



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 986 972**

⑮ Int. Cl.:

B01D 53/14 (2006.01)
B64C 39/02 (2013.01)
G01W 1/08 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑥ Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.12.2020 PCT/IL2020/051301**

⑦ Fecha y número de publicación internacional: **24.06.2021 WO21124332**

⑨ Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2020 E 20901305 (1)**

⑩ Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2024 EP 3890868**

④ Título: **Sistema y método de captura de materia gaseosa**

⑩ Prioridad:

21.12.2019 US 201962952248 P

④ Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

13.11.2024

⑩ Titular/es:

HIGH HOPES LABS LTD. (100.0%)
Eliezer HaGadol St. 6
9359006 Jerusalem, IL

⑩ Inventor/es:

OREN, ERAN

⑩ Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 986 972 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema y método de captura de materia gaseosa

5 **Campo de la invención**

La presente invención se relaciona con el campo de la captura de materia gaseosa y, más particularmente, pero no exclusivamente, con la captura de dióxido de carbono directamente de la atmósfera con el fin de mitigar el cambio climático y con el uso posterior de los gases capturados.

10

Antecedentes de la invención

El cambio climático ha sido durante mucho tiempo una preocupación global que tiene un enorme impacto potencial en el medio ambiente global y el bienestar humano. Las actividades humanas como la combustión de combustibles fósiles y la deforestación, junto con fenómenos derivados como el deshielo acelerado del permafrost, aumentan la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre y provocan cambios en el clima global. Como resultado, se probaron e implementaron muchos conceptos para mitigar los efectos del cambio climático.

20 Hoy en día, la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera terrestre es de 411 partes por millón (ppm). Esta cantidad aumenta en más de 2 ppm por año, debido a las continuas emisiones en los sectores múltiples y distribuidos de la economía mundial. Según el Acuerdo de París liderado por la CMNUCC y firmado por la mayoría de los países en 2015, la humanidad debe limitar el aumento de la temperatura promedio a "muy por debajo" de 2 °C en comparación con los niveles preindustriales, para evitar consecuencias catastróficas. Para tratar de predecir cómo evitar dicho límite de aumento de 2 °C potencialmente catastrófico, los modelos varían entre permitir una cuota de carbono restante, pero generalmente apuntan a permanecer por debajo de 430 ppm, mientras que 450 ppm indica una transición aproximada a una alta probabilidad de efectos irreversibles como una ppm se traduce aproximadamente en varios miles de millones de toneladas métricas de CO₂, lo que implica la necesidad de eliminar los gases de efecto invernadero de la atmósfera en el orden de decenas de miles de millones de toneladas por año.

25

En la técnica se han descrito una variedad de métodos de captura de dióxido de carbono. Entre ellos se encuentran los depuradores configurados para ser implementados en corrientes de altas concentraciones de dióxido de carbono como las que se encuentran en los escapes de centrales eléctricas, instalaciones industriales o vehículos. Aunque tales métodos de captura de carbono de los gases de combustión pueden proporcionar cierta mitigación al aumento continuo de las emisiones de carbono, tienen una aplicabilidad limitada, no pueden abordar las emisiones de carbono de fuentes distribuidas y tampoco pueden abordar la alta concentración de dióxido de carbono que ya circula como parte de la atmósfera terrestre.

30

35

La captura de dióxido de carbono directamente de la atmósfera terrestre usando procesos químicos de diferentes tipos ha sido dada a conocer por varias publicaciones, por ejemplo, las publicaciones de solicitud de patente US20170106330A1 y US20170028347A1 describen la captura de dióxido de carbono llevada a cabo por sistemas terrestres estacionarios usando hidróxidos de sodio que luego permite compresión de una corriente de dióxido de carbono de alta pureza en líquidos o líquidos supercríticos. Se han descrito otros medios de captura y procesamiento químico y físico de dióxido de carbono, por ejemplo, en las publicaciones de solicitud de patente WO2016185387A1, AU2008239727B2 y US20140061540A1. Las publicaciones de patente US4963165A y US8702847B2 también describen la captura, separación, condensación y reciclaje de dióxido de carbono.

40

45

50 La publicación de solicitud de patente US20170106330A1 describe un sistema para separar y almacenar moléculas, átomos y/o iones del aire, que comprende al menos un tanque colector configurado para recibir moléculas, átomos y/o iones que se separan del aire ambiente. El sistema comprende además al menos un tanque de almacenamiento para almacenar las moléculas, átomos y/o iones separados, y al menos una salida, en donde los medios de recolección de aire pueden ser una torre de gas o un globo de gas.

55 Las publicaciones de solicitud de patente US20110146488A describen la captura y el secuestro de cantidades significativas de moléculas de dióxido de carbono de una corriente de aire entrante dirigiendo el flujo hacia un recipiente de compuesto de carbono cilíndrico transportado por el aire, o recipiente de "Mitigación de dióxido de carbono atmosférico" (ATCOM) que tiene la capacidad de capturar, secuestrar, y luego liberar las especies con ionización negativa dentro de un campo de ondas electromagnéticas de alta frecuencia deseado. El flujo de aire inicial hacia el recipiente ATCOM se reduce a una velocidad de flujo específica a medida que la corriente de aire viaja a través de una cámara de voluta con impulsores de resistencia añadida, y luego hacia una cámara de flujo libre donde la velocidad del flujo entrante comprime el volumen de aire, lo que permite una igualdad osmótica. distribución de la concentración de moléculas de CO₂. Amrit Kumar et al.: "Direct Air Capture of CO₂ by Physisorbent Materials", Angewandte Chemie International Edition, vol. 54, n.º 48, 6 de octubre de 2015 (06-10-2015), páginas 14372-14377, XP055567608, ISSN: 1433-7851, DOI: 10.1002/anie.201506952 divulga un método y sistema para recuperar CO₂ mediante captura directa de aire.

60

65 Del estado del arte antes indicado, se puede notar que se están realizando diferentes ensayos y desarrollos, aunque

generalmente estos esfuerzos no logran cumplir con los requerimientos del mercado en términos de precio, mitigación (en cuanto a emisiones de carbono por tonelada de dióxido de carbono capturado) y aplicabilidad.

- 5 Ninguna de las publicaciones indicadas anteriormente enseña, solo o en combinación, un sistema de captura de materia gaseosa, que comprende una unidad aérea y una unidad no aérea y configurado para transferir la materia gaseosa separada almacenada desde la unidad aérea a la unidad no aérea para su posterior procesamiento o almacenamiento.
- 10 Existe la necesidad de proporcionar un sistema y método para capturar materia gaseosa directamente de la atmósfera de una manera económica, escalable y aplicable.
- 15 Existe una necesidad adicional de proporcionar un sistema y un método configurados para liberar medios de almacenamiento llenos de materia gaseosa comprimida para su posterior procesamiento por parte de una unidad no aérea, aumentando así la eficiencia de recolección de materia gaseosa al permitir capturar más materia gaseosa, tal como la masa de dióxido de carbono, en una sola misión aerotransportada, lo que reduce el mantenimiento regular y los intervalos de tiempo en tierra.

Sumario de la invención

- 20 Las características técnicas esenciales de la invención se definen explícitamente en el texto de las reivindicaciones independientes 1 y 12. Otras características técnicas de la invención se definen explícitamente en el texto de las reivindicaciones dependientes 2-11.
- 25 La presente invención proporciona un sistema y método para capturar materia gaseosa directamente de la atmósfera que es económico y altamente escalable con respecto a cualquier otro sistema y método disponible.
- 30 Dicho sistema y método puede incluir además el uso de las condiciones climáticas que se encuentran a gran altura que permiten las transiciones de fase de los gases a bajas temperaturas y presiones relativamente bajas para licuar o solidificar la materia gaseosa como el dióxido de carbono, y así separarla de los otros gases que forman la mezcla atmosférica.
- 35 Dicho sistema y método pueden incluir además la utilización de una plataforma/vehículo a gran altitud, tal como un globo a gran altitud configurado para capturar grandes cantidades de materia gaseosa a gran altitud, tal como CO₂, en donde dicha concentración de CO₂ a gran altitud tiende a no diluirse debido a la típica fuerte vientos y la advección resultante.
- 40 Dicho sistema y método pueden incluir además la transferencia de la materia gaseosa separada almacenada desde la unidad aérea a la unidad no aérea para su posterior procesamiento o almacenamiento.
- 45 Las siguientes realizaciones y aspectos de las mismas se describen e ilustran junto con sistemas, dispositivos y métodos que pretenden ser ejemplares e ilustrativos y no limitativos en su alcance. En varias realizaciones, se han reducido o eliminado uno o más de los problemas descritos anteriormente, mientras que otras realizaciones están dirigidas a otras ventajas o mejoras.
- 50 La invención se refiere a un sistema cuyas características técnicas se definen explícitamente en el texto de la reivindicación 1. Este comprende al menos una unidad aérea configurada para ser aerotransportada, al menos una unidad no aérea, al menos un medio de separación de gases configurado para ser transportado por la unidad aérea, medios de almacenamiento configurado para ser transportado por la unidad aérea, un controlador configurado para controlar la operación del sistema y una fuente de energía configurada para permitir la operación del sistema, en donde al menos un medio de separación de gases está configurado para separar del aire al menos una materia gaseosa designada, en donde la por lo menos una materia gaseosa separada está configurada para almacenarse dentro de los medios de almacenamiento y en donde la unidad aérea está configurada para transferir la materia gaseosa separada almacenada a la unidad no aérea.
- 55 El por lo menos un medio de separación de gases funciona mientras la unidad aérea está en el aire a un rango de altitud de 5-15 km.
- 60 Los medios de separación de gases comprenden al menos un aparato de aumento de presión.
- 65 De acuerdo con algunas realizaciones, los medios de separación de gases comprenden catalizadores químicos que pueden ser a base de adsorbentes para dióxido de carbono y configurados para usarse un procedimiento de separación de gases.

De acuerdo con algunas realizaciones, los medios de separación de gases comprenden enzimas biológicas configuradas para usar el procedimiento de separación de gases.

5 De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad aérea es un globo de gran altura.

De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad aérea está configurada para estar unida a la unidad no aérea.

10 De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad aérea comprende además medios de autodirección.

10 De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad aérea está configurada para adaptarse/integrarse en los medios de propulsión de un vehículo aéreo.

15 Los medios de almacenamiento comprenden al menos un contenedor de gas comprimido que puede configurarse para ser liberado de la unidad aérea y llegar a la unidad no aérea.

De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad no aérea comprende un área de aterrizaje designada configurada para capturar al por lo menos un contenedor de gas comprimido.

20 El por lo menos un contenedor de gas comprimido comprende medios de guía configurados para guiar el por lo menos un contenedor de gas comprimido de la unidad aérea a la unidad no aérea.

De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad no aérea está configurada para usar la materia gaseosa designada almacenada capturada por la unidad aérea.

25 De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad no aérea está configurada para ubicarse en el suelo, en una masa de agua o en una embarcación, en donde una unidad no aérea configurada para ubicarse en una masa de agua puede comprender además un área de atraque.

30 De acuerdo con algunas realizaciones, el controlador está configurado además para generar comandos de navegación con el fin de controlar la unidad aérea.

De acuerdo con algunas realizaciones, los medios de separación de gases comprenden además un compresor de aire configurado para aumentar la presión del aire que fluye dentro de 6-10 bares por encima de la presión del aire ambiente.

35 De acuerdo con algunas realizaciones, la materia gaseosa designada es dióxido de carbono.

40 De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad aérea aerotransportada está configurada para aprovechar las bajas temperaturas a grandes altitudes para licuar o solidificar la materia gaseosa designada.

45 De acuerdo con algunas realizaciones, el por lo menos un medio de separación de gases llevado por la unidad aérea aerotransportada está configurado para aprovechar el viento a gran altitud con el fin de aprovechar la presión del flujo de aire entrante con el propósito de la separación de gases.

50 De acuerdo con algunas realizaciones, la energía potencial almacenada dentro del aire comprimido puede ser usada además por el sistema de captura de materia gaseosa.

55 De acuerdo con algunas realizaciones, la fuente de energía se basa en energía solar/energía eólica/reserva de energía prealmacenada o está configurada para alimentar la unidad aérea mediante el uso de una conexión por cable.

55 La invención también se refiere a un método para capturar materia gaseosa cuyas características técnicas esenciales se definen explícitamente en el texto de la reivindicación independiente 12.

60 **Breve descripción de las figuras**

65 Algunas realizaciones de la invención se describen aquí con referencia a las figuras adjuntas. La descripción, junto con las figuras, hace evidente a una persona con experiencia ordinaria en la técnica cómo se pueden practicar algunas realizaciones. Las figuras tienen el propósito de una descripción ilustrativa y no se intenta mostrar detalles estructurales de una realización con más detalle del necesario para una comprensión fundamental de la invención.

En las figuras:

5 La figura 1 constituye una vista en perspectiva esquemática de una unidad aérea y no aérea de un sistema de captura de materia gaseosa, de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

10 La figura 2 constituye una vista en perspectiva esquemática de la unidad no aérea de un sistema de captura de materia gaseosa, de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

15 La figura 3 constituye un diagrama de bloques que ilustra posibles módulos que forman una unidad aérea de un sistema de captura de materia gaseosa, de acuerdo con alguna realización de la invención.

La figura 4A constituye un diagrama de fase típico de CO₂ a varias temperaturas.

20 La figura 4B constituye una gráfica combinada que muestra las concentraciones de CO₂ muestreadas en el aire ambiente a diferentes altitudes.

25 La figura 5 constituye una gráfica de líneas que ilustra las diversas temperaturas y presiones que tienen un efecto sobre la liquidación o solidificación de CO₂.

30 Las figuras 6A y 6B constituyen una gráfica de líneas que ilustra las capacidades de absorción de los sorbentes para la captura de carbono que tienen una alta afinidad por el CO₂.

Descripción detallada de algunas realizaciones

35 En la siguiente descripción detallada, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión completa de la invención. Sin embargo, los expertos en la técnica entenderán que la presente invención puede practicarse sin estos detalles específicos. En otros casos, los métodos, procedimientos y componentes, módulos, unidades y/o circuitos bien conocidos no se han descrito en detalle para no oscurecer la invención. Algunas características o elementos descritos con respecto a una realización pueden combinarse con 40 características o elementos descritos con respecto a otras realizaciones. En aras de la claridad, no se puede repetir la discusión de características o elementos iguales o similares.

45 Aunque las realizaciones de la invención no se limitan a este respecto, las discusiones que usan términos como, por ejemplo, "controlar", "procesar", "computar", "calcular", "determinar", "establecer", "analizar", "comprobar", "configurar", "recibir", o similares, pueden referirse a operaciones y/o procesos de un controlador, una computadora, una plataforma informática, un sistema informático u otro dispositivo informático electrónico, que manipula y/o transforma datos representados como cantidades físicas (por ejemplo, electrónicas) dentro de los registros y/o memorias de la computadora en otros datos representados de manera similar como cantidades físicas dentro de los registros y/o memorias de la computadora u otro medio de almacenamiento no transitorio de información que puede 50 almacenar instrucciones para llevar a cabo operaciones y/o procesos.

55 A menos que se indique explícitamente, las realizaciones de método descritas en este documento no están restringidas a un orden o secuencia particular. Además, algunas de las realizaciones de método descritas o elementos de las mismas pueden ocurrir o llevarse a cabo simultáneamente, en el mismo momento o concurrentemente.

60 El término "controlador", tal como se usa en el presente, se refiere a cualquier tipo de plataforma informática o componente que se pueda aprovisionar con una unidad central de procesamiento (CPU) o microprocesadores, y que se pueda aprovisionar con varios puertos de entrada/salida (E/S), por ejemplo, una computadora de uso general, tal como una computadora personal, una computadora portátil, una tableta, un teléfono celular móvil, un chip controlador, un SoC o un sistema de computación en la nube.

65 El término "sorbentes para la captura de carbono", tal como se usa en este documento, se refiere a cualquier material con mayor afinidad por el CO₂ en comparación con otros gases atmosféricos como el nitrógeno y el oxígeno y, más específicamente, a una amplia gama de materiales típicamente porosos en fase sólida que pueden acomodar una amplia variedad de cationes y pueden incluir sílices mesoporosas, zeolitas, estructuras organometálicas, etc., en donde estos materiales tienen el potencial de eliminar selectivamente el CO₂ de grandes volúmenes de aire.

70 El término "estructura metal-orgánica (MOF)", tal como se usa en este documento, se refiere a una clase de compuestos porosos que tienen bajas capacidades caloríficas y que consisten en iones metálicos o grupos coordinados con ligandos orgánicos que forman estructuras 1D, 2D o 3D. Debido a sus pequeños tamaños de poro y altas fracciones de vacío, las MOFs se consideran un material potencial prometedor para su uso como adsorbente para capturar CO₂ y pueden proporcionar una alternativa eficiente en comparación con los métodos tradicionales a base de solventes de amina ampliamente usados en la actualidad. El CO₂ puede unirse a una superficie MOF a través de fisisorción, que es causada por interacciones de Van der Waals, o quimisorción, que es causada por la formación de enlaces covalentes. Una vez que la MOF está saturada con CO₂, el CO₂ se eliminaría de la MOF a

través de un cambio de temperatura o un cambio de presión (un proceso conocido como regeneración). En una regeneración por cambio de temperatura, la MOF se calentaría hasta que el CO₂ se desorbiera. En un cambio de presión, la presión disminuiría hasta que el CO₂ se desorbiera.

5 El término "ZIFs", tal como se usa en el presente documento, se refiere a una clase de estructuras organometálicas (MOF) que son topológicamente isomórficas con las zeolitas, en donde una MOF particular llamada ZIF-8 tiene un factor de separación muy alto para mezclas de hidrógeno y dióxido de carbono, y una especificidad relativamente alta del dióxido de carbono sobre el nitrógeno. También se sabe que ZIF-8 es una MOF relativamente estable, por lo que se aplica en una amplia gama de temperaturas y presiones. Las ZIFs están compuestas por iones de metales de transición coordinados tetraédricamente (por ejemplo, Fe, Co, Cu, Zn) conectados por enlazadores de imidazolato y que tienen topologías similares a las de la zeolita.

10 15 El término "capa de inversión", tal como se usa en este documento, se refiere a una capa en la atmósfera, o como una región en términos de altitud, en la que las temperaturas tienden a dejar de disminuir con cualquier aumento adicional en la altitud. Si bien la inversión térmica puede ocurrir en varias condiciones, es común referirse a la capa de inversión como la altitud a la que se invierte el gradiente de temperatura vertical, en la parte superior de la troposfera, a veces denominada tropopausa.

20 25 De acuerdo con algunas realizaciones, la presente invención divulga un sistema de captura de materia gaseosa que comprende una unidad aérea de peso ligero configurada para ser liberada a la atmósfera y que comprende al menos un medio de separación de gases tal como un compresor. De acuerdo con algunas realizaciones, dicha unidad aérea puede ser un globo de gran altitud y puede comprender además componentes de control, navegación y dirección. De acuerdo con algunas realizaciones, dicha unidad aérea está configurada para capturar grandes cantidades de materia gaseosa tal como dióxido de carbono y arrojarla hacia abajo a una unidad no aérea designada donde puede ser atrapada de forma segura. De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad aérea puede ser un globo de gran altitud configurado para arrojar grandes cantidades de dióxido de carbono capturado para permitir capturar más masa de dióxido de carbono en una sola misión aérea, reduciendo así el mantenimiento regular y los intervalos de tiempo en tierra.

30 35 40 De acuerdo con algunas realizaciones, la separación de la materia gaseosa como el dióxido de carbono del aire ambiente se puede llevar a cabo usando varias técnicas y métodos tales como: enfriadores, refrigeradores, congeladores, bombas de calor, bombas de presión, compresores, membranas, separación por medios químicos o catalizadores, separación por enzimas biológicas, etc. Tales técnicas y métodos se usan para aumentar la velocidad a la que se captura el CO₂ del aire ambiente atmosférico.

45 50 55 De acuerdo con algunas realizaciones, el sistema de captura de materia gaseosa está configurado para usar las bajas temperaturas ambientales y los fuertes vientos que circulan por la atmósfera circundante. El sistema de captura de materia gaseosa está además configurado para evitar la dilución del dióxido de carbono en la corriente de aire entrante ya que, aunque la densidad del aire es menor en la alta troposfera y la baja estratosfera, la concentración volumétrica de dióxido de carbono no es significativamente menor y es casi similar a los niveles encontrados a nivel del mar. Por lo tanto, es aplicable usar el método de captura de carbono descrito anteriormente a grandes altitudes sobre el nivel del mar.

55 60 65 De acuerdo con algunas realizaciones, el sistema de captura de materia gaseosa está configurado para recolectar una materia gaseosa directamente de la atmósfera (en donde un gas preferible para recolectar puede ser dióxido de carbono), con fines de mitigación del cambio climático y reutilización de materia gaseosa. De acuerdo con algunas realizaciones, el sistema puede basarse en la transición de fase del dióxido de carbono a bajas temperaturas, tal como en rangos de -100 °C a -10 °C y rangos de presión incrementada, tal como entre 0,2 bar y 10 bar (20,2 y 1013 KPa).

60 De acuerdo con algunas realizaciones, para eliminar cantidades masivas de CO₂ directamente del aire ambiente, sin necesidad de un aporte energético excesivo, sin el uso de recursos peligrosos o escasos, y de manera totalmente escalable, se sugiere el uso de vehículos de gran altura equipados con compresores.

65 De acuerdo con algunas realizaciones, una vez que el dióxido de carbono se ha separado del flujo de aire, se puede almacenar o usar más de acuerdo con diversas necesidades o limitaciones. Por ejemplo, un dióxido de carbono separado puede licuarse/solidificarse y mantenerse en medios de almacenamiento tales como contenedores de alta presión, en donde dichos contenedores pueden estar hechos de cualquier material conocido, tal como fibras de carbono compuestas, aluminio, polímeros, etc.

70 Ahora se hace referencia a la figura 1 que ilustra esquemáticamente una unidad aérea 100 y una unidad no aérea 200 del sistema de captura de materia gaseosa 10. Como se muestra, el sistema de captura de materia gaseosa 10 puede comprender dos unidades principales, la unidad aérea 100 y la unidad no aérea 200. La unidad aérea 100 puede ser, por ejemplo, un globo de gran altitud o cualquier otro vehículo aerotransportado, configurado para volar a grandes altitudes, tal como altitudes de 5 a 15 km, en donde las temperaturas estándar en estas altitudes suelen rondar los -50 °C y la densidad del aire es de aproximadamente 10-30 % de los que se encuentran a nivel del mar.

- 5 De acuerdo con algunas realizaciones, un globo de gran altitud que opera como una unidad aérea 100 puede llenarse con helio, gas hidrógeno, aire caliente o cualquier otra sustancia conocida usada para proporcionar sustentación aérea. De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad aérea 100 puede estar conectada o no conectada a la unidad no aérea 200.
- 10 De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad aérea 100 puede ser cualquier plataforma o vehículo aéreo conocido, por ejemplo, un avión propulsado (ya sea por motor de combustión interna, propulsión a chorro, energía solar o energía eléctrica), un avión planeador (tal como cometa, planeador, etc.) o un aerostato (tal como un dirigible, globo, etc.) De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad aérea 100 puede implementarse en un vehículo aéreo existente, por ejemplo, la unidad aérea 100 puede adaptarse a un avión de aviación comercial para ser transportado sobre o implementado con cualquier sección de su fuselaje, alas o motores. Una unidad aérea 100 adaptada a un vehículo aéreo puede basarse además en sistemas ya existentes, por ejemplo, puede usar un compresor incorporado en el motor de una aeronave como sustituto de un medio integrado de separación de gases 102 (que se describe más adelante).
- 15 De acuerdo con algunas realizaciones, los medios de separación de gases 102 pueden comprender un compresor, una bomba o cualquier dispositivo de aumento de presión conocido configurado para ser transportado por la unidad aérea 100 y comprimir el aire circundante a caudales elevados a presiones que están aproximadamente entre 5 y 10 bares por encima de la presión de aire ambiente. De acuerdo con algunas realizaciones, y como se mencionó anteriormente, la separación del dióxido de carbono del aire ambiente por los medios de separación de gases 102 puede lograrse usando diversas técnicas y/o métodos tales como: refrigeración, bombeo de calor, bombas/compresores múltiples, membranal separación, separación mediante medios químicos como catalizadores, separación mediante enzimas biológicas, etc. Tales técnicas y métodos pueden usarse para aumentar la velocidad a la que se captura el carbono del aire ambiente atmosférico, reducir la energía necesaria para la captura de CO₂, etc.
- 20 De acuerdo con algunas realizaciones, los medios de separación de gases 102 ubicados en una unidad aérea 100 pueden usar diferentes tipos de membranas para filtrar el flujo de aire entrante y producir aire filtrado que tenga una concentración de CO₂ aumentada con respecto a la concentración de nitrógeno u otros gases. Dicho aumento de la concentración de CO₂ puede ser alto en un orden de magnitud (x10) con respecto a la concentración de CO₂ en el flujo de aire ambiental, por lo tanto, aprovechar el viento para dicha separación de materia gaseosa puede aumentar significativamente la eficiencia de dicho proceso al reducir la necesidad de comparar el flujo de aire entrante.
- 25 De acuerdo con algunas realizaciones, y dado que el viento fuerte es generalmente abundante a gran altura, la alta presión dinámica causada por dicho viento fuerte a gran altitud en donde la unidad aérea 100 diseñada para operar, puede aprovecharse con el fin de separar el CO₂ de un flujo de aire que ingresa medios de separación 102. Por ejemplo, los medios de separación de gases 102 ubicados en una unidad aérea 100 pueden usar diferentes tipos de membranas para filtrar el flujo de aire entrante y producir aire filtrado que tenga una concentración de CO₂ aumentada con respecto a la concentración de nitrógeno u otros gases. Dicho aumento de la concentración de CO₂ puede ser alto en un orden de magnitud (x10) con respecto a la concentración de CO₂ en el flujo de aire ambiental, por lo tanto, aprovechar el viento para dicha separación de materia gaseosa puede aumentar significativamente la eficiencia de dicho proceso al reducir la necesidad de comparar el flujo de aire entrante.
- 30 De acuerdo con algunas realizaciones, dado que los medios de separación de gases 102 de la unidad aérea 100 están configurados para operar a gran altura, generalmente no se necesita gran parte de la energía generalmente usada para comprimir el aire ambiental a la altura del suelo. De acuerdo con algunas realizaciones, después de separarse de su CO₂, el aire comprimido puede usarse más usando su energía potencial almacenada. Por ejemplo, la energía potencial almacenada en el aire comprimido se puede usar directamente para comprimir más flujo de aire o indirectamente para alimentar varios sistemas eléctricos/mecánicos, lo que lleva a un mayor ahorro de energía/peso.
- 35 De acuerdo con algunas realizaciones, para aumentar la eficiencia de captura de dióxido de carbono, la unidad aérea 100 puede usar varios medios de separación de gases 102 en paralelo, por ejemplo, los medios de separación de gases 102 pueden ser varios compresores conectados en serie/en varias etapas para proporcionar una compresión y separación eficiente de la materia gaseosa.
- 40 De acuerdo con algunas realizaciones, las sustancias designadas pueden usarse para la captura de CO₂ o la separación de CO₂ y pueden implementarse dentro de los medios de separación de gases 102 para aumentar la cantidad de CO₂ disponible para la separación. Dichas sustancias pueden ser, por ejemplo, MOFs, ZIFs o cualquier otro sorbente conocido para la captura de carbono y pueden estar dispuestas en forma de películas delgadas y producidas por diversos procesos químicos, tal como técnicas de nanodeposición como ALD, CVD, PVD, deposición de ángulo rasante, etc.
- 45 Al menos un medio de almacenamiento 106 comprende un tanque o tanques de gas comprimido, configurados para almacenar la materia gaseosa separada, tal como el CO₂, en forma líquida, sólida o gaseosa después de que se haya extraído del flujo de aire comprimido.
- 50 De acuerdo con algunas realizaciones, para maximizar la eficiencia de extracción de CO₂ por parte de la unidad aérea 100 y para permitir la máxima recolección de materia gaseosa dados los recursos y restricciones limitados y para permitir más tiempo en el aire antes de que la unidad aérea 100 tenga que aterrizar, el sistema de captura de materia gaseosa 10 puede configurarse para liberar tanques de gas llenos diseñados para aterrizar con seguridad en una unidad no aérea designada o en ubicaciones terrestres/acuáticas predefinidas para su uso posterior.
- 55
- 60
- 65

- De acuerdo con algunas realizaciones, el sistema de captura de materia gaseosa 10 comprende además un mecanismo designado (no mostrado) configurado para permitir una liberación controlada de al menos un medio de almacenamiento 106 que puede ser un tanque de gas comprimido. Por ejemplo, los medios de liberación controlada pueden estar configurados para desconectar los medios de almacenamiento 106 después de que se hayan llenado con materia gaseosa para eliminar el exceso de peso del vehículo aéreo. De acuerdo con algunas realizaciones, el medio de almacenamiento 106 está configurado para liberarse y caer hacia abajo a una unidad no aérea designada previamente, en donde puede ser capturado y recogido de manera segura.
- 5 Los medios de almacenamiento 106 son un tanque o tanques, configurados para ser lanzados por/ liberados desde la unidad aérea 100, usando el mecanismo de liberación designado anteriormente, y caer de manera guiada. Los medios de almacenamiento 106 pueden incluir el uso de paracaídas, alas deslizantes, hélices, inyecciones de gas o propulsores a chorro para proporcionar capacidad de corrección de trayectoria o cualquier otro medio de dirección/navegación conocido.
- 10 15 De acuerdo con algunas realizaciones, el controlador 104 está configurado además para proporcionar un control operativo general del sistema de captura de materia gaseosa 10. De acuerdo con algunas realizaciones, el controlador 104 puede colocarse sobre la unidad aérea 100, sobre la unidad no aérea 200, o puede ser ubicado en otro lugar, por ejemplo, en un servidor remoto o como parte de una plataforma de computación en la nube. De acuerdo con algunas realizaciones, el controlador 104 está configurado para proporcionar control de navegación a la unidad aérea 100, en donde dicho control de navegación puede ser llevado a cabo automática o manualmente por un usuario que monitoree la operación del sistema de captura de materia gaseosa 10.
- 20 25 De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad aérea 100 puede comprender además medios de propulsión/dirección (no mostrados) que pueden ser cualquier componente de propulsión conocido configurado para proporcionar un despliegue aéreo controlado de la unidad aérea 100. De acuerdo con algunas realizaciones, el controlador 104 puede controlar el medios de propulsión/dirección que pueden ser propulsores a reacción, propulsión de cohetes, aletas, hélices de cualquier tipo o cualquier otro medio de propulsión conocido.
- 30 35 De acuerdo con algunas realizaciones, el sistema de captura de materia gaseosa 10 comprende además medios de comunicación (no mostrados) configurados para proporcionar una vía de comunicación confiable y rápida entre la unidad aérea 100 y la unidad no aérea 200. Por ejemplo, un sistema de comunicación que puede ser controlado por el controlador 104 puede proporcionar comandos de navegación a la unidad aérea de acuerdo con diversas necesidades o restricciones y puede ser operado de forma automática o manual por un usuario que monitoree la operación del sistema de captura de materia gaseosa 10.
- 40 45 El sistema de captura de materia gaseosa 10 comprende además una fuente de energía 108 que puede ser un depósito de energía/batería, un depósito de hidrógeno (que puede usarse simultáneamente para fines de elevación), paneles solares/pinturas/láminas, turbinas eólicas (para aprovechar el fuerte viento circundante), generadores de energía nuclear, fuentes de energía termonucleares en conjunto con elementos termoeléctricos, etc. De acuerdo con algunas realizaciones, un cable atado conectado a tierra, la unidad no aérea 200 o a otro vehículo aéreo puede proporcionar la energía necesaria para la operación de la unidad aérea 100. De acuerdo con algunas realizaciones, las fuentes de energía usadas para proporcionar energía al sistema de captura de materia gaseosa 10 están configuradas para ser neutras en carbono o cercanas a él, para no contradecir el propósito principal de la extracción de dióxido de carbono.
- 50 55 De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad aérea 100 puede configurarse para desplegarse en una posición relativa que tiene la capacidad de proporcionar una disponibilidad energética constante o casi constante, o tiene la capacidad de proporcionar a la unidad aérea 100 condiciones mejoradas de captura de materia gaseosa, esto se puede lograr cambiando adaptativamente la altitud/posición de la unidad aérea 100 para usar diferentes direcciones del viento o condiciones de radiación solar. De acuerdo con algunas realizaciones, para cambiar el despliegue relativo de la unidad aérea 100, se pueden usar medios de propulsión y/o navegación y dirección como se describió anteriormente.
- 60 65 De acuerdo con algunas realizaciones, el producto final del sistema de captura de materia gaseosa 10 puede ser dióxido de carbono de alta pureza destinado a almacenamiento o reutilización en aplicaciones tales como agricultura, industria alimentaria, investigación, fabricación de combustibles sintéticos de emisiones cercanas neutras, etc.
- Ahora se hace referencia a la figura 2 que ilustra esquemáticamente una unidad no aérea 200 del sistema de captura de materia gaseosa 10 (anteriormente descrito). Como se muestra, un área de aterrizaje designada 202 que puede ser cualquier tipo de plataforma de captura (tal como un trampolín), está configurada para proporcionar un área segura para caídas de gran masa a alta velocidad. Los medios de almacenamiento de caída rápida 106 pueden aterrizar sobre el área de aterrizaje 202 para ser recogidos posteriormente por cualquier medio mecánico, robótico o manual (no mostrado).
- 65 De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad no aérea 200 puede incluir una instalación designada 204

configurada para proporcionar requisitos de mantenimiento para la unidad aérea 100 y/o el procesamiento de al menos un medio de almacenamiento 106 después de haber sido cargado con materia gaseosa y capturado por la zona de aterrizaje 202.

5 De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad no aérea 200 puede ubicarse en el suelo o en una plataforma flotante de masa de agua, como alternativa, la unidad no aérea 200 puede ubicarse sobre una plataforma móvil tal como cualquier tipo de embarcación marina o vehículo terrestre. De acuerdo con algunas realizaciones, después de la captura de los medios de almacenamiento 106 por el área de aterrizaje 202 y la entrega de los medios de almacenamiento 106 a la instalación designada 204, los procedimientos industriales que pueden ser químicos y/o mecánicos pueden usar la materia gaseosa recolectada para almacenamiento o uso adicional.

10 De acuerdo con algunas realizaciones, la unidad no aérea 200 puede comprender además un área de atraque 206 configurada para embarcaciones marinas o vehículos terrestres, para permitir la transferencia de la materia gaseosa capturada a otra ubicación.

15 Ahora se hace referencia a la figura 3 que ilustra un diagrama de bloques que revela los posibles módulos que forman la unidad aérea 100. Como se muestra, el módulo de energía 300 puede ser un depósito de energía como una batería, una celda de combustible a base de hidrógeno, un panel/pintura/lámina solar, una turbina eólica, un generador nuclear o cualquier otra fuente de energía que no emita gases de efecto invernadero o genere niveles 20 reducidos de gases de efecto invernadero.

25 De acuerdo con algunas realizaciones, el módulo de control 302 está configurado además para proporcionar un control operativo general del sistema de captura de materia gaseosa 10 y puede comprender un controlador colocado sobre la unidad aérea 100, sobre la unidad no aérea 200 (no mostrada), o puede ser ubicado en otro lugar, por ejemplo, en un servidor remoto o como parte de una plataforma de computación en la nube. De acuerdo con algunas realizaciones, el módulo de control 302 está configurado para generar comandos de navegación/gobierno para controlar la unidad aérea 100, en donde dicho control de navegación/gobierno puede ser realizado automática o manualmente por un usuario que monitorea la operación del sistema de captura de materia gaseosa 10. De acuerdo con algunas realizaciones, el módulo de control 302 está configurado para monitorear los diversos 30 parámetros y operaciones que forman parte de la actividad del sistema de captura de materia gaseosa 10.

35 De acuerdo con algunas realizaciones, el módulo de separación de gases 304 está configurado para permitir la separación de materia gaseosa, tal como el dióxido de carbono, del aire ambiente, lo que se puede llevar a cabo usando varias técnicas y métodos, tales como: bombas o compresores únicos/múltiples (o cualquier dispositivo que aumente la presión conocido, membranas, separación por medios químicos o catalizadores, separación por enzimas biológicas, etc.

40 De acuerdo con algunas realizaciones, el módulo de almacenamiento de materia gaseosa 306 está configurado para almacenar una materia gaseosa licuada/sólida o a alta presión como el dióxido de carbono en al menos un contenedor de alta presión (medios de almacenamiento 106 descritos anteriormente), en donde dicho contenedor 45 puede ser un contenedor de caída libre configurado para ser lanzado por/liberado desde la unidad aérea 100, usando el mecanismo de liberación designado anteriormente, o, como alternativa, caer de manera guiada. De acuerdo con algunas realizaciones, dicho contenedor de alta presión puede incluir el uso de paracaídas, alas deslizantes, hélices, inyecciones de gas, propulsores a reacción o cualquier otro medio de dirección/navegación conocido para proporcionar capacidad de corrección de trayectoria.

50 De acuerdo con algunas realizaciones, el módulo de navegación 308 está configurado para proporcionar capacidades de navegación a la unidad aérea 100 y puede comprender componentes de navegación designados como GPS, sensores de altitud/velocidad, etc. para determinar la ubicación exacta, la altura y la posición relativa del unidad aérea 100. El módulo de navegación 308 puede usar además una base de datos sobre el régimen del viento en una determinada ubicación y altitud para adaptar la operación de la unidad aérea 100 a las condiciones climáticas cambiantes. De acuerdo con algunas realizaciones, el módulo de navegación 308 puede ser un módulo separado o puede estar integrado dentro del módulo de control 302.

55 De acuerdo con algunas realizaciones, el módulo de propulsión 310 está configurado para impulsar la unidad aérea 100 a una ubicación/altitud deseada, en donde la propulsión de la unidad aérea 100 se puede llevar a cabo usando propulsores a chorro, propulsión de cohetes, aletas, hélices de cualquier tipo o cualquier otro medio de propulsión conocido.

60 Ahora se hace referencia a la figura 4A que ilustra un diagrama de fase que representa la transición de fase de un dióxido de carbono a temperaturas relativamente bajas y presiones relativamente altas.

65 De acuerdo con algunas realizaciones, para licuar el gas a una temperatura de aproximadamente -55 °C, la presión requerida debería ser de aproximadamente (607,8 KPa). Debido a dicha presión de licuefacción relativamente alta, la licuefacción de gas realizada a gran altura puede representar un desafío para un procedimiento de captura de carbono. Como se muestra, la separación del dióxido de carbono se puede llevar a cabo por licuefacción o

- solidificación. De acuerdo con algunas realizaciones, alcanzar cualquier punto por debajo de la temperatura del punto triple de aproximadamente -56 °C y tener presiones suficientemente altas, dará como resultado la solidificación del dióxido de carbono. Por el contrario, el aumento de la presión a temperaturas superiores al punto triple, por ejemplo aplicando presiones de 6-10 bar, dará como resultado la licuefacción del dióxido de carbono.
- 5 De acuerdo con algunas realizaciones, cualquier combinación de temperatura y presión dentro de los límites que permiten la licuefacción/solidificación del dióxido de carbono puede usarse durante la operación del sistema de captura de materia gaseosa 10.
- 10 De acuerdo con algunas realizaciones, dado que en altura la densidad del aire es aproximadamente un tercio de la del aire ambiente a nivel del mar, se puede usar al menos una etapa de compresión para aumentar la presión del aire entrante a partir de dicha presión típica en altura (0,2-0,8 bar) para alcanzar el rango que permita la solidificación/licuefacción del dióxido de carbono. El aumento de presión requerido puede multiplicarse por una relación de 3 a 50 al final de todas las etapas de compresión para alcanzar dicha presión de transición típica de 6-10 bar (607,8-1013 KPa).
- 15 De acuerdo con algunas realizaciones, cuando se alcanzan dichos niveles de presión, y dada una temperatura adecuada (aproximadamente -55 °C), es probable que se produzca una licuefacción del CO₂ contenido en el aire entrante procesado. Como alternativa, reducir aún más la temperatura entre 40 °C y 70 °C mientras se expone el aire entrante a una presión suficientemente alta dará como resultado principalmente la solidificación del CO₂ contenido en el aire entrante.
- 20 De acuerdo con algunas realizaciones, los cambios de presión o temperatura se pueden llevar a cabo durante una sola etapa de compresión/separación o durante varias etapas. De acuerdo con algunas realizaciones, cuando se usan varias etapas de compresión/separación como parte del proceso de captura de dióxido de carbono descrito anteriormente, el coeficiente de desempeño en el enfriamiento que representa parte de la eficiencia energética puede ser mayor.
- 25 De acuerdo con algunas realizaciones, Ahora se hace referencia a la figura 4B, que ilustra una gráfica combinada que representa muestras de concentraciones de CO₂ en el aire ambiente a diferentes altitudes (9-10 km) y varias temperaturas. Como se muestra, la concentración volumétrica de CO₂ permanece casi igual a grandes altitudes, es decir, ligeramente por debajo de 400 ppm en comparación con 411 al nivel del mar. Esto puede deberse al hecho de que los fuertes vientos proporcionan un flujo de aire constante y evitan la dilución del CO₂.
- 30 De acuerdo con algunas realizaciones, la gran altitud en la que la unidad aérea 100 está configurada para ubicarse representa una compensación entre las bajas temperaturas que permiten el uso de un menor consumo de energía para alcanzar la transición de fase de CO₂, junto con las bajas presiones generales, que aumentan el consumo de energía necesario para alcanzar la presión deseada con el fin de lograr la transición de fase de CO₂ ya sea por licuefacción o solidificación. Como se señaló anteriormente, la concentración de CO₂ en el aire ambiente a diferentes altitudes sigue siendo aproximadamente similar y no cambia significativamente la eficiencia del proceso de separación de CO₂.
- 35 De acuerdo con algunas realizaciones, y como se mostró anteriormente, comprimir el aire entrante que ingresa a los medios de separación 102 ubicados en la unidad aérea 100 a gran altura para alcanzar presiones de 6-10 bar (607,8-1013 KPa) da como resultado que el CO₂ se separe del flujo de aire entrante y se almacene en una forma líquida/sólida dentro de los medios de almacenamiento 106. Considerando la concentración volumétrica molar del gas (22,4 litros por mol) en condiciones estándar, en gran altitud donde el rango de temperatura es de aproximadamente -50 °C y la presión es de aproximadamente 0,25 bar (26,5 KPa), la concentración volumétrica molar del gas es ~70 litros por mol (22,4 L/mol, multiplicado por (223 °C/273 °C) para la corrección de temperatura y por (101,3 KPa/26,5 KPa) para la corrección de presión da como resultado 70 L/mol).
- 40 De acuerdo con algunas realizaciones, a una concentración de 400 ppm de CO₂, y dada una masa molar de 44 g/mol, es necesario comprimir 70*2500 (siendo 2500 el recíproco de 400 ppm) litros para llegar a un mol, (o 44 gramos). De acuerdo con lo anterior, para producir una tonelada de CO₂ se necesita comprimir aproximadamente 4 millones de metros cúbicos de aire ambiente.
- 45 Hoy en día, los compresores simples y económicos alcanzan caudales medidos en varios pies cúbicos por minuto, o varios litros por segundo. De acuerdo con eso, para llegar a un nivel de una tonelada métrica por día se requerirían varios compresores en paralelo.
- 50 De acuerdo con algunas realizaciones, es posible comprimir el aire que viaja con un viento típico de gran altitud de 100 km/h a través de un orificio que tiene un cierto diámetro, para alcanzar una alta capacidad, por ejemplo, 4 millones de m³ de caudal en menos que un día.
- 55 De acuerdo con algunas realizaciones, para introducir una solución global al cambio climático, y suponiendo que cada unidad aérea 100 sea capaz de manejar alrededor de una tonelada métrica de CO₂ capturada por día, un

- 5 hipotético sistema de captura de materia gaseosa 10 necesitará estar compuesto por 54 millones de unidades aéreas 100 para capturar todo el exceso de CO₂ introducido a la atmósfera en 2018. Considerando que cada unidad aérea 100 tiene un precio anual de 100 mil dólares, la solución completa de una captura anual de emisiones globales de CO₂ costará alrededor de 5 billones de dólares esta estimación no solo es mucho más baja que cualquier alternativa conocida, sino significativamente más baja que el daño económico esperado asociado con el cambio climático. Como referencia, el Panel Internacional sobre el Cambio Climático (IPCC) declaró que necesita 13 billones de dólares para revertir la tendencia creciente de las emisiones de carbono y reducirlas en 10 mil millones de toneladas de CO₂. Es decir, más del doble del costo por menos de la mitad del resultado.
- 10 10 Ahora se hace referencia a la figura 5 que ilustra una gráfica de líneas que representa las diferencias de temperatura que afectan la transición de fase del CO₂ de acuerdo con los datos atmosféricos estándar de EE. UU. Más particularmente, la gráfica de líneas representa la diferencia de temperaturas que afectan el inicio de la transición de fase del CO₂ capturado de acuerdo con la disminución de las temperaturas asociadas con el aumento de la altitud y las presiones más bajas/más altas.
- 15 15 De acuerdo con algunas realizaciones, en la capa de inversión (no mostrada, típicamente a altitudes de 11 a 13 kilómetros sobre el nivel del mar, pero que puede variar más allá de estos números en regiones ecuatoriales o polares), la diferencia de temperatura requerida disminuye a lo largo de las 3 líneas, y por lo tanto, la capa de inversión representa la altitud ideal para llevar a cabo la separación de gases a gran altura. De acuerdo con algunas 20 20 realizaciones, la temperatura ambiente en dicha capa de inversión es de aproximadamente -50 °C, y la presión ambiental es de aproximadamente 0,3 bar. Esto significa que para separar el CO₂ solidificándolo se requiere una reducción de aproximadamente 40 °C como se ve en la figura 4 que muestra que el punto de congelación del CO₂ es de aproximadamente -90 °C a 0,3 bar (30,3 KPa).
- 25 25 De acuerdo con algunas realizaciones, y como parte de la suposición de que la altura ideal para un proceso de separación de gases está en la capa de inversión o sus alrededores, existen algunos parámetros adicionales que pueden tenerse en cuenta. Debido al aumento de la presión del aire ambiente que se encuentra en dicha capa de inversión, se pueden habilitar varios métodos de separación de materia gaseosa usando procedimientos de separación física y química. Por ejemplo, el uso de tamices moleculares como estructuras orgánicas metálicas MOF, 30 30 zeolitas u otras sustancias designadas puede beneficiarse en términos de eficiencia de separación de gases debido a las presiones más altas que se producen en la capa de inversión o sus alrededores.
- 35 De acuerdo con algunas realizaciones, se describen las diferencias de temperatura requeridas a una altitud determinada para llevar a cabo el procedimiento de separación de gases de acuerdo con los datos atmosféricos 35 estándar de EE. UU.:
- 40 De acuerdo con algunas realizaciones, se proporciona un cálculo estimado para enfriar el aire a la temperatura de congelación del CO₂ o comprimirlo en forma líquida/sólida de la siguiente manera: Enfriar el aire entrante como parte de la operación del sistema de captura de materia gaseosa 10 requiere una temperatura del aire baja con suficiente masa de CO₂. Por ejemplo, para enfriar $m_{CO_2} = 100$ Kg, aproximadamente 40°K por debajo de la temperatura del aire ambiente, se requerirá $M_{tot} C_{air}^* (40°K)$, en donde $C_{air} \approx 0,71 \text{ KJ/KG}$, y por lo tanto el costo de energía es $7 \cdot 10^6 \text{ KJ}$, o en un periodo o en un día de 12 horas, 160KW. Además, la entalpía de sublimación (calor latente) es $\sim 590 \text{ KJ/Kg}$, lo que significa que se requieren 1,5 KW adicionales para la transición de fase, aunque esto 45 45 puede considerarse insignificante en comparación con la energía de enfriamiento total requerida.
- 50 De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, la eficiencia de enfriamiento está limitada de tal manera que para eliminar ~ 160 KW de calor de cierta masa de aire, y dando un coeficiente de rendimiento ideal de $COP = \frac{T_c}{T_h - T_c} \cong 4,5$ (dada una temperatura de congelación de -90 °C, o 183 °K, y una temperatura inicial de -50 °C, o 223 °K, puesta en la ecuación como Tc para la temperatura más baja y Th para la temperatura más alta), el cálculo sugerido puede, por cada vatio usado para eliminación de calor, eliminar aproximadamente 4,5 W del aire enfriado mediante un enfriamiento de una sola etapa a una diferencia de temperatura máxima, en donde varias etapas de enfriamiento aumentarán la eficiencia de dicho proceso de enfriamiento de acuerdo con una disminución en las diferencias de temperatura. Suponiendo que el enfriamiento promedio de varias etapas requiere aproximadamente 2W de potencia, el resultado es una energía requerida de ~ 80 KW.
- 55 55 De acuerdo con algunas realizaciones, los requisitos de energía mencionados anteriormente se pueden lograr aprovechando el área de superficie de la unidad de área 100. Por ejemplo, y usando una tecnología de películas de energía solar basadas en plástico disponibles comercialmente, se puede lograr una densidad de generación de energía de 100 Wp/m² por una unidad aérea 100 que tenga aproximadamente 10 metros de radio y aproximadamente 200 m² de superficie disponible en un momento dado para la generación de energía. Dicha área de superficie cubierta con películas de energía solar puede producir aproximadamente 40 KW de potencia que representa energía marginalmente suficiente a COPs (coeficiente de rendimiento) muy altos.
- 60 De acuerdo con algunas realizaciones, el aire procesado por la unidad de área 100 puede enfriarse hasta la 60 temperatura de congelación del CO₂ y el CO₂ capturado puede almacenarse en los medios de almacenamiento
- 65 De acuerdo con algunas realizaciones, el aire procesado por la unidad de área 100 puede enfriarse hasta la 65 temperatura de congelación del CO₂ y el CO₂ capturado puede almacenarse en los medios de almacenamiento

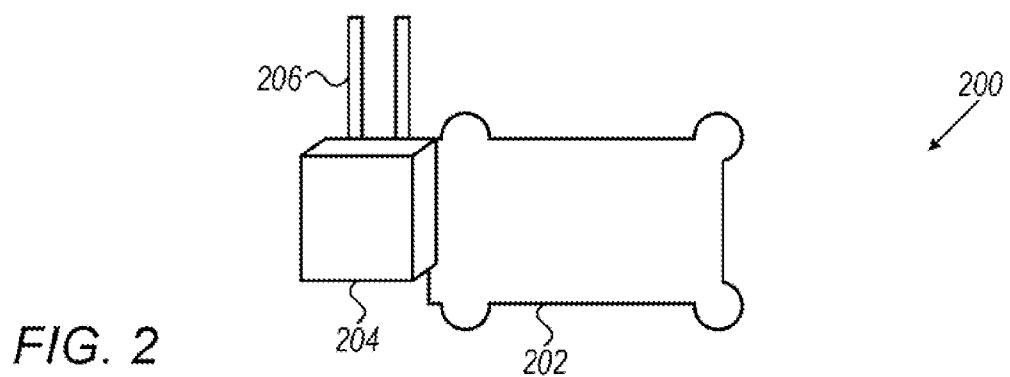
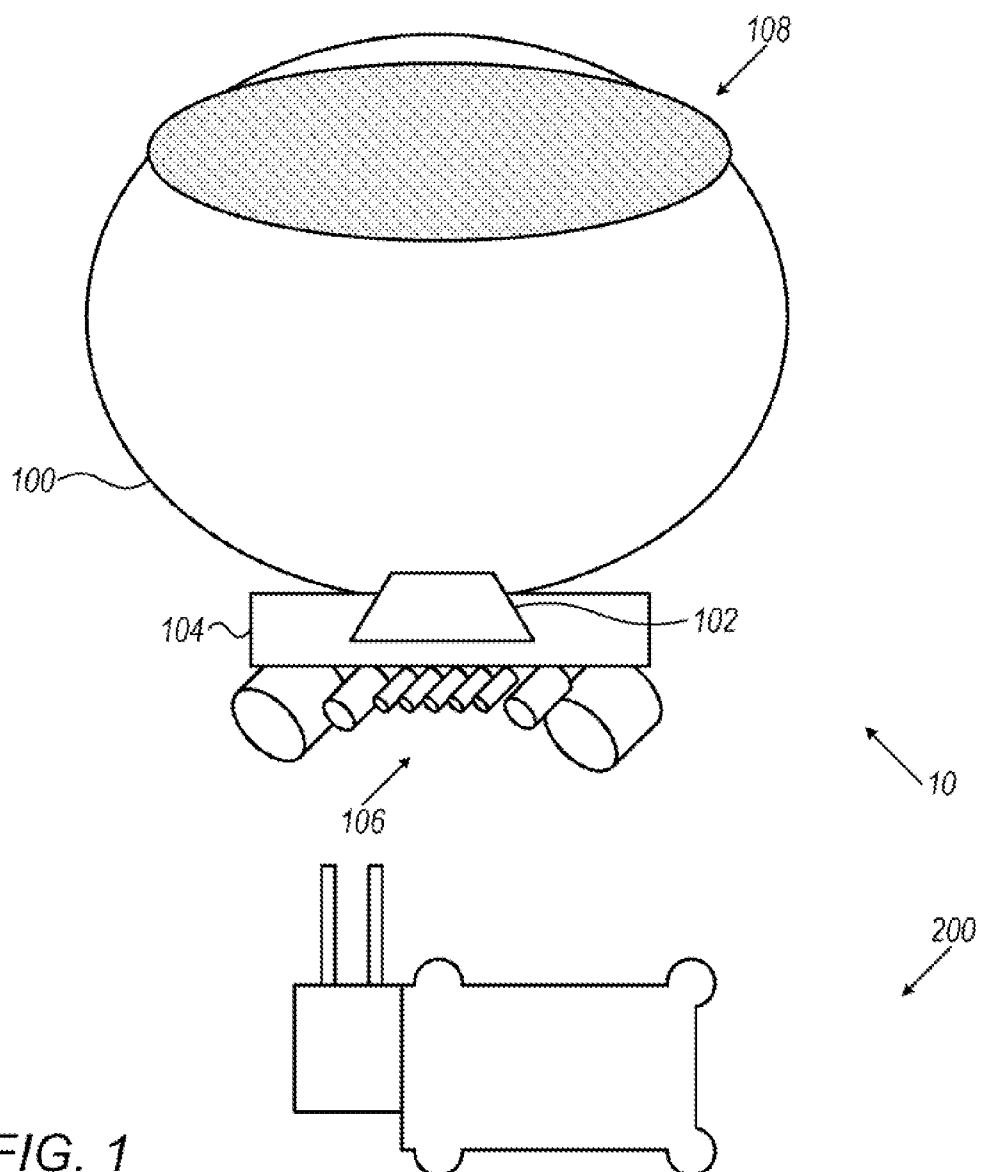
106. El CO₂ puede congelarse bajando su temperatura a un rango de -80 °C a -100 °C dependiendo de la presión del aire circundante. Dado que la temperatura ambiente en altitudes elevadas es donde la unidad de área 100 está configurada para operar es de alrededor de -50 °C, el componente de refrigeración potencial de la unidad de área 100 puede funcionar normalmente con una eficiencia de Carnot de ~3,5 a ~6,4 [COP$=T_c/(T_h-T_c)$] cuando la presión del aire es más baja y la transición de fase resultante es de -100 °C (colocando así los números en unidades de °K en la ecuación de COP, tal como 173 °K para la temperatura más baja y 223 °K para la temperatura más alta), el COP resultante es: 173/(223-173)=3,46 y cuando la presión del aire es más alta y la temperatura requerida resultante es -80 °C o 193 °K – 193/(223-193)=6,43].
- 5 10 De acuerdo con algunas realizaciones, para superar el calor de sublimación latente que se puede producir como parte del procedimiento de enfriamiento por aire, es necesario invertir al menos 200 J por cada gramo de CO₂, lo que significa que para una tasa de un gramo por segundo, es necesario eliminar 200 W de calor para superar el calor latente producido. De acuerdo con lo anterior, el límite superior de la tasa de congelación de CO₂ (dada una potencia de entrada de 1 KW) sería de 17,5 g por segundo (756 kg durante un período de 12 horas), despreciando todas las demás necesidades de energía. Al descartar el 20 % de esta eficiencia aproximada como una suposición razonable, obtenemos que 1 KW de potencia de entrada es suficiente para permitir una transición de fase de aproximadamente 3 gramos de CO₂ por segundo.
- 15 20 De acuerdo con algunas realizaciones, tal como parte de la operación de la unidad de área 100, se pueden usar técnicas de captura adicionales que usan sustancias que tienen una alta afinidad con el CO₂, que incluyen, entre otras, estructuras orgánicas metálicas (MOFs). El uso de tales técnicas aumentará la tendencia del CO₂ a enuncelarse sobre ellos y requieren menos volumen de aire para ser enfriados.
- 25 30 Ahora se hace referencia a las figuras 6A y 6B que ilustran una gráfica de líneas que representan la capacidad de absorción de adsorbentes para la captura de carbono con alta afinidad por el CO₂ de acuerdo con algunas realizaciones de la invención. Como se muestra, la figura 6A representa la capacidad de adsorción y la dinámica de absorción de CO₂ en zeolitas con respecto a varias presiones. La figura 6B representa una propiedad de absorción particular del compuesto MOF (ZIF-8) del CO₂ a diferentes temperaturas y presiones. Los resultados representados en las figuras 6A y 6B sugieren que cuando se usan los materiales antes mencionados, el efecto de la disminución de las temperaturas es más prominente que los valores de presión variable con respecto a la eficiencia de absorción de CO₂ de las sustancias antes mencionadas. En otras palabras, la capacidad de las sustancias antes mencionadas para absorber CO₂ aumenta drásticamente cuando la temperatura desciende hasta la temperatura promedio de la capa de inversión, tal como se describió anteriormente.
- 35 40 45 De acuerdo con algunas realizaciones, mediante el uso de otras sustancias y en otras circunstancias, las diversas oscilaciones de presión requeridas para adsorber y desorber un determinado gas separado pueden ser más prominentes. En tales casos y en otros, el despliegue de la unidad de área 100 a una altitud más baja con una mayor temperatura ambiente y una presión de aire más alta, o como alternativa, el despliegue de la unidad de área 100 a una altitud más alta, típicamente con una temperatura similar pero con una presión de aire más baja, puede tener un efecto crítico en la eficiencia de absorción del proceso de separación de gases realizado por la unidad de área 100. Por lo tanto, para algunas aplicaciones y realizaciones, el proceso de separación de gases puede llevarse a cabo a una temperatura ambiente tan alta como aproximadamente -10 °C y a una altitud típica de aproximadamente 5 km sobre el nivel del mar. Como alternativa, y de acuerdo con algunas realizaciones, en una altitud mayor de aproximadamente 15 km, la presión puede caer a aproximadamente 0,2 bar (20,2 KPa) mientras aún permite un proceso de separación de gases con el beneficio de disminuir la energía requerida para la reducción de presión como parte de los procesos de desorción.
- 50 Aunque la presente invención se ha descrito con referencia a realizaciones específicas, esta descripción no pretende interpretarse en un sentido limitado. Varias modificaciones de las realizaciones descritas, así como realizaciones alternativas de la invención, resultarán evidentes para los expertos en la técnica con referencia a la descripción de la invención. Por lo tanto, se contempla que las reivindicaciones adjuntas cubrirán dichas modificaciones que caen dentro del alcance de la invención.

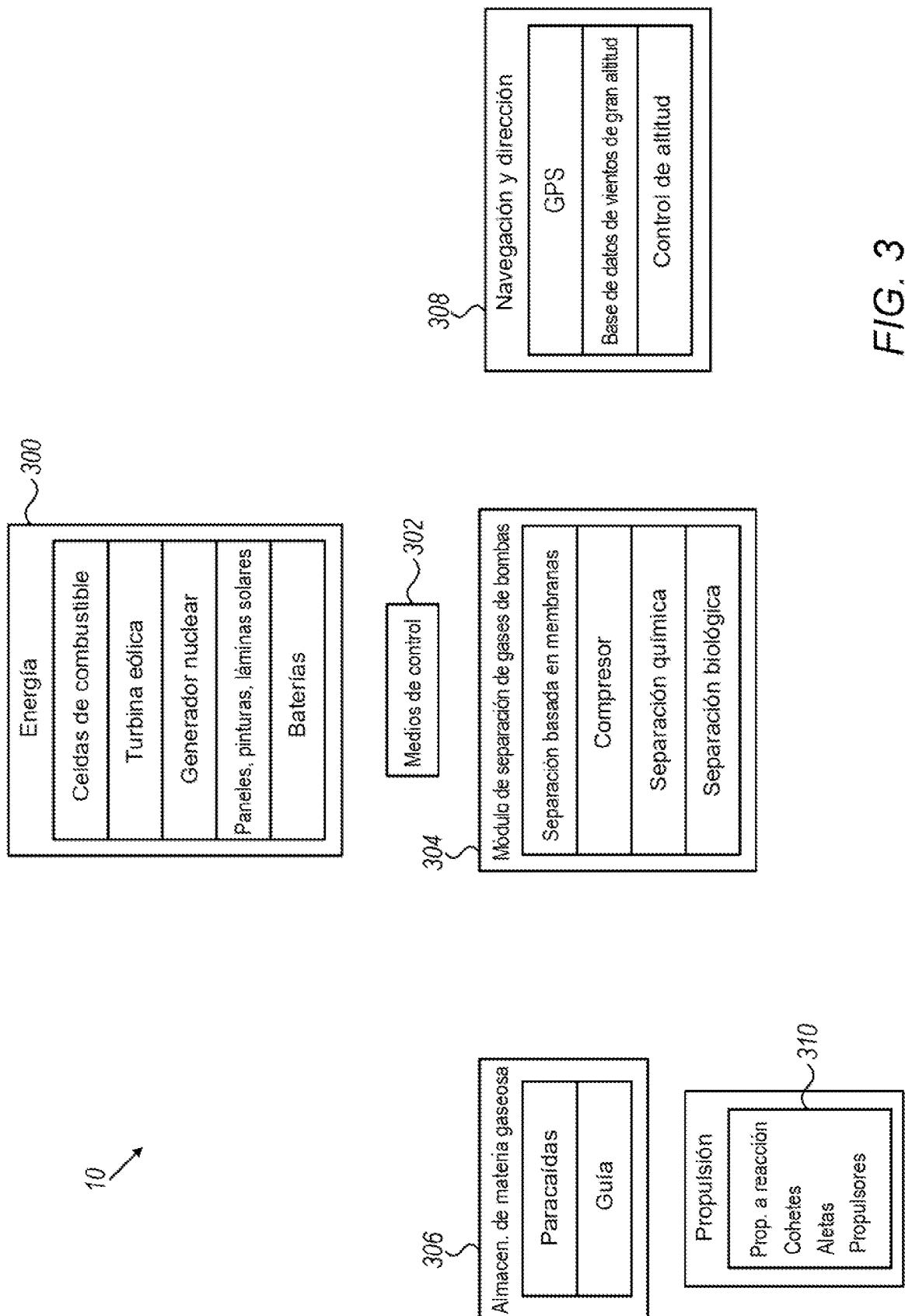
REIVINDICACIONES

1. Un sistema de captura de materia gaseosa, que comprende:

- 5 (i) por lo menos una unidad aérea (100) configurada para ser aerotransportada;
 - (ii) por lo menos una unidad no aérea (200);
 - (iii) por lo menos un medio de separación de gases (102) configurado para ser transportado por la unidad aérea en donde el por lo menos un medio de separación de gases es operable mientras la unidad aérea está en el aire a un rango de altitud de 5-15 km y en donde el por lo menos un medio de separación de gases comprende por lo menos un aparato de aumento de presión, en donde el por lo menos un medio de separación de gases está configurado para separar del aire por lo menos una materia gaseosa designada;
 - 10 (v) medios de almacenamiento (106) configurados para ser transportados por la unidad aérea, incluyendo por lo menos un contenedor de gas comprimido, estando la por lo menos una materia gaseosa separada configurada para ser almacenada en el por lo menos un contenedor de gas comprimido, en donde el por lo menos un contenedor de gas comprimido comprende medios de guía configurados para guiar el por lo menos un contenedor de gas comprimido de la unidad aérea a la unidad no aérea, y el por lo menos un contenedor de gas comprimido está configurado para ser liberado de la unidad aérea y llegar a la unidad no aérea;
 - 15 (vi) un controlador (104) configurado para controlar la operación del sistema; y
 - (vii) una fuente de energía configurada para permitir la operación del sistema.
- 20 2. El sistema de la reivindicación 1, en donde el por lo menos un medio de separación de gases (102) comprende catalizadores biológicos configurados para utilizar el proceso de separación de gases.
- 25 3. El sistema de la reivindicación 1, en donde la unidad aérea (100) está configurada para adaptarse a un vehículo aéreo o integrarse en los medios de propulsión de un vehículo aéreo.
- 30 4. El sistema de la reivindicación 1, en donde la unidad no aérea (200) comprende un área de aterrizaje designada (202) configurada para capturar el por lo menos un contenedor de gas comprimido.
- 35 5. El sistema de la reivindicación 1, en donde la unidad no aérea (200) está configurada para utilizar la por lo menos una materia gaseosa separada almacenada capturada por la unidad aérea (100).
6. El sistema de la reivindicación 1, en donde el controlador (104) está configurado además para generar comandos de navegación con el fin de controlar la unidad aérea.
- 35 7. El sistema de la reivindicación 1, en donde el por lo menos un medio de separación de gases (102) comprende además un compresor de aire configurado para aumentar la presión de aire que fluye dentro de 6-10 bar por encima de la presión del aire ambiente.
- 40 8. El sistema de la reivindicación 1, en donde la unidad aérea aerotransportada (100) está configurada para aprovechar las bajas temperaturas encontradas a gran altura con el fin de licuar o solidificar la materia gaseosa designada.
- 45 9. El sistema de la reivindicación 1, en donde el por lo menos un medio de separación de gases (102) transportado por la unidad aérea aerotransportada (100) está configurado para aprovechar el viento a gran altura con el fin de aprovechar una presión del flujo de aire entrante para el propósito de separación de gases.
- 50 10. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde la energía potencial almacenada dentro del aire comprimido puede utilizarse adicionalmente por el sistema de captura de materia gaseosa.
- 55 11. El sistema de la reivindicación 1, en donde la materia gaseosa separada es dióxido de carbono y la unidad aérea está configurada para capturar dicho dióxido de carbono utilizando un proceso de transición de fase en un rango de temperaturas de -100 °C a -10 °C y un rango de presiones de 0,2-10 Bar.
- 55 12. Un método para capturar materia gaseosa utilizando un sistema de captura de materia gaseosa como se define en el texto de las reivindicaciones 1-11, que comprende las etapas de:
- 60 (i) separar del aire por lo menos una materia gaseosa utilizando por lo menos un medio de separación de gases (102) transportado por una unidad aérea aerotransportada (100), mientras la unidad aérea está en el aire a un rango de altitud de 5-15 km, comprendiendo el por lo menos un medio de separación de gases por lo menos un aparato de aumento de presión,
 - (ii) almacenar la por lo menos una materia gaseosa separada y comprimida dentro de medios de almacenamiento (106) transportados por la unidad aérea aerotransportada, incluyendo los medios de almacenamiento por lo menos un contenedor de gas comprimido,
 - 65 (iii) transferir la materia gaseosa separada y comprimida almacenada a una unidad no aéreas (200) liberándola del por lo menos un contenedor de gas comprimido de la unidad aérea para llegar a una unidad no aérea y

utilizar medios de guía comprendidos en el por lo menos un contenedor de gas comprimido y configurados para guiar el por lo menos un contenedor de gas comprimido de la unidad aérea a la unidad no aérea.





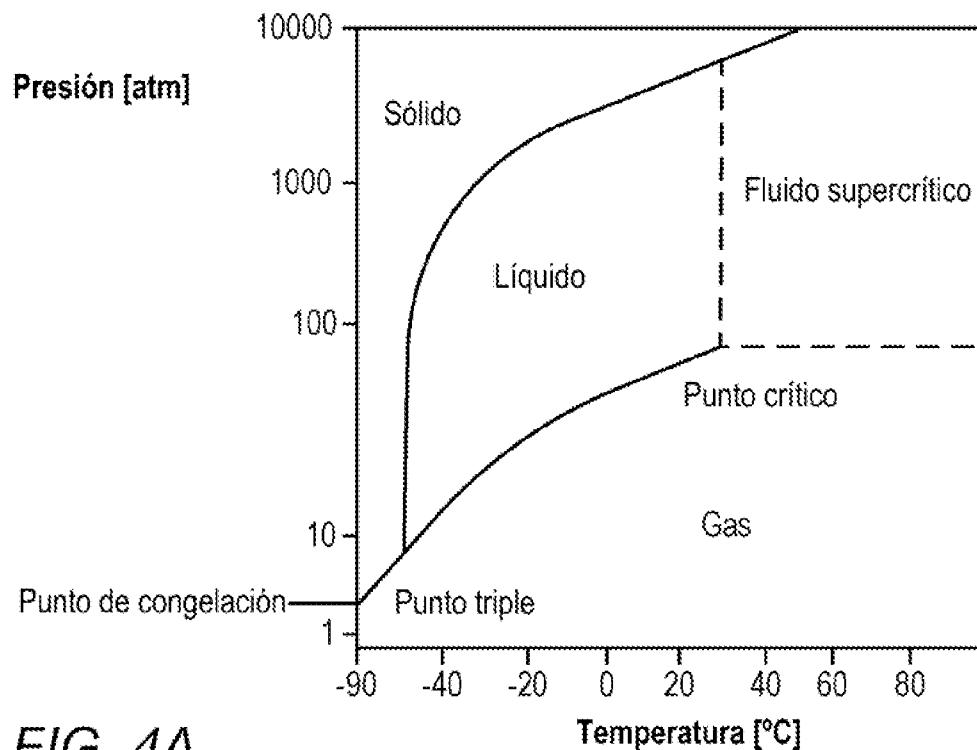


FIG. 4A

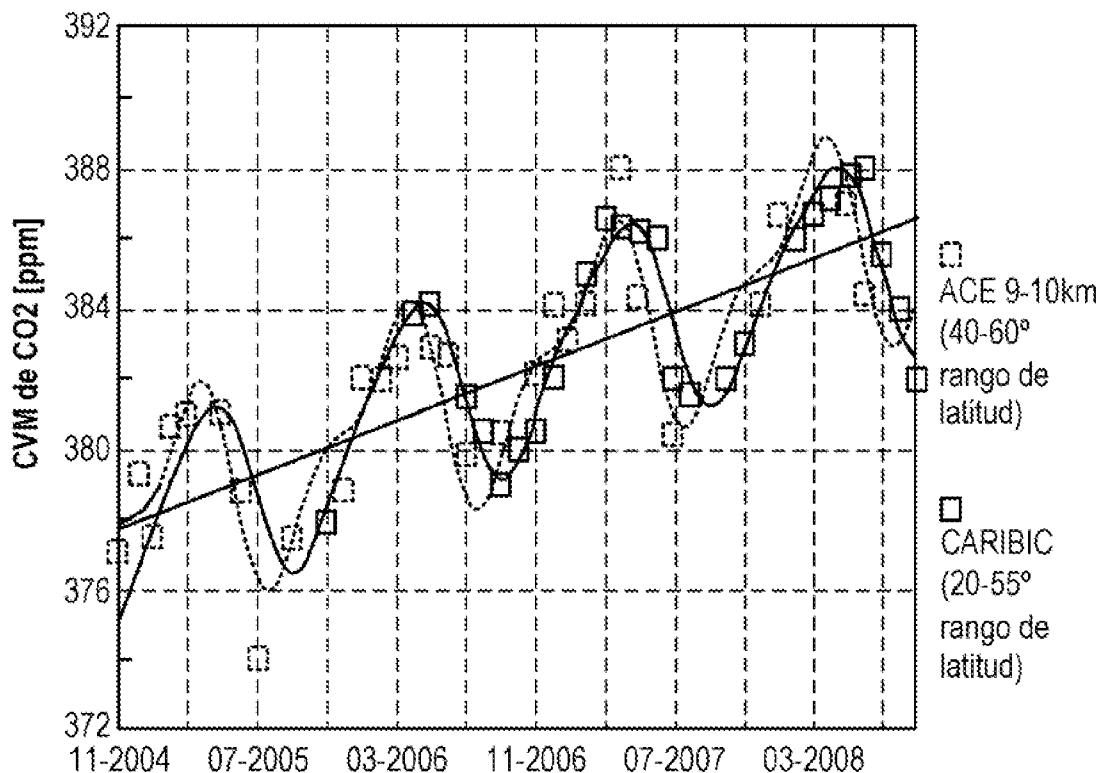


FIG. 4B

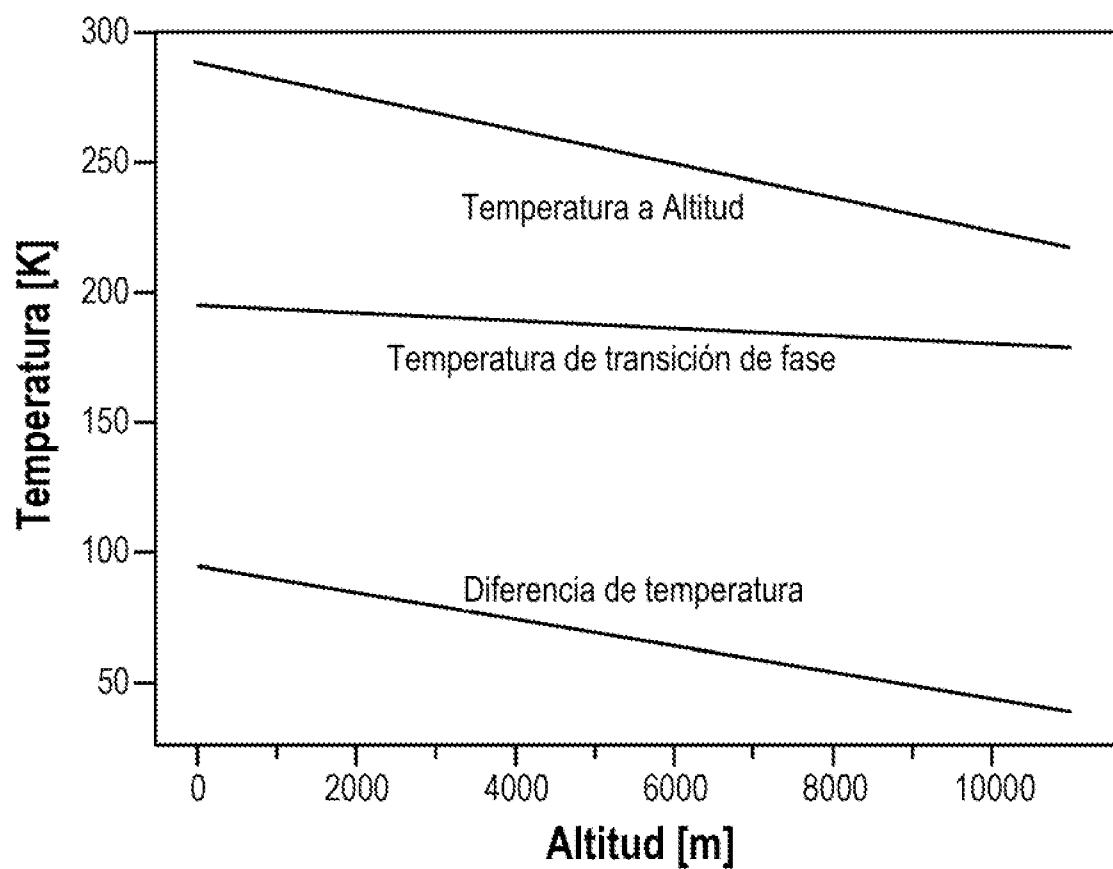


FIG. 5

FIG. 6A

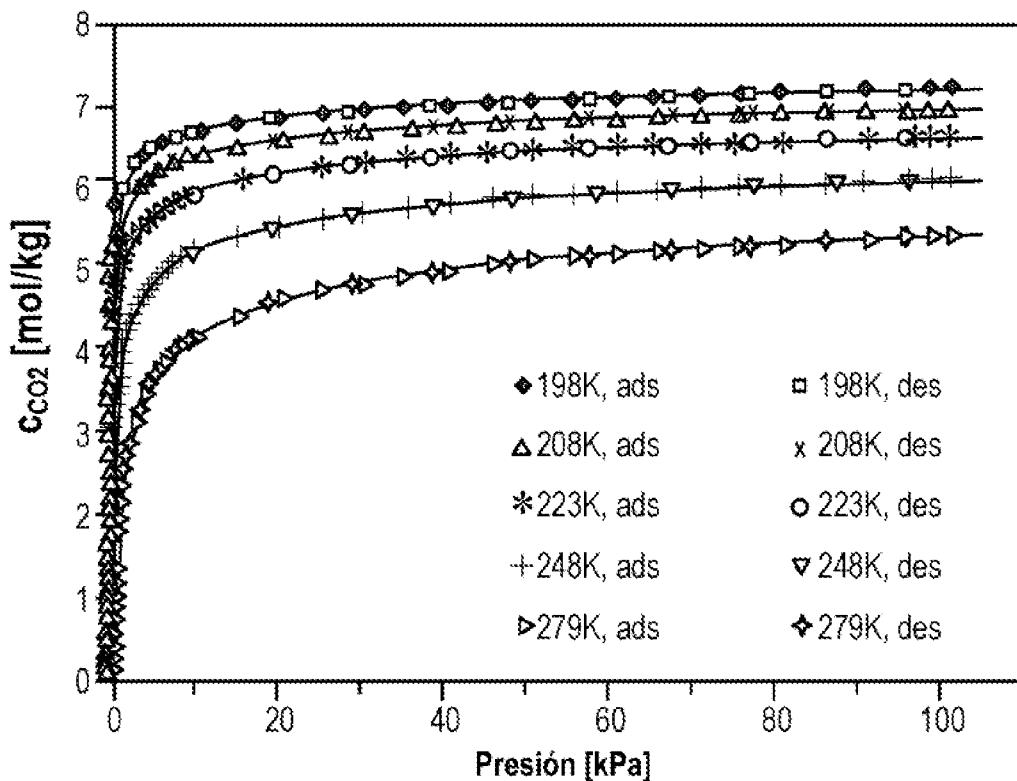


FIG. 6B

