CO₂ es de una hora.
- Desorción de H₂O, unidad 135: el aire deshidratado de la unidad 137 se utiliza para desorber H₂O. Al final del ciclo, la temperatura puede elevarse a un nivel alto, tal como 150°C, mediante el calentamiento en el calentador 136 para completar la desorción del H₂O.

Los expertos en la técnica notarán que la energía específica requerida para la captura de CO₂ a partir del aire depende en gran medida de la concentración de CO₂ en el producto rico en CO₂. La Figura 4 muestra que la energía específica mínima es menor que para la captura de CO₂ a partir de gases de escape, que son mucho más ricos en CO₂ que el aire, en caso de que el CO₂ del gas de escape llegue a una concentración de cerca del 100% de producto en CO₂. Además, la inspección de la Figura 1 muestra abundantes oportunidades para una mejor integración del calor, tal como, por ejemplo, la utilización del frío del aire del CO₂ consumido que sale de la unidad 134.

Los expertos en la técnica también notarán que la adsorción de H₂O libera cantidades significativas de calor, con un orden de magnitud igual al calor latente de la condensación de vapor de agua. Esto es una ventaja en el modo de desorción de CO₂, tal como el adsorbente 164, pero es una desventaja en el modo de adsorción de CO₂, tal como un adsorbente 138. Con referencia a la Figura 1, se pueden usar bobinas de enfriamiento entre las secciones de adsorbente 137 y 138 en la unidad 134, y entre las secciones 171 y 167 en la unidad 172.

Además de esto, los expertos en la técnica entenderán que, en lugar de lechos de adsorción de zeolita para CO₂ y H₂O, se puedan usar sistemas de adsorción más eficientes y menos sensibles al H₂O, tales como la alúmina funcionalizada con amina, simplificando las unidades 134 y 172, pero introduciendo la desventaja de una posible degradación de la amina y la producción de sustancias tóxicas. También, se pueden usar otras fuentes de CO₂, tales como CO₂ embotellado, CO₂ a partir de hielo seco, a partir de biorreactores, o de una canalización para CO₂.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para el control del clima en espacios cerrados o semicerrados, que comprende una unidad de aire acondicionado (1) para filtrado, enfriamiento y deshumidificación de aire y calefacción, una bomba de calor (2), y una unidad (3) para capturar CO₂ del aire ambiente, en donde dicha unidad para capturar CO₂ del aire ambiente comprende dos unidades de proceso (134, 172), caracterizado por que dichas unidades de proceso (134, 172) son capaces de adsorber y desorber CO₂ en un adsorbente, y trabajar alternativamente en modo de adsorción y desorción.
5
2. Un sistema según la reivindicación 1, en donde cada una de dichas unidades de proceso (134, 172) comprende una toma de aire, un ventilador (168), una compuerta (141, 170), un colector (201, 203) y una sección de adsorción (138, 167) donde se adsorbe agua, una sección (137, 171) donde se adsorbe CO₂, un calentador (136, 166) y un intercambiador de calor (189, 117), una sección (135, 164) en donde el agua se está desorbiendo en un colector adicional (200, 202), una compuerta adicional (140, 162) y una salida de aire.
10
3. Un sistema según la reivindicación 2, en donde dichas secciones (138, 137, 135, 167, 171, 164) en las unidades de proceso (134, 172) comprenden un material adsorbente.
4. Un sistema según la reivindicación 3, en donde dicho material adsorbente se divide en secciones horizontales para mejorar el flujo de aire.
15
5. Un sistema según la reivindicación 4, en donde dicho material adsorbente es zeolita.
6. Un sistema según la reivindicación 4, en donde dicho material adsorbente es de grupos amina.
7. Un sistema según la reivindicación 1, en donde dicha unidad de aire acondicionado (1) comprende una primera columna para el tratamiento del aire en circulación y el aire de ventilación, y una segunda columna para filtrar, enfriar y deshumidificar el aire del entorno.
20
8. Un método para el control del clima en espacios cerrados o semicerrados, que comprende una unidad de aire acondicionado (1) para filtrado, enfriamiento y deshumidificación de aire y calefacción, una bomba de calor (2), y una unidad (3) para capturar CO₂ del aire ambiente, en donde dicha unidad para capturar CO₂ del aire ambiente comprende dos unidades de proceso (134, 172), caracterizado por que dichas unidades de proceso (134, 172) son capaces de adsorber y desorber CO₂ en un adsorbente, y trabajar alternativamente en modo de adsorción y desorción.
25

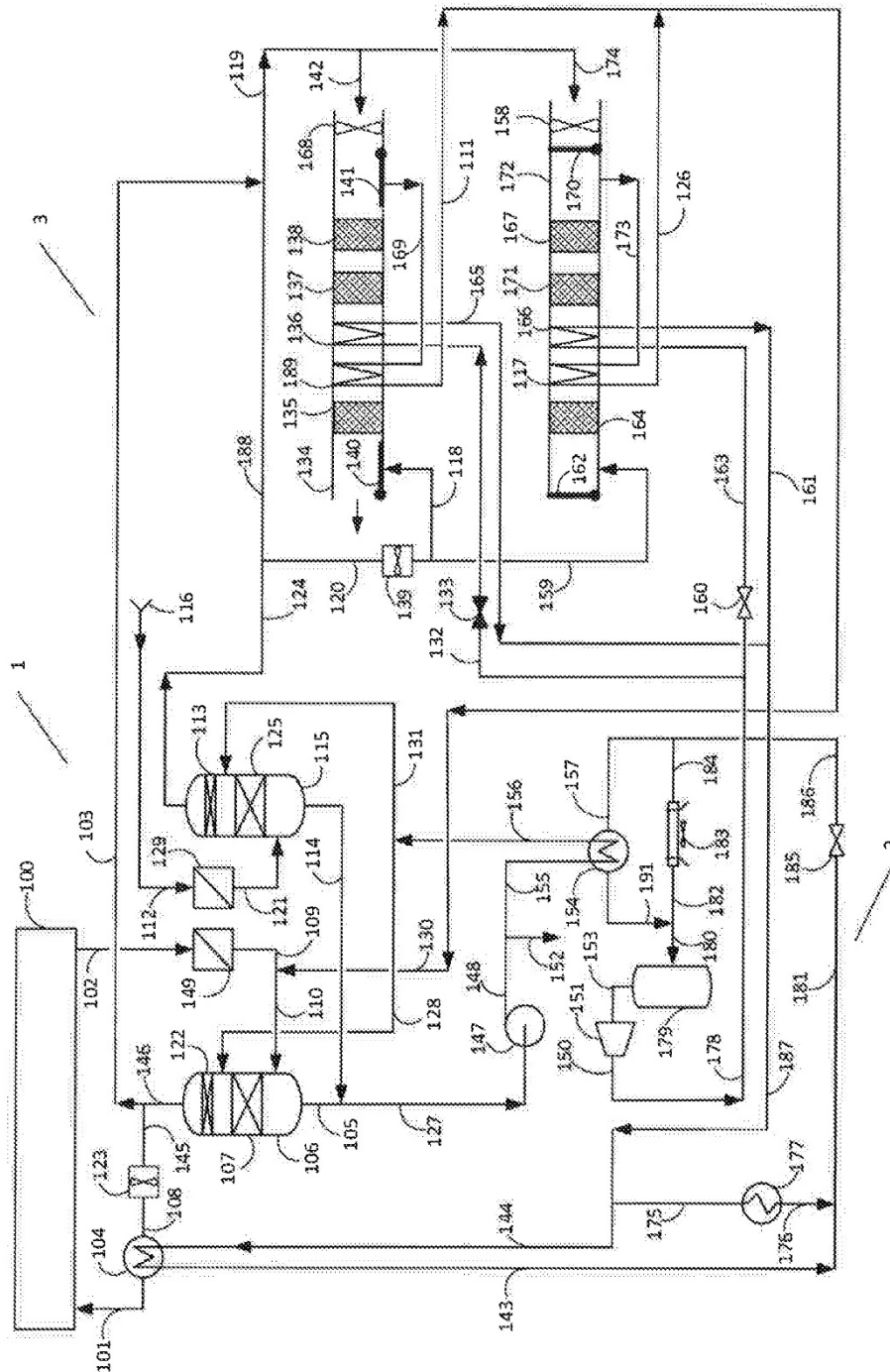


Figura 1

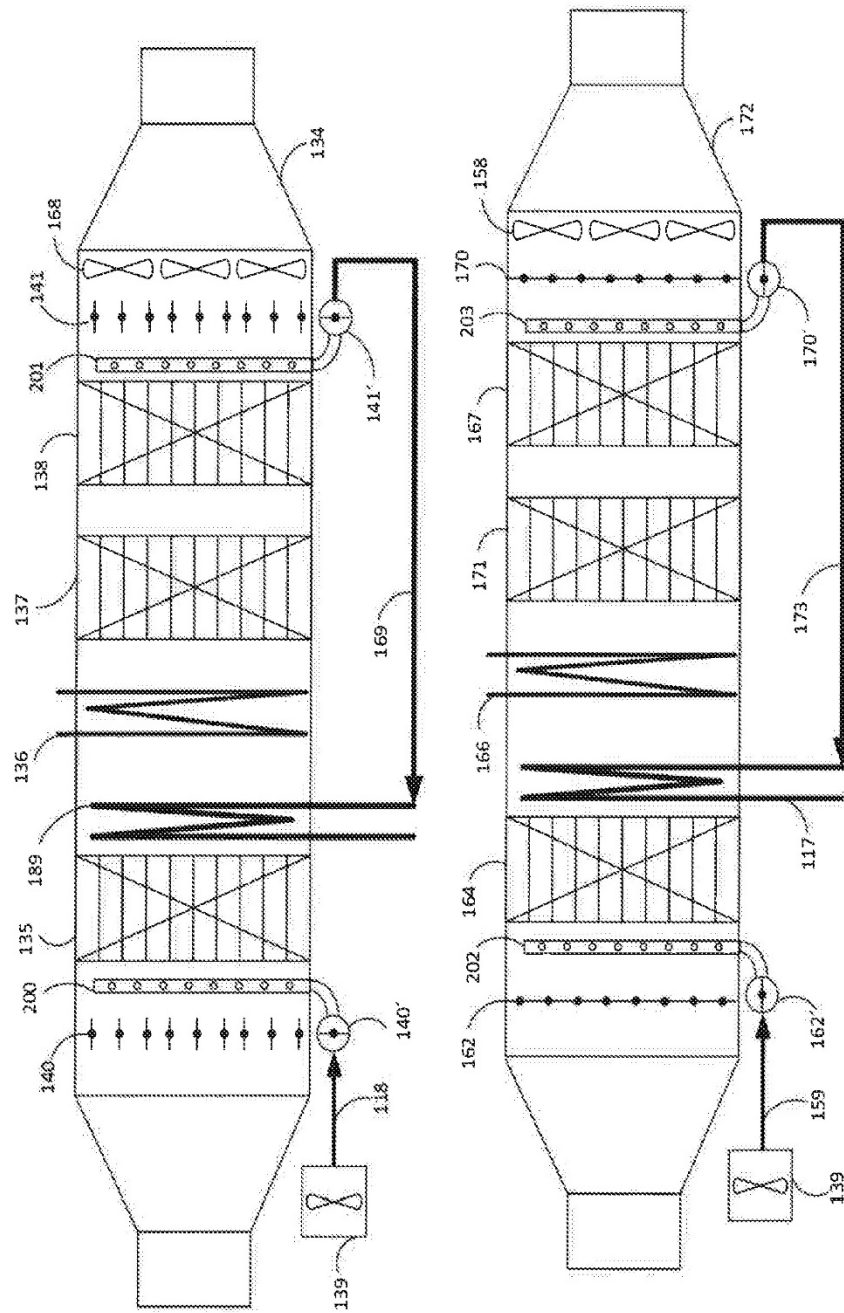


Figura 2

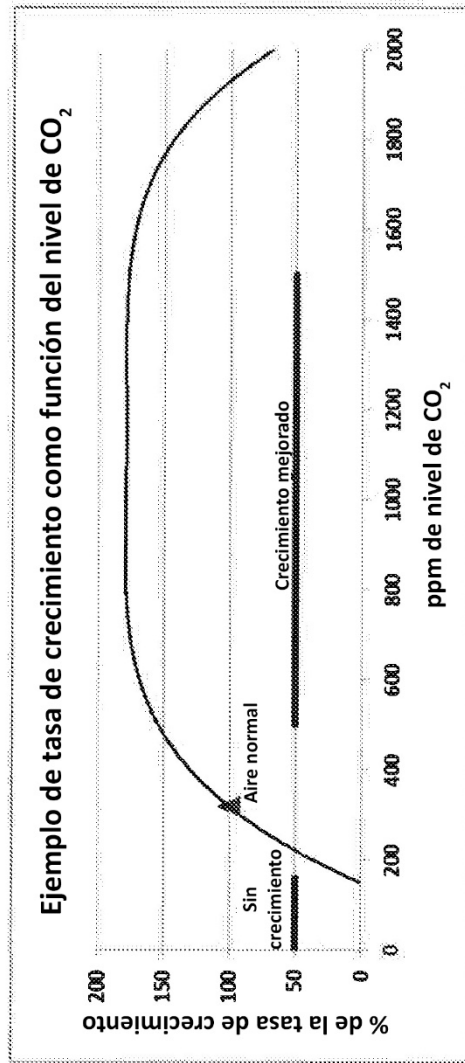


Figura 3

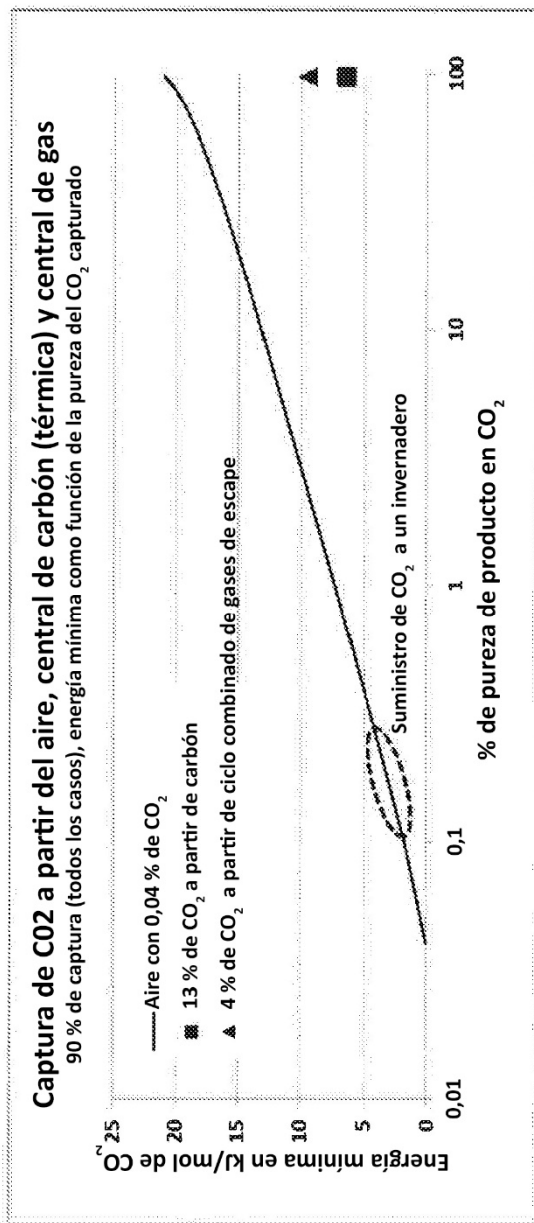


Figura 4

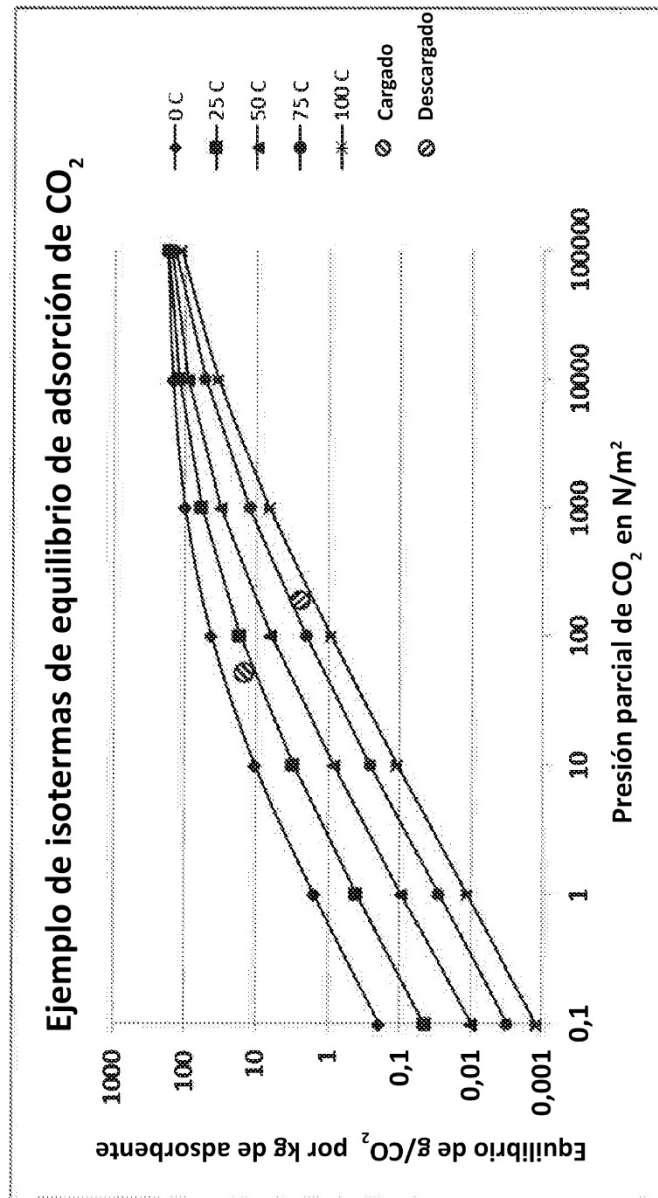


Figura 5

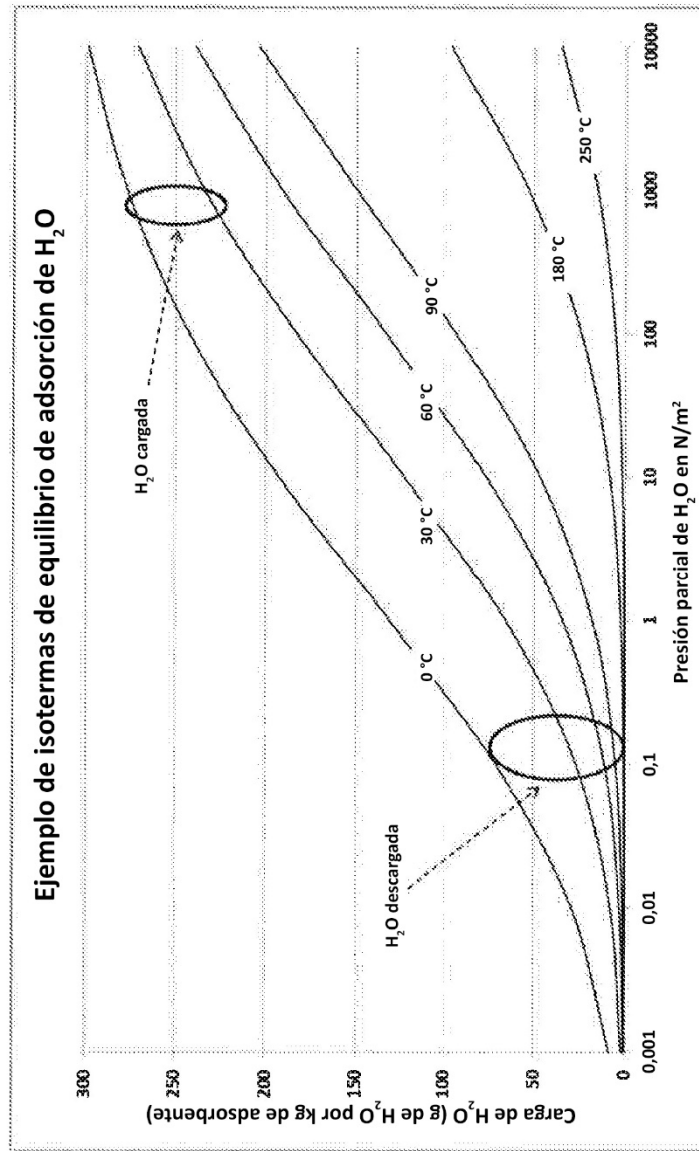


Figura 6