

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 616 028**

51 Int. Cl.:

**B01D 53/62** (2006.01)

**B01D 53/92** (2006.01)

**F01N 3/02** (2006.01)

**F01N 3/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.01.2012 PCT/US2012/022008**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.07.2012 WO2012100149**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.01.2012 E 12736166 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.11.2016 EP 2665544**

54 Título: **Método de adsorción reversible sobre sólido y sistema que utiliza calor residual para recuperación y almacenamiento a bordo de CO<sub>2</sub>**

30 Prioridad:

**20.01.2011 US 201161434694 P**

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

**09.06.2017**

73 Titular/es:

**SAUDI ARABIAN OIL COMPANY (100.0%)  
Box 5000  
Dhahran 31311, SA**

72 Inventor/es:

**HAMAD, ESAM, ZAKI y  
AL-SADAT, WAJDI, ISSAM**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 616 028 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**

Método de adsorción reversible sobre sólido y sistema que utiliza calor residual para recuperación y almacenamiento a bordo de CO<sub>2</sub>

5 Campo de la invención

La invención se refiere a la reducción de emisiones de dióxido de carbono de la corriente de gases de escape de vehículos propulsados por motores de combustión interna y otros motores térmicos que producen calor residual.

10 Antecedentes de la invención.

El pensamiento aceptado en la actualidad es que el calentamiento global se debe a emisiones de gases de efecto invernadero tales como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>). En la actualidad, se estima que aproximadamente una cuarta parte de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> de origen humano provienen de fuentes móviles, es decir, automóviles, camiones, autobuses y trenes que están impulsados por un motor de combustión interna (ICE). Esta contribución proporcional es posible que crezca rápidamente en un futuro previsible con la oleada proyectada de propietarios de automóviles y camiones en los países desarrollados. En la actualidad, el sector del transporte es el mercado principal para el petróleo, y el control de las emisiones de CO<sub>2</sub> es tanto una responsabilidad medioambiental como un objetivo deseable con el fin de mantener la viabilidad del mercado del petróleo en el sector del transporte ante los desafíos de tecnologías alternativas, por ejemplo, vehículos propulsados por motores eléctricos y baterías de almacenamiento.

25 El control del dióxido de carbono de las fuentes móviles presenta numerosos desafíos que incluyen las limitaciones de espacio y peso, la carencia de economías de escala y la naturaleza dinámica de la operación de los ICE que impulsan las fuentes móviles.

Los métodos de la técnica anterior para la captura de CO<sub>2</sub> de gases de combustión se han centrado principalmente en fuentes estacionarias, tales como centrales eléctricas. Los que abordan el problema de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de las fuentes móviles emplean combustión que usa oxígeno, no proporcionan ningún medio para la regeneración y reutilización del agente de captura de CO<sub>2</sub>, y/o no hacen ningún uso del calor residual recuperado de la fuente térmica. La combustión que usa oxígeno requiere separar oxígeno-nitrógeno que requiere mucha más energía que separar CO<sub>2</sub> de los gases de escape y sería más difícil si se intenta a bordo del vehículo.

35 Estando centrada la atención de la tecnología de captura de CO<sub>2</sub> en fuentes estacionarias, o fijas, la captura de CO<sub>2</sub> de fuentes móviles se ha considerado generalmente demasiado cara, dado que implica un sistema distribuido con una economía inversa de escala. La solución al problema parece ser poco práctica debido a las limitaciones de espacio a bordo en el vehículo, los requisitos adicionales de energía y aparatos y la naturaleza dinámica del ciclo de operación del vehículo, por ejemplo, períodos intermitentes de aceleración y deceleración rápidas.

40 El documento de solicitud de Patente JP 2007-177684 A desvela un sistema para adsorber CO<sub>2</sub> de gases de escapes emitidos por un ICE, por compresión de dichos gases en el presente de un material adsorbente de CO<sub>2</sub>; el adsorbente se regenera a continuación mediante desorción de CO<sub>2</sub> por contacto con un tubo de refrigeración del motor, explotando de ese modo el calor generado por el motor. El documento de Patente EP 1 992 799 A2 describe un sistema para la recuperación de CO<sub>2</sub> en un vehículo en el que el CO<sub>2</sub> de los gases de escape se comprime directamente por medio de un compresor y se almacenan posteriormente en un vaso presurizado.

50 Por lo tanto, es un objetivo de la presente invención proporcionar un método, sistema y aparato que aborde los problemas de reducir de forma eficaz y rentable las emisiones de CO<sub>2</sub> de vehículos mediante el almacenamiento a bordo temporal del CO<sub>2</sub>. La capacidad para la producción de masa de tales sistemas compensará al menos parcialmente otros costes asociados a la naturaleza distribuida de estas fuentes móviles.

55 Como se usa en el presente documento, la expresión motor de combustión interna, o ICE, incluye motores térmicos en los que se quema un combustible que contiene carbono para producir energía o trabajo y generan calor residual que se debe eliminar o disipar.

60 Como se usa en el presente documento, la expresión "fuente móvil" significa cualquiera de una amplia diversidad de medios de transporte que se pueden usar para transportar mercancías y/o pasajeros que están propulsados por uno o más motores de combustión interna que producen una corriente de gases de escape que contiene CO<sub>2</sub>. Esto incluye todos los tipos de vehículos a motor que viajan por tierra, aviones y navíos donde el escape del ICE se descarga en un conducto contenedor antes de que se descargue a la atmósfera.

65 El término "vehículo", como se usa en el presente documento, se ha de entender que es una abreviatura y un sinónimo convenientes de "fuente móvil" y es coextensivo a "medios de transporte", generalmente, como se ha usado el término anteriormente.

Como se usa en el presente documento, las expresiones "agente de captura de CO<sub>2</sub>" y "agente de captura" significan un material o composición adsorbente sólida que extrae y retiene reversiblemente el CO<sub>2</sub> extraído de la corriente de gases de escape de un ICE. También se incluyen materiales sólidos que se han revestido y/o impregnado con una composición adsorbente líquida. La expresión también puede significar un reactivo que reacciona reversiblemente con el CO<sub>2</sub> para formar un nuevo compuesto.

Como se usa en el presente documento, la expresión "calor residual" es el calor que produce un motor habitual que está contenido principalmente en los gases de escape calientes (~300 °C-650 °C) y en el refrigerante caliente (~90 °C-120 °C). El calor adicional se emite y se pierde por convección y radiación del bloque de motor y sus componentes asociados, y otros componentes a través de los que pasan los gases de escape, incluyendo el colector, tuberías, convertidor catalítico y silenciador. Esta energía térmica totaliza aproximadamente un 60 % de energía que proporcionan los combustibles de hidrocarburo (HC) habituales.

#### Sumario de la invención

La invención comprende ampliamente un método de acuerdo con la reivindicación 1 y un sistema de acuerdo con la reivindicación 12 para el tratamiento a bordo de una corriente de escape que contiene CO<sub>2</sub> emitido por un motor de combustión interna (ICE) alimentado por hidrocarburos usado para propulsar el vehículo con el fin de reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> descargado a la atmósfera.

La presente invención soluciona los problemas de limitación de espacio y requisitos de energía auxiliar mediante el uso de la energía libre que está disponible a bordo del vehículo en forma de calor residual para capturar CO<sub>2</sub> y aumentar su densidad para almacenamiento temporal hasta repostar. La presente invención consiste en (a) un método de separación por adsorción que utiliza un agente de captura para retirar la totalidad o una parte considerable del CO<sub>2</sub> de los gases de escape del motor; (b) la recuperación de CO<sub>2</sub> básicamente puro y la regeneración del agente de captura usando parte del calor residual del motor; (c) la conversión de parte del calor residual del motor en energía, es decir, energía en forma de trabajo; y (d) el uso de esta energía para aumentar la densidad del CO<sub>2</sub> capturado para el almacenamiento temporal a bordo. El uso del calor residual para proporcionar la energía para la captura, regeneración y densificación reduce considerablemente el coste de captura y la densificación reducirá el requisito de volumen para el almacenamiento temporal a bordo del CO<sub>2</sub>.

La invención comprende además el uso opcional de cierta parte del trabajo del motor para operar un compresor de CO<sub>2</sub>. El trabajo del motor se podría utilizar cuando el motor está operando en el modo de deceleración y serviría para ralentizar el motor, y cuando el motor está inactivo. Se pueden utilizar un procesador y un controlador a bordo para acoplar el enlace de accionamiento del compresor al motor en condiciones de operación del motor predeterminadas.

La invención se puede usar en una amplia diversidad de fuentes móviles tales como vehículos de pasajeros, camiones, autobuses, vehículos pesados, trenes, navíos y similares que operan por combustión de combustibles basados en fósiles o de hidrocarburo. El sistema y el aparato de la invención se pueden instalar en fuentes móviles nuevas y/o por readaptación de fuentes móviles existentes.

La presente invención se basa en la integración de diversos componentes para formar un sistema para la captura, densificación y almacenamiento temporal posterior eficaces de CO<sub>2</sub> posterior a la combustión, a bordo del medio de transporte usando calor residual recuperado del ICE del vehículo. El sistema puede incluir (a) una zona de adsorción/separación para la captura de CO<sub>2</sub> de los gases de escape del motor; (b) una zona de regeneración para la liberación de CO<sub>2</sub> del agente de captura que usa parte del calor residual del motor; (c) una zona de conversión donde parte del calor residual se convierte en energía (energía en forma de trabajo); y (d) una zona de densificación donde la energía derivada del calor residual se emplea para aumentar la densidad del CO<sub>2</sub> capturado para el almacenamiento temporal a bordo. En la práctica del método de la invención, la totalidad o una parte considerable de los requisitos de energía para operar el sistema provienen del calor residual del motor.

El calor residual que produce un motor habitual consiste principalmente en gases de escape calientes a una temperatura en el intervalo de ~300 °C a 650 °C y refrigerante caliente a una temperatura de ~90 °C a 120 °C. Como se muestra en el diagrama de la Figura 1, esta energía térmica totaliza aproximadamente un 60 % de la energía que producen los combustibles de hidrocarburo (HC) habituales tras su combustión en un ICE. La energía se necesita para separar el CO<sub>2</sub> de los gases de escape y para comprimir, licuar o congelar la totalidad o parte del CO<sub>2</sub> capturado para el almacenamiento eficaz a bordo. Esta energía es habitualmente una mezcla de trabajo y energías térmicas. El componente de trabajo de la energía se genera usando parte del calor residual para producir este trabajo. Cierta parte del calor residual se puede usar para regenerar cualquier material usado en la separación del CO<sub>2</sub> tal como un adsorbente o un carbonato sólido que se forma como producto de reacción.

La separación del CO<sub>2</sub> de los gases de escape tiene lugar mediante uno o más de los procesos reversibles de adsorción física, adsorción química, y/o una reacción química para formar carbonatos u otros compuestos. Estos mecanismos se conocen bien en el campo, y algunos se muestran de forma esquemática en las Figuras 2 y 3. Como se ilustra en la Figura 2, aproximadamente un 60 % del valor de energía del combustible se convierte en calor

residual, parte del cual se puede usar para la desorción del CO<sub>2</sub> y la regeneración del agente de captura y para generar energía eléctrica y otras formas de energía, o el trabajo requerido para comprimir el CO<sub>2</sub>. La Figura 3 ilustra un ejemplo del uso del calor de los gases de escape para la desorción de CO<sub>2</sub> y la regeneración del agente de captura. También se retira agua en forma de condensado de los gases de escape refrigerados y los gases de escape de contenido reducido de CO<sub>2</sub> se descargan a la atmósfera.

El uso específico del espacio limitado que puede estar disponible a bordo de las fuentes móviles requiere el análisis minucioso de numerosos parámetros. La regeneración del agente de captura tendrá lugar preferentemente a bordo mediante procesos de oscilación de temperatura u oscilación de presión. Sin embargo, en el caso de que el agente de captura posea una capacidad muy elevada que sirva tanto para capturar como para densificar el CO<sub>2</sub>, la regeneración se puede completar durante el repostaje o en una estación fija. En el último caso, los requisitos de temperatura de regeneración, y/o las condiciones de transferencia térmica no se pueden conseguir de forma práctica a bordo del vehículo. El material adsorbente se puede mantener en un cartucho u otro recipiente extraíble que se pueda retirar para regeneración en una instalación apropiada. Se pueden instalar múltiples cartuchos en paralelo para prolongar la operación del vehículo.

Las etapas de regeneración y densificación también pueden transcurrir de forma simultánea. Si se calienta un agente de captura, comenzará a liberar CO<sub>2</sub>. Si el CO<sub>2</sub> no se retira o no se le da espacio para expandirse, entonces se acumulará CO<sub>2</sub> a alta presión y alta temperatura. En este caso, la regeneración del agente de captura no será tan completa como cuando se retira el CO<sub>2</sub> liberado.

De acuerdo con el proceso de la técnica anterior, la operación de la oscilación entre los lechos o celdas de adsorción y desorción se basa en la monitorización de la composición del efluente. La superación de una concentración predeterminada de CO<sub>2</sub> del lecho de adsorbente indica la saturación completa o casi completa del material adsorbente. De forma similar, una concentración disminuida o mínima de CO<sub>2</sub> en el flujo del lecho de desorción indica la finalización de la regeneración del material adsorbente.

De acuerdo con la presente invención, se han desarrollado nuevos criterios para determinar cuándo terminar el flujo de la corriente de gases de escape al adsorbente y comenzar la etapa de desorción asociada. Los nuevos criterios se basan en el perfil de temperatura y presión en las celdas de adsorción y desorción. Un aumento de la temperatura del adsorbente en la celda de adsorción indica adsorción continuada, mientras que un aumento de presión en la celda de desorción indica regeneración continuada de CO<sub>2</sub>. Esta estrategia de control de proceso es nueva en que depende de los indicadores de temperatura y presión para intercambiar entre las celdas de adsorción y desorción, en lugar de las medidas de concentración de CO<sub>2</sub>.

La determinación de los perfiles de temperatura y presión para un sistema específico se puede basar en datos empíricos obtenidos durante el ensayo a lo largo de la vida de ciclo útil del adsorbente. Los puntos de oscilación se pueden basar en la temperatura o la presión, o ambas. El punto de oscilación también se puede basar en la tasa de cambio de la temperatura o la presión o ambas. Tales determinaciones están dentro de las habilidades en la técnica y se pueden basar en datos de sensores ubicados en las celdas y en contacto con el material adsorbente.

En una realización preferente, el CO<sub>2</sub> liberado del agente de captura en una unidad de tubo y carcasa creará una presión positiva y la entrada del compresor producirá una zona de baja presión corriente abajo, dando como resultado de ese modo el flujo de la corriente de gas de CO<sub>2</sub> desorbido para compresión. Cuando se ha desorbido una cantidad determinada de CO<sub>2</sub>, la unidad de adsorción se puede devolver al servicio, y recibir la corriente de escape del motor.

La formación de CO<sub>2</sub> denso para el almacenamiento temporal eficaz a bordo se consigue por compresión, licuefacción o por congelación del gas en una forma sólida de CO<sub>2</sub>, o hielo seco. La densidad final del CO<sub>2</sub> estará en el intervalo de 5-1600 kg/m<sup>3</sup>, dependiendo de su estado, es decir, gas, líquido y/o sólido. Al menos una parte de la energía total en forma de trabajo requerida para la densificación se obtiene del calor residual usando conversión de calor en energía.

Durante la puesta en marcha del ciclo de captura de CO<sub>2</sub>, o para cumplir el requisito de otras necesidades operacionales especiales, se puede usar parte de la energía del motor o, alternativamente, la electricidad almacenada en baterías a bordo. Durante la operación normal en estado estacionario del sistema, al menos una parte de la energía requerida para la captura y densificación de CO<sub>2</sub> provendrá del calor residual del ICE.

Una ventaja que posee la presente invención con respecto a los procesos de la técnica anterior para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de fuentes fijas es la capacidad disponible de calor residual a una temperatura relativamente alta o moderada. El coste de la energía térmica es el gasto principal de la captura de CO<sub>2</sub> de fuentes fijas debido a que la temperatura de los gases de escape de una instalación de generación eléctrica alimentada por carbón o gas se ha reducido con el fin de maximizar los valores de energía del combustible y minimizar la descarga de calor residual al medio ambiente.

Breve descripción de las figuras

La invención se describirá a continuación adicionalmente y por referencia a las figuras adjuntas en las que los elementos iguales o similares se identifican mediante el mismo número, y en las que:

- 5 la Figura 1 es una ilustración esquemática de la conversión de energía de combustible de hidrocarburo en calor y energía, o trabajo, mediante un motor de combustión interna habitual;
- 10 la Figura 2 es una ilustración esquemática que incorpora la Figura 1 y el método de la presente invención;
- la Figura 3 es una ilustración esquemática de una realización del método y aparato empleado en el sistema de la presente invención operado en modo de oscilación, usando el calor residual del ICE para regenerar el agente de captura;
- 15 la Figura 4 es una ilustración esquemática de una realización de un sistema y aparato con dos subsistemas de captura/regeneración de CO<sub>2</sub> y sistemas de recuperación de calor representativos;
- 20 la Figura 4A es una ilustración esquemática del sistema de la Figura 4 en la etapa del ciclo de operación en la que uno de los subsistemas de captura de CO<sub>2</sub> se regenera y el otro extrae CO<sub>2</sub> de la corriente de gases de escape refrigerados;
- la Figura 4B es una ilustración esquemática similar a la Figura 4A en la que las funciones de los subsistemas están invertidas;
- 25 la Figura 5 es una ilustración esquemática de otra realización de un sistema con dos subsistemas en paralelo y representativa de dispositivos de recuperación de calor;
- la Figura 5A es una ilustración esquemática del sistema de 5A configurado regenerándose uno de los subsistemas y extrayendo CO<sub>2</sub> el otro de la corriente de gases de escape;
- 30 la Figura 5B es una ilustración esquemática similar a la Figura 5A en la que las funciones de los subsistemas están invertidas;
- 35 la Figura 6 es un diagrama que ilustra la variación habitual de la capacidad de adsorción de CO<sub>2</sub> con respecto a temperatura de operación de compuestos sólidos de metal alcalinotérreo y metal alcalino.
- la Figura 7 es un diagrama que ilustra el aumento en la capacidad de adsorción de CO<sub>2</sub> de un compuesto adsorbente de aluminato sólido con la temperatura para una corriente de gas de CO<sub>2</sub> con y sin vapor de agua.
- 40 la Figura 8 es una ilustración esquemática de una realización de un sistema operado de acuerdo con el método de la invención para la desorción de CO<sub>2</sub> de una de una pareja de celdas que contiene un adsorbente sólido;
- la Figura 9 es una ilustración esquemática del sistema de la Figura 8 para la adsorción de CO<sub>2</sub> en la otra de la pareja de células;
- 45 la Figura 10 es una ilustración esquemática del sistema de la Figura 8 en el que la corriente de gases de escape se muestra derivando las celdas;
- 50 la Figura 11 es un diagrama de flujo de proceso de una realización de un protocolo por etapas para su uso con la puesta en marcha y el apagado de un sistema de la presente invención;
- la Figura 12 es un diagrama de flujo de proceso de una realización de un protocolo por etapas para el control de un proceso y aparato de desorción en un sistema de la presente invención;
- 55 la Figura 13 es un diagrama de flujo de proceso de una realización de un protocolo por etapas para el control de la activación de la derivación del proceso y aparato que corresponde a las Figuras 10-12 y
- la Figura 14 es un diagrama de flujo de proceso para una realización de un protocolo por etapas para el control de soplador en un sistema de la presente invención como se representa en las Figuras 8-12.

60 Descripción detallada de la invención

La invención se describirá por referencia a realizaciones en las que el CO<sub>2</sub> gaseoso se extrae de los gases de escape del motor hasta que se alcanza la capacidad del agente de captura y a continuación el CO<sub>2</sub> se recupera del agente de captura, que se regenera simultáneamente. El CO<sub>2</sub> que se recupera en forma de una corriente gaseosa se comprime a continuación para almacenamiento en forma de gas, líquido y/o sólido. Parte o la totalidad de la

energía requerida para algunas o todas las etapas deriva del calor recuperado de la corriente de escape del motor, que se puede usar directamente para la regeneración del agente de captura y/o convertir en electricidad o trabajo mediante otros dispositivos convencionales.

5 En una realización de la presente invención que se ilustra de forma esquemática en la Figura 4, se muestra un sistema y aparato adecuado en el que se puede adsorber CO<sub>2</sub> de la corriente de escape después de que el escape pase a través de un dispositivo de recuperación de calor. Las líneas discontinuas en las respectivas celdas indican las rutas de flujo del fluido en los conductos a los que están en conectados. El método de operación y las rutas de flujo de gas se ilustran en figuras posteriores. El sistema se muestra de forma ilustrativa con dos subsistemas, o  
10 celdas; sin embargo, se pueden usar subsistemas adicionales basándose en la capacidad del agente de captura, los caudales de los gases de escape y otras características del sistema. Cada subsistema puede tener un diseño similar a un intercambiador de calor de tubo y carcasa donde el agente de captura se coloca como lecho fijo en cada uno de una pluralidad de tubos. El agente de captura también se puede colocar en el lado de la carcasa de la celda en cuyo caso los gases que se calientan y enfrían se hacen pasar a través de los tubos.

15 Las Figuras 4A y 4B demuestran el método de operación de oscilación entre las dos celdas, donde el CO<sub>2</sub> se captura en una celda (la celda de adsorción) mientras que la regeneración del agente de captura gastado, por ejemplo, el material adsorbente sólido, se produce en la otra celda (la celda de desorción). Las válvulas transparentes indican una posición abierta y las válvulas oscurecidas indican una posición cerrada o sin flujo en esta serie de figuras.

20 En las realizaciones de las Figuras 4A y 4B, los gases de escape calientes pasan a través del lado de carcasa de la celda de desorción, donde el calor residual se usa para suministrar el calor de desorción al agente de captura, que liberará el CO<sub>2</sub> y regenerará el agente de captura. Los gases de escape calientes pierden calor y su temperatura disminuye después de pasar a través del lado de la carcasa de la celda de desorción.

25 Los gases de escape entran en el lado del tubo de la celda de adsorción donde el CO<sub>2</sub> se adsorbe físicamente y/o químicamente sobre el agente de captura. Los gases de escape salen de la celda de adsorción con un bajo contenido de CO<sub>2</sub>. A medida que se adsorbe el CO<sub>2</sub> sobre el agente de captura libera calor de adsorción. La retirada del calor se puede conseguir haciendo pasar aire a través del lado de la carcasa. Cuando el agente de captura alcanzara la máxima capacidad, los gases de escape y el aire de refrigeración oscilan entre las celdas de captura, como se muestra en las Figuras 4A y 4B. El proceso de oscilación entre las celdas de adsorción y desorción se puede desencadenar por monitorización de la concentración de CO<sub>2</sub> en los gases de escape o se puede producir después de un tiempo operacional óptimo predeterminado basado en la experiencia de operación.

30 El gas pobre en CO<sub>2</sub> se libera a la atmósfera. El gas rico en CO<sub>2</sub> se hace pasar a la zona de densificación donde se presuriza, licúa o solidifica para el almacenamiento temporal a bordo. El CO<sub>2</sub> almacenado se puede recuperar cuando el vehículo reposta, o en una instalación de recuperación especializada.

35 Esta realización se puede usar para adsorción física o química. En la actualidad son preferentes los adsorbentes físicos debido a que el calor de adsorción es por lo general relativamente inferior para estos materiales en comparación con los adsorbentes químicos. En general, los adsorbentes químicos tienen la ventaja de una alta capacidad de carga de CO<sub>2</sub> sobre el material sólido, dando como resultado de ese modo celdas adsorbentes más pequeñas para un volumen comparable de CO<sub>2</sub>.

40 La corriente de gases de escape de un ICE propulsado por gasolina o diesel contiene aproximadamente un 13 % de vapor de agua. La presencia de vapor de agua puede tener un efecto positivo, negativo, o no tener ningún efecto en la capacidad de materiales adsorbentes particulares para retirar CO<sub>2</sub> de la corriente de escape. Por ejemplo, como se ilustra de forma gráfica en la Figura 7, la presencia de vapor de agua aumenta la ganancia de peso de CO<sub>2</sub> como porcentaje del material adsorbente sólido a temperaturas relativamente inferiores. A una temperatura de 500 °C y en ausencia de agua, la ganancia de peso del adsorbente es aproximadamente un 22 %, mientras que con la presencia de vapor de agua la ganancia casi se duplica hasta aproximadamente un 42 %. La ganancia de peso relativa a 300 °C y 400 °C es aproximadamente el triple para el CO<sub>2</sub> en presencia de vapor de agua. En el caso de aquellos adsorbentes para los que la presencia de vapor de agua mejora la capacidad de adsorción de CO<sub>2</sub> del material, se  
50 puede usar menos material adsorbente para una capacidad de CO<sub>2</sub> dada. Los adsorbentes que se benefician de la presencia de agua en la corriente de escape incluyen materiales basados en aluminato y basados en amina tales como aluminato de calcio, poli(alilamina), y aminas líquidas de alto punto de ebullición soportadas sobre sólidos porosos.

55 Los materiales adsorbentes que se ven afectados de modo adverso por el vapor de agua se pueden utilizar en la práctica de la invención si los materiales tienen una elevada capacidad inicial para la retención de CO<sub>2</sub> que excede la de los compuestos que entran en las primeras dos categorías.

60 En cualquier caso, básicamente todo el vapor de agua se descargará a la atmósfera con el nitrógeno y cualquier cantidad de CO<sub>2</sub> remanente.

65

Ahora por referencia a las Figuras 5, 5A, y 5B, se ilustra otra realización del sistema de la presente invención en la que el calor de adsorción se retira y el calor de desorción se suministra usando un líquido de intercambio de calor en un circuito cerrado. El sistema y aparato se identifica de forma general en la Figura 5 y el método específico de operación en las Figuras 5A y 5B. Los gases de escape calientes y el aire no pasan por el lado de la carcasa de las celdas. El calor se suministra al líquido a través de un intercambiador de calor. El líquido pasa a continuación a través del lado de la carcasa de la primera celda para proporcionar el calor de desorción al agente de captura. El líquido pierde calor y su temperatura disminuye después de pasar a través de la celda de desorción. La temperatura del líquido de intercambio de calor se puede reducir adicionalmente usando un intercambiador de calor refrigerado por aire.

El líquido enfriado pasa a continuación a través del lado de la carcasa de la celda de adsorción para retirar el calor de adsorción a medida que la corriente de gases de escape pasa a través del lado del tubo y el CO<sub>2</sub> se adsorbe físicamente y/o químicamente sobre el agente de captura. Como se ha descrito anteriormente, el proceso de oscilación entre las celdas de adsorción y desorción se puede desencadenar por detección de la concentración de CO<sub>2</sub> en los gases de escape, o después de un período predeterminado empíricamente de tiempo de operación, o algún otro parámetro que se monitorice por sensores de diversos tipos y los datos procesados por el sistema de control del motor, como se describe con mayor detalle posteriormente.

La corriente de gases de escape pobre en CO<sub>2</sub> remanente se libera a la atmósfera, y la corriente de gas rica en CO<sub>2</sub> se hace pasar a la zona de densificación donde se presuriza, licúa o solidifica antes de que se almacene de forma temporal a bordo hasta que se pueda recoger.

Se describirá otro modo de operación de una realización de la presente invención por referencia a las Figuras 8, 9 y 10. En esta realización, el adsorbente sólido se coloca en cada una de una pareja de celdas que se operan en modo de oscilación, es decir, una adsorbe CO<sub>2</sub> mientras que la otra se regenera por desorción del CO<sub>2</sub> capturado previamente. Las celdas son generalmente de diseño de carcasa y tubo con el adsorbente colocado en los tubos para intercambio de calor con gases calientes/fríos pasando alternativamente a través de la carcasa. En esta realización, el CO<sub>2</sub> capturado se comprime para almacenamiento en forma de un gas. Se ha de entender que se pueden emplear compresión y expansión rápida adicionales para densificar adicionalmente el CO<sub>2</sub>.

Como se describirá con detalle adicional por referencia a las Figuras, la línea no discontinua representa de forma esquemática la corriente 20 de escape emitida desde un motor 10, la línea de puntos representa el equilibrio de la corriente 56 de gases de escape corriente abajo de la celda adsorbente, la línea de rayas representa la corriente 52 rica en CO<sub>2</sub> después de desorción, la línea de raya-punto representa aire refrigerante, la línea de raya-punto-punto es el dispositivo termoeléctrico que refrigera circuito, y la línea de raya-rama-punto representa conductos sin flujo activo y válvulas cerradas durante el modo de operación particular que se describe.

La Figura 8 ilustra de forma esquemática la operación del sistema durante el estado estacionario después de la puesta en marcha del motor 10 con el proceso de desorción teniendo lugar en la celda 50A y la adsorción, es decir, la captura de CO<sub>2</sub>, teniendo lugar en la celda 50B. La corriente 20 de gases de escape pasa a través del lado de la carcasa de la celda 50A para calentar el adsorbente para proporcionar el calor requerido de desorción para liberar el CO<sub>2</sub>. La corriente de escape pasa a continuación a través del dispositivo termoeléctrico 30 para recuperar parte del calor residual sensible y producir energía eléctrica que se retira a través de los conductores eléctricos 32. La corriente de escape se hace pasar a continuación a través del lado del tubo o interior de la celda 50B donde el CO<sub>2</sub> se pone en contacto, y se adsorbe sobre el material adsorbente. También se suministra aire en 84 para enfriar la celda que experimenta el proceso de adsorción para retirar el calor de adsorción exotérmico y mantener la temperatura de adsorbente óptima en el interior de la celda. La corriente 56 de gases de escape, que incluye NO<sub>x</sub>, vapor de agua y cualquier cantidad de CO<sub>2</sub> remanente que no se haya adsorbido, se libera a la atmósfera a través del puerto de salida 58.

La corriente 52 de CO<sub>2</sub> desorbido se libera de la celda 50A y se extrae mediante una bomba 72 de vacío. La corriente rica en CO<sub>2</sub> se enfría a través de una serie de intercambiadores de calor 62, 64, 66 de aire o líquido antes de comprimirse mediante un compresor 74 de CO<sub>2</sub> y almacenarse en el tanque 70 de almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Cuando la presión en el tanque 70 de almacenamiento alcanza su valor máximo predeterminado, se cierra la válvula 79 de desconexión de tanque mediante una señal al accionador desde el controlador de la unidad de control del sistema.

El dispositivo termoeléctrico 30 se refrigera usando el sistema 34 de refrigeración líquida circulante cerrado que incluye la bomba 36 de refrigerante y el intercambiador de calor 38. Se pueden usar otros medios de refrigeración, incluyendo intercambiadores de calor de placa aleteada o delgada refrigerados por aire.

La energía eléctrica producida por el dispositivo termoeléctrico 30 se puede usar para alimentar uno cualquiera o más de los componentes del sistema, tal como la bomba 36 de refrigerante, el soplador 82 de aire, la bomba 72 de vacío o el compresor 74 de CO<sub>2</sub>. Alternativamente, la energía eléctrica se puede dirigir a la batería de almacenamiento del vehículo (no se muestra).

- 5 A continuación se hace referencia a la Figura 9 que ilustra la etapa de la operación continua en la que tiene lugar el proceso de desorción en la celda 50B y tiene lugar la adsorción en la celda 50A. La válvula 54 de tres vías se acciona para desviar la corriente 20 de escape que ahora pasa a través del lado de la carcasa de la celda 50B para calentar el adsorbente y el CO<sub>2</sub> adsorbido en el interior y proporcionar el calor requerido para la desorción. La corriente 20 de escape pasa a continuación a través del dispositivo termoeléctrico 30 para convertir parte de su valor de calor residual y producir energía eléctrica. La corriente de escape se introduce a continuación en el interior o en el lado del tubo de la celda 50A donde se adsorbe CO<sub>2</sub> sobre el material adsorbente; el equilibrio de la corriente 56 de escape pasa desde la celda 50A y se libera a la atmósfera a través del puerto 58 de salida.
- 10 En otros aspectos, el funcionamiento del sistema y sus métodos de operación son básicamente como se han descrito anteriormente con respecto a la Figura 8.
- 15 A continuación por referencia a la Figura 10, se ilustra el modo de operación en el que el sistema de captura de CO<sub>2</sub> se deriva completamente y la corriente 20 de gases de escape se libera directamente a la atmósfera a través del puerto 58 de salida de escape. Las condiciones que requieren este modo de operación pueden incluir que se alcance el límite máximo de presión en el tanque 70 de almacenamiento, o la rápida aceleración del motor 10 que hasta el momento excede la condición de estado estacionario como para exceder la capacidad de control del sistema.
- 20 También ubicada en la línea entre la bomba 72 de vacío y el compresor 74 de CO<sub>2</sub> se encuentra una válvula 76 de derivación de tres vías ajustable y un conducto 78 de derivación de CO<sub>2</sub>. La válvula 76 de derivación se activa mediante un procesador/controlador de control de motor a bordo en la circunstancia, por ejemplo, en la que se haya alcanzado la presión máxima predeterminada de CO<sub>2</sub> en el tanque 70 de almacenamiento y se desee limpiar el sistema de CO<sub>2</sub>. La válvula 76 de derivación y el conducto pueden descargar el CO<sub>2</sub> a la atmósfera (no se muestra) en este caso. Como se describe posteriormente con mayor detalle, el CO<sub>2</sub> del conducto 76 de derivación también se puede reciclar al motor 10.
- 25 Como será evidente para los expertos habituales en la materia, la operación del sistema se automatiza preferentemente usando el estado de la técnica de los programas de control de motor con una computadora a bordo. Para mayor simplicidad, los sensores de presión y temperatura no se muestran en las figuras esquemáticas ilustrativas acompañantes. Los bucles de retroalimentación operacionales se proporcionan en forma rutinaria en los componentes incluyendo la bomba 72 de vacío, el compresor 74 de CO<sub>2</sub>, la bomba 36 de refrigerante líquido y el soplador 82 de aire refrigerante.
- 30 Los sensores de presión con señales de alarma y/o interruptores de desconexión automatizados están asociados a las características operacionales del soplador 82 de aire, la bomba 72 de vacío de CO<sub>2</sub>, el compresor 74 de CO<sub>2</sub> y el tanque 70 de almacenamiento de CO<sub>2</sub>. En particular, cuando se alcanza la presión máxima en el tanque 70, una señal programada activa la válvula 90 de desviación para descargar todo el escape 20 del motor a la atmósfera a través del puerto 58 de salida de escape.
- 35 Se pueden usar de forma ventajosa sensores de temperatura en forma de termopares para controlar la operación del sistema. Por ejemplo, la temperatura del adsorbente o los recipientes del adsorbente se mide a través de una pluralidad de termopares y se monitoriza mediante el programa para determinar el momento en el que se alcanza una temperatura predeterminada que indica que el adsorbente ha alcanzado su capacidad de CO<sub>2</sub> deseada. El controlador del programa desvía a continuación la corriente 20 de gases de escape a la otra celda, que mientras tanto se ha operado en el modo de desorción y su material adsorbente se ha regenerado y comienza a adsorber CO<sub>2</sub> mientras que la celda adyacente comienza su ciclo de desorción.
- 40 Otras funciones de válvula o interruptor automatizado pueden incluir, pero no se limitan a, cierre de la válvula 71 de entrada del tanque de almacenamiento de CO<sub>2</sub> cuando la presión cae a un mínimo predeterminado, por ejemplo, 1,5 psig (10,3 kPa) o alcanzar un valor máximo, por ejemplo, 1600 psig (11 MPa); desconexión del compresor de CO<sub>2</sub> si la temperatura del tanque de almacenamiento de CO<sub>2</sub> excede un nivel predeterminado, por ejemplo, 50 °C o se alcanza la presión máxima.
- 45 El programa de operación también recibe datos relacionados con los caudales de la corriente de gases de escape que derivan, por ejemplo, de las revoluciones por minuto del motor, o similar, que se correlacionan de forma empírica mediante ensayos de laboratorio o prototipo anteriores con la capacidad de adsorción del material adsorbente en las celdas 50A y 50B. Estas correlaciones se relacionan con el tiempo del ciclo de adsorción para las celdas basándose en el caudal volumétrico total del sistema de gases de escape, que a su vez se usa como la variable para controlar el tiempo de ciclo. De ese modo, el uso del caudal de la corriente de gases de escape con respecto al tiempo de cambio sobre las celdas da como resultado un ciclo de operación más largo a revoluciones por minuto del motor inferiores, es decir, a menores velocidades del vehículo o mientras el motor está inactivo, y tiempos de ciclo relativamente más cortos a revoluciones por minuto y velocidades del vehículo mayores.
- 50 En una realización adicional de la presente invención, una parte del CO<sub>2</sub> que se recupera después de la regeneración del agente de captura se devuelve a través del conducto 76 de derivación a la entrada del motor 10
- 55
- 60
- 65



para mezclarse con el aire atmosférico y el combustible. Este aspecto de la operación del sistema es similar a la recirculación de gases de escape (EGR) que se usa en la actualidad para reducir las temperaturas de operación del motor y de ese modo reducir la cantidad de compuestos de NO<sub>x</sub> producidos durante la combustión del combustible. Se puede devolver a la entrada una cantidad de CO<sub>2</sub> equivalente a de un 5 a un 15 por ciento del volumen de los gases de escape. El retorno del CO<sub>2</sub> también reduce la cantidad de nitrógeno atmosférico aspirada con la mezcla de combustible, que también tiene el efecto beneficioso de reducir los compuestos de NO<sub>x</sub> en el escape. También se aumenta el porcentaje de CO<sub>2</sub> en la corriente de gases de escape.

La reducción de CO<sub>2</sub> se puede implementar mediante los mismos dispositivos y sistemas de control empleados convencionalmente para la recirculación de los gases de escape en vehículos a motor. La recirculación de CO<sub>2</sub> también se puede emprender junto con los sistemas EGR existentes. El CO<sub>2</sub> puede reemplazar la totalidad o una parte predeterminada de los gases de escape basándose en las condiciones de operación del motor o, de acuerdo con prácticas actuales, discontinuar la recirculación por completo tal como en la puesta en marcha cuando el motor está frío, o durante una aceleración rápida y/o cuando el ICE se encuentra bajo una carga pesada.

Se usan de forma ventajosa termopares en la estrategia de control para la operación del sistema. Se usa uno, aunque preferentemente una pluralidad de termopares para determinar la operación de oscilación entre las celdas 50A y 50B por comparación de la temperatura del adsorbente con las temperaturas objetivo de adsorción o desorción que se han determinado previamente de forma empírica para el tipo particular de celda y el material adsorbente específico ubicado en las celdas. Los termopares también se usan para operar el soplador de aire para enfriar la celda de captura según se requiera durante el ciclo de adsorción para disipar el calor de adsorción. Un termopar también se puede usar para controlar una válvula de derivación en el caso en el que la temperatura de la corriente de los gases de escape exceda el límite del dispositivo termoelectrónico con el fin de evitar daños. También se usa un termopar separado para proteger el compresor 70 de CO<sub>2</sub> en el caso en el que la temperatura de entrada del CO<sub>2</sub> exceda un valor máximo, en cuyo caso la válvula 76 de derivación se acciona para descargar el CO<sub>2</sub> a través del conducto 78.

También se usan sensores de presión para facilitar el control del sistema. Por ejemplo, se usa un sensor de presión en el escape del motor para accionar la válvula 90 de derivación del sistema en el caso en el que la caída de presión en el sistema exceda un valor que pudiera afectar al rendimiento del motor. Se usa un sensor de presión para desconectar el compresor 74 de CO<sub>2</sub> en el caso en el que la presión de succión caiga por debajo de un valor mínimo predeterminado. Se usa un sensor de presión separado para desconectar el compresor 74 de CO<sub>2</sub> y aislar el tanque 70 de almacenamiento de CO<sub>2</sub> si la presión acumulada alcanzara un valor cercano a la presión de diseño del tanque.

En una realización preferente, la operación y el control del sistema y proceso de captura de CO<sub>2</sub> de la invención están automatizados. Las unidades de control de motor programadas incluyen procesadores y controladores que funcionan basándose en datos y señales de sensores y otros dispositivos que monitorizan el sistema. Algunos ejemplos de protocolos de control adecuados para diversos aspectos de la operación se proporcionan en los diagramas de flujo de proceso detallados en las Figuras 11 a 14. En esta serie de diagramas, "TE" se refiere a "dispositivos termoelectrónicos".

Por referencia a la Figura 11, se identifica de forma diagramática una secuencia de operaciones que incluye accionar diversos aparatos y abrir y cerrar válvulas designadas en el momento de la puesta en marcha y la desconexión del sistema. Durante la desconexión del sistema, todas las válvulas se cierran en respuesta a señales enviadas a los accionadores de válvulas mediante el procesador/controlador. Una derivación de depósito de vacío funciona para mantener la entrada del compresor de CO<sub>2</sub> por debajo de 100 °F (38 °C) con el fin de evitar el aumento de temperatura debido a un efecto de empapado térmico incluso cuando el sistema se haya desconectado.

Por referencia a la Figura 12, se representa una secuencia detallada de etapas y controles de sensor para la estrategia de control de operación de la unidad de desorción.

Por referencia a la Figura 13, se representa una secuencia de etapas y controles de sensor para la estrategia de control de derivación. En esta realización, la posición por defecto para las válvulas de derivación del sistema es abierta; con el fin de hacer pasar la corriente de gases de escape al adsorbente para la captura de CO<sub>2</sub>, los accionadores de válvula reciben una instrucción o señal de "cerrado" desde el procesador/controlador. La secuencia representada incluye la etapa "¿Rendimiento del vehículo seriamente impedido?". Funciones tales como la velocidad del motor, la posición del pedal del acelerador y la presión de retorno del colector del motor se usan para determinar si se deriva el sistema de adsorción de CO<sub>2</sub>. Esta etapa del diagrama se puede omitir si se descubre que el rendimiento del vehículo no disminuye considerablemente en el momento en el que la corriente de gases de escape se hace pasar a través del desorbedor.

Ahora por referencia a la Figura 14, se represente una secuencia de etapas y operaciones para controlar el soplador de aire. En vista de la naturaleza detallada de la descripción de cada una de las etapas, y que se ha proporcionado anteriormente por referencia a las Figuras 8-10, no se considera necesaria ninguna explicación adicional. El sistema de la presente invención se instala preferentemente para recibir y capturar CO<sub>2</sub> de la corriente de gases de escape

corriente abajo del convertidor o convertidores catalíticos instalados de forma convencional en el vehículo. La conversión de los compuestos que contienen nitrógeno de la corriente de gases de escape en nitrógeno minimiza la presencia potencial de productos de combustión que pudieran afectar a la capacidad adsorbente y al tiempo de vida de reciclado del material adsorbente. La temperatura de la corriente de los gases de escape corriente abajo del convertidor o convertidores catalíticos es mayor y se pueden recuperar más valores de calor. Además, cuando el motor está frío en la puesta en marcha, los gases de escape corriente abajo del convertidor catalítico estarán más calientes que corriente arriba debido a las reacciones exotérmicas que se producen en el convertidor. También es preferente producir la caída de presión con respecto a la reducción de la temperatura y la retirada del dióxido de carbono de la corriente de gases de escape corriente abajo del convertidor o convertidores catalíticos con el fin de evitar afectar de forma adversa a las características de rendimiento diseñadas del motor. La ubicación del sistema corriente abajo del convertidor o convertidores catalíticos del vehículo también simplifica la descarga de la corriente de gases de escape remanente después de su paso a través de la celda adsorbente.

Las realizaciones del componente o componentes de captura de CO<sub>2</sub> pueden incluir, pero no se limitan a, las que siguen a continuación.

1. El agente de captura se puede basar en la adsorción química o física de CO<sub>2</sub> para la separación de los gases de escape, es decir, quimisorbentes o fisorbentes. Los adsorbentes físicos pueden incluir carbones activados, zeolitas, materiales de marco orgánico metal (MOF) e híbridos orgánicos-inorgánicos.

2. En la selección del agente de captura, se debe considerar su estabilidad a largo plazo con respecto a la temperatura respectiva de los gases de escape del tipo y sistema de vehículo particular en los que se va a emplear. Las temperaturas de los gases de escape para motores de gasolina y motores diesel pueden variar, y el escape del motor alimentado por gasolina es generalmente más caliente en condiciones de operación comparables. Otros factores a considerar incluyen:

a. los tipos de cualquier contaminante que están presentes en el combustible debido a limitaciones inherentes en los procesos de refinado utilizados por los diferentes productores;

b. los compuestos químicos que son inherentes al tipo particular de combustible y que se oxidan durante la combustión, tales como NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>; y

c. los compuestos químicos que se introducen en el combustible en la refinería, tales como detergentes, colorantes, antidetonantes y aditivos de lubricidad.

3. El agente de captura se puede usar en forma de adsorbentes sólidos, carbonatos sólidos u otros materiales que sean capaces de adsorción de CO<sub>2</sub>. Algunos ejemplos de agentes de captura incluyen óxidos metálicos, hidrotalcitas, zirconatos, silicatos, aluminatos, carbonatos, y aminas soportadas. El agente de captura puede estar en forma de un soporte de elevada área superficial promovido, tal como alúmina promovida con potasio. El agente de captura de CO<sub>2</sub> puede comprender una única clase o múltiples clases de materiales.

4. El agente de captura puede estar en diferentes formas. Los adsorbentes sólidos pueden estar empaquetados, por ejemplo, en forma de partículas esféricas, microgránulos, gránulos, monolitos, polvos o extrudatos, entre otros. El agente de captura puede estar en forma de adsorbentes de fibra hueca. Los tubos de matriz de fibra delgada pueden incluir el agente de captura de CO<sub>2</sub> dentro de la matriz de soporte y contener un tubo impermeable interior. Se puede usar fluido en el interior del tubo interior aislado para suministrar y retirar el calor necesario para controlar la adsorción y regeneración del agente de captura de CO<sub>2</sub>. En una realización actualmente preferente, se usa una matriz de fibra que está hecha del material térmicamente conductor y es capaz de soportar temperaturas elevadas. Se puede usar una diversidad de tubos de adsorbente de fibra hueca paralelos como el componente de captura de CO<sub>2</sub>. Cuando los gases de escape pasan a través de los tubos exteriores, el CO<sub>2</sub> reacciona con el agente de captura y el calor se retira usando el fluido de los tubos interiores. Para la regeneración de CO<sub>2</sub>, el fluido suministra el calor para la desorción desde los tubos interiores.

El agente de captura también se puede aplicar a la superficie de un monolito que, como se define en el presente documento, es un soporte de elevada área superficial que puede tener diferentes formas, tales como un tubo con ranuras que se prolonga a lo largo de la longitud del monolito. El adsorbente se puede aplicar sobre la superficie del monolito para proporcionar una elevada interacción superficial con el gas y también reducir la caída de presión, que es esencial para la eficacia del ICE. El adsorbente también se puede cargar dentro de los surcos del monolito. El monolito se puede construir con un material térmicamente conductor, por ejemplo, un metal que mejore las propiedades de transferencia térmica de los componentes de captura durante la adsorción/desorción.

También se puede usar un metal espumado altamente poroso como vehículo para el agente de captura. Como para el monolito que se ha descrito anteriormente, se pueden conformar diversas formas estructurales a partir de un metal o metales de espuma rígidos y revestir y/o impregnar con el agente de captura.

5. Las celdas de adsorción y desorción pueden ser de diferentes diseños. Las Figuras 4 y 5 ilustran los componentes de la zona de captura en forma de intercambiadores de carcasa y tubo, donde los adsorbentes están empaquetados en los tubos. Se pueden usar otros tipos de intercambiadores de calor para retener el agente o agentes de captura. Estos incluyen placa, espiral, flujo cruzado, y otros tipos. Es posible combinar las zonas tanto de adsorción como de desorción en una unidad para permitir un intercambio muy compacto y muy eficaz del calor de la adsorción/desorción. Por ejemplo, el adsorbente se puede cargar en ambos lados de un dispositivo de tipo oscilación. El calor de adsorción se liberará a medida que se captura CO<sub>2</sub> y se conducirá o transportará de otro modo al otro lado para proporcionar al menos una parte del calor requerido para la regeneración del adsorbente.

Además de la operación en lecho empaquetado, se puede usar un conjunto de lechos fluidos para el componente de captura.

6. Se han ilustrado dos celdas de captura para el proceso de oscilación entre adsorción y desorción; se pueden usar múltiples celdas para proporcionar diferentes ciclos de adsorción/desorción.

7. Además de la adsorción de oscilación de temperatura que se ha descrito junto con las Figuras 3, 4 y 5, se pueden emplear otros procesos tales como adsorción de oscilación de presión, oscilación de vacío y oscilación eléctrica. La oscilación del flujo de gas a través de las celdas de captura se puede desencadenar basándose en las concentraciones de CO<sub>2</sub> detectadas en el puerto de salida de escape, tiempos operacionales definidos y otros criterios que se seleccionen para asegurar la utilización máxima/óptima de la capacidad de CO<sub>2</sub> del agente de captura.

Se ha descubierto que un adsorbente sólido particularmente útil para CO<sub>2</sub> gaseoso es una composición salina mixta que comprende una sal mixta de un compuesto de magnesio, tal como MgCO<sub>3</sub> o MgO, y al menos una sal de un metal del Grupo IA, en la que la proporción molar de Mg con respecto al metal del Grupo IA puede variar de 8:1 a 3:1, y es preferentemente de 6:1 a 4:1. El compuesto de magnesio es preferentemente MgO y la al menos una sal de un metal del Grupo IA es preferentemente una sal de carbonato, y/o una sal de nitrato. Una composición adsorbente especialmente preferente es MgO:Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:NaNO<sub>3</sub>, donde la proporción molar de Mg:Na es aproximadamente de 4:8 a 1. Las sales de Li, K, o Rb pueden reemplazar a las sales de sodio en la composición preferente.

Los adsorbentes de sal mixta de la invención se pueden preparar, por ejemplo, a través de una reacción de gelificación, como se describe posteriormente en el Ejemplo 1, o preferentemente mediante una reacción de precipitación como se describe en el Ejemplo 2. Una sal de magnesio y una sal de metal del Grupo IA se preparan en forma de solución, y se combinan para formar una mezcla reactiva. Esta reacción se puede llevar a cabo de forma opcional con un agente de precipitación. Las sales se seleccionan de un modo tal que, tras la reacción entre sí, se forme MgO o MgCO<sub>3</sub> en el precipitado. Preferentemente, se usa un compuesto de Mg altamente soluble, tal como el propio MgO, Mg(OH)<sub>2</sub>, o lo más preferentemente, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Como se ha indicado anteriormente, también se puede usar MgCl<sub>2</sub> o Mg(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>. Una vez que se selecciona la sal de Mg, el experto en la materia puede determinar la sal o sales de Na que reaccionarán con la sal de Mg para producir el MgO / MgCO<sub>3</sub> deseado.

Después de la preparación, el polvo de adsorbente se puede preparar en un extrudato, ya sea mediante adición de un aglutinante, tal como boehmita, o mediante técnicas de preparación especiales conocidas en la técnica que pueden dar como resultado una pérdida de adsorción; sin embargo, la técnica es útil para mantener bajas las caídas de presión en los lechos empaquetados, y para hacer más fácil la manipulación del material. Usando las sales en polvo que se han descrito, se descubrió una mayor capacidad de adsorción de CO<sub>2</sub> para extrudatos preparados sin un aglutinante que se consiguió con cargas de CO<sub>2</sub> de aproximadamente un 20 % en peso a 300 °C. Se descubrió que la resistencia a la compresión de los extrudatos sin aglutinante era 0,51 MPa, equivalente a los extrudatos preparados con boehmita (0,55 MPa).

La reacción se lleva a cabo con concentraciones de las sales reactivas que proporcionan una proporción de Mg:metal del Grupo IA de 3:1 a 8:1, lo más preferentemente de 4:1 a 6:1. La selección de las proporciones se dejará al artesano debido a que, como se ha indicado anteriormente, al variar la proporción se producen adsorbentes con diferentes propiedades. El conocimiento de las condiciones en las que opera el adsorbente determinará las proporciones empleadas. Finalmente, se puede añadir un agente de precipitación para facilitar la reacción, tal como NaNO<sub>3</sub>. El agente de precipitación es preferentemente una sal de un metal del Grupo IA.

#### Ejemplo 1

Este ejemplo describe la preparación de un adsorbente de CO<sub>2</sub> sólido para su uso en el proceso de la invención mediante lo que se denomina un proceso de gelatina. Se añadió una cantidad (395 g) de hidróxido carbonato de magnesio (MgCO<sub>3</sub> · Mg(OH)<sub>2</sub> x H<sub>2</sub>O) a 800 ml de una solución de carbonato sódico (42,18 g) y nitrato sódico (21,63 g) disueltos en agua desionizada. Esto produjo una suspensión de sal mixta que se agitó durante 30 minutos. La suspensión se cubrió a continuación y se dejó reposar durante 16 horas a temperatura ambiente, después de lo cual se secó a 120 °C durante 16 horas para formar una torta seca de MgO:Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:NaNO<sub>3</sub>. El análisis mostró una

proporción en masa de 75.8:16:8.2 y una proporción molar de Mg:Na de aproximadamente 4.8. Esta torta seca se calcinó a continuación por calentamiento de 120 °C a 450 °C, con una velocidad de rampa de 3 °C/minuto, seguido de 450 °C durante 4 horas. La torta calcinada se trituró y se tamizó para recoger una fracción de malla 150-425, que es adecuada para su uso en un lecho empaquetado con un material inerte tal como SiC para ocupar cualquier volumen remanente. Los resultados de ensayo indicaron que la carga de CO<sub>2</sub> sobre el adsorbente alcanzó su máximo a 300 °C, pero que el adsorbente fue eficaz en un intervalo de temperaturas más amplio.

#### Ejemplo 2

Este ejemplo describe la preparación de un adsorbente de CO<sub>2</sub> sólido de la misma composición de sal mixta para su uso en la invención mediante lo que se denomina un proceso de precipitación. Una solución de 233,4 g de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> en 3000 ml de agua desionizada se puso en un vaso de precipitados de plástico de 5,0 litros, y se agitó vigorosamente con un agitador mecánico. Una segunda solución, de 188,4 g Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> : 6 H<sub>2</sub>O en 500 ml de agua desionizada, se bombeó en la primera solución, a una velocidad de aproximadamente 30 ml/minuto. Resultó una solución que se agitó durante una hora. La suspensión se almacenó durante una noche, como se ha descrito anteriormente, y a continuación se filtró para producir una torta de precipitado húmeda. Se recogieron aproximadamente 3200 ml de filtrado. Esto se secó a 120 °C durante 24 horas para formar una torta seca, que se trató como se ha descrito en el Ejemplo 1. Los resultados de ensayo indican que la cantidad de CO<sub>2</sub> cargada sobre el adsorbente alcanzó su pico a 325 °C, y como con el adsorbente del Ejemplo 1, el producto adsorbente de este ejemplo también fue eficaz en un amplio intervalo de temperatura.

El efecto del componente alcalino en la composición adsorbente de sal mixta se evaluó usando sales de Li, Na, o K para preparar los productos adsorbentes finales. Las sales se prepararon de la forma que se ha expuesto anteriormente, usando una proporción molar de Mg : metal alcalino de 6:1. Los productos resultantes se sometieron a ensayo para su capacidad para retirar CO<sub>2</sub> de una corriente de gases de escape simulada. La adsorción se llevó a cabo a temperaturas que variaron de 100 - 450 °C, a GHSV de 3.125/hora. Los adsorbentes se regeneraron mediante temperaturas en rampa de 450 °C, a una velocidad de 10 °C/minuto, y una GHSV de 2500/hora.

Los resultados indicaron que Na produce el mejor intervalo de temperatura operacional y que los metales alcalinos Li y K funcionan bien a diferentes temperaturas. El adsorbente que contenía sodio adsorbió CO<sub>2</sub> en un intervalo de temperatura de 200 °C a 400 °C, alcanzando un máximo a 325 °C. El polvo que contenía litio fue el más eficaz a 200 °C y fue eficaz hasta aproximadamente 250 °C, mientras que el compuesto que contenía potasio adsorbió CO<sub>2</sub> a una temperatura mayor que varió de aproximadamente 300 °C a aproximadamente 400 °C.

Ensayos adicionales indicaron que las composiciones de sal mixta de la invención deberían tener Mg<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> o MgO como componente, y en la preparación de estos adsorbentes, se selecciona preferentemente un compuesto de Mg que conduzca a uno de estos.

Se sometieron a ensayo Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, MgO, y Mg(OH)<sub>2</sub> usando los mismos parámetros de los Ejemplos 1 y 2. La sal de nitrato produjo un adsorbente con una capacidad considerablemente mayor para adsorber CO<sub>2</sub> que la sal de MgO o Mg(OH)<sub>2</sub>, pero todos adsorbieron CO<sub>2</sub>.

Merece la pena indicar que Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> tiene una solubilidad considerablemente mayor en agua que los demás compuestos. Las diferencias en la solubilidad también indican que los productos finales resultan de diferentes mecanismos reactivos. La sal de nitrato, por ejemplo, precipita en intercambio aniónico con sales de sodio, mientras que el óxido y el hidróxido no lo hacen. Por lo tanto, cuanto más soluble es la sal de magnesio, mayor es la capacidad de adsorción del producto final. De ese modo, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, Mg(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>, y otras sales de magnesio altamente solubles son preferentes en la preparación de los adsorbentes de la invención.

La concentración de sodio afecta al rendimiento de los adsorbentes, con una capacidad de adsorción óptima a diferentes temperaturas. Una disminución en la concentración del Mg con respecto al Na dio como resultado un cambio en la temperatura de carga pico de CO<sub>2</sub> de 250 °C a 275 °C en comparación con 325 °C - 350 °C. Por el contrario, se observó un aumento en la carga de CO<sub>2</sub> sobre el adsorbente, de aproximadamente un 20 % en peso en comparación con el 12-13 % en peso para las concentraciones mayores.

Aunque los ensayos anteriores usaron Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> como agente de precipitación, se pueden usar otros, como se muestra a modo de ejemplo con (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Para preparar los adsorbentes con Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, el agente de precipitación se añadió lentamente en forma de una solución, a una solución de MgNO<sub>3</sub>. El (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> se añadió a una solución de MgNO<sub>3</sub> y Na<sub>2</sub>NO<sub>3</sub> mientras se mantenía la proporción molar de Mg:Na de 6:1. Los resultados mostraron que el producto obtenido con Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> exhibió un amplio intervalo de actividad, mientras que el preparado con (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> mostró un pico muy definido en la capacidad de adsorción de CO<sub>2</sub> a 300 °C, y muy poca actividad a otras temperaturas. Estos resultados sugieren que los cambios en el agente de precipitación se pueden usar para preparar adsorbentes para diferentes aplicaciones.

En la práctica de la invención, el CO<sub>2</sub> se adsorbe de una corriente de gases de escape por contacto con el adsorbente de sal mixta descrito a una temperatura que varía de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 450 °C, preferentemente de aproximadamente 250 °C a aproximadamente 350 °C, durante un tiempo suficiente para que el adsorbente retire la totalidad o una parte del CO<sub>2</sub> de la corriente de gases de escape. Como se ha descrito anteriormente, el adsorbente se saturará con CO<sub>2</sub>, y esto se puede determinar por medición y comparación del contenido de CO<sub>2</sub> en la corriente de gases de escape antes y después del contacto con el adsorbente. Cuando es evidente que no se retira CO<sub>2</sub> adicional de la corriente de escape, el adsorbente se puede regenerar, por ejemplo, por calentamiento a su temperatura de desorción, por ejemplo, aproximadamente 500 °C. De nuevo, por medición de la cantidad de CO<sub>2</sub> que está contenida en el gas de salida, el experto habitual en la materia puede determinar el momento en el que el adsorbente está listo para reutilización.

El componente de densificación de CO<sub>2</sub> se puede conseguir mediante un compresor de etapa individual o múltiple con un sistema de refrigeración activo/pasivo apropiado para asegurar la presurización, licuefacción o solidificación del CO<sub>2</sub> para el almacenamiento temporal a bordo. El almacenamiento de CO<sub>2</sub> puede estar en un tanque individual o en múltiples tanques a bordo de la fuente móvil. El tanque de combustible también se puede usar para almacenar el CO<sub>2</sub> capturado al tener una partición móvil entre el lado de combustible y el lado de CO<sub>2</sub>. El control de todos los componentes del sistema se puede integrar en un sistema de control de la fuente móvil o un sistema de control distinto para optimizar el rendimiento.

Se requiere un control térmico para controlar los ciclos de adsorción y desorción del agente de captura de CO<sub>2</sub>. Como se ilustra de forma gráfica en la Figura 6, la capacidad de adsorción de CO<sub>2</sub> de un adsorbente puede variar considerablemente con la temperatura. En el ejemplo que se muestra, la capacidad aumenta hasta un máximo a medida que la temperatura se aproxima a 350 °C, y a continuación disminuye rápidamente entre 350 °C y 400 °C.

En general, se ha descubierto que los intercambiadores de calor compactos de tipo placa disponibles en el mercado son eficaces para reducir la temperatura de la corriente de gases de escape. Están disponibles en una diversidad de tamaños y materiales de fabricación. La gran superficie de transferencia de calor permite el uso de un dispositivo relativamente más pequeño, ahorrando tanto en el volumen como en el peso añadidos al vehículo.

Se tendrá que retirar calor del componente o componentes de captura a medida que se adsorbe CO<sub>2</sub> (física o químicamente) sobre el agente y se libera calor de adsorción. Se tendrá que suministrar calor al componente o componentes de captura para proporcionar el calor requerido para la desorción/regeneración cuando el CO<sub>2</sub> se libera del agente. El suministro y la retirada de calor se pueden conseguir usando diferentes métodos que incluyen conducción, convección, radiación, generación, y/o una combinación de estos métodos.

En el caso de la conducción, el calor se puede suministrar o retirar del agente de captura de CO<sub>2</sub> usando un material conductor térmico, tal como un metal. Si el agente de captura de CO<sub>2</sub> está empaquetado en tubos, el calor se puede retirar del exterior de los tubos usando conducción a través de la cáscara del tubo. Se pueden usar fluidos para suministrar o retirar el calor de la cáscara exterior de los tubos. Se pueden usar aletas, malla metálica en el interior de los tubos y otros diseños para aumentar el área superficial en contacto con el agente y mejorar la transferencia de calor. También se pueden usar aletas y otros cambios superficiales en la carcasa exterior del tubo para mejorar la transferencia de calor del sistema. El agente de CO<sub>2</sub> también se puede empaquetar o cargar en el exterior de los tubos y el interior del tubo usado para suministrar o retirar el calor usando fluidos. El agente de captura de CO<sub>2</sub> se puede revestir sobre, o cargar en un componente de captura de tipo monolito, donde los materiales de soporte sean buenos conductores térmicos, tales como metal. El calor también se puede suministrar o retirar usando conducción térmica a través del soporte monolítico.

Para el intercambio de calor por convección, el calor se suministra o se retira del agente de captura de CO<sub>2</sub> usando un fluido. Por ejemplo, si el agente de captura de CO<sub>2</sub> se carga en el interior de tubos, el fluido puede suministrar o retirar el calor desde la carcasa exterior de los tubos o a través del contacto directo con el agente. Si el agente de captura de CO<sub>2</sub> se reviste o se carga en componentes de captura de tipo monolito, el fluido puede suministrar o retirar el calor desde la carcasa exterior del monolito, por ejemplo, por contacto directo con el agente o mediante el uso de tubos que penetren en el soporte monolítico.

Para el intercambio de calor radiante, se puede suministrar calor al agente para la regeneración. Se pueden usar fuentes de alta temperatura o microondas para suministrar el calor. También se puede suministrar calor al agente de captura de CO<sub>2</sub> a través de un componente o componentes de generación de calor tal como calentadores eléctricos alimentados, por ejemplo, por dispositivos termoeléctricos.

Las Figuras 4, 4A, 4B, 5, 5A y 5B también muestran ubicaciones opcionales para los componentes de recuperación de calor (HR) que sirven para convertir energía térmica en trabajo mecánico o energía eléctrica que se pueden usar para operar el aparato de densificación del sistema y otros equipos auxiliares, tales como válvulas. Los líquidos son capaces de transportar y suministrar la gran cantidad de calor que estos adsorbentes intercambian durante la adsorción y regeneración. La capacidad calorífica de los líquidos por unidad de volumen, es decir, su capacidad calorífica volumétrica, es aproximadamente 100 veces mayor que la de los gases. De ese modo, para el mismo volumen, un líquido puede retirar o proporcionar calor a una velocidad que es aproximadamente 100 veces mayor

que un gas. De forma similar, para añadir o retirar la misma cantidad de calor, el volumen del líquido necesario es aproximadamente 1/100 del volumen del gas que se requeriría.

Se pueden usar tecnologías individuales o múltiples para convertir el calor residual en energía eléctrica o trabajo para comprimir el CO<sub>2</sub> y alimentar el equipo auxiliar. El tamaño o capacidad, ubicación y condiciones de operación de los componentes de HR se determinan basándose en la disponibilidad de calor residual, por ejemplo, de la corriente de escape del motor. Esto incluirá tanto la temperatura como el caudal volumétrico de la corriente térmica residual, esté en el escape o el refrigerante del motor. Se pueden emplear uno o más de un tipo de componentes de recuperación de calor dependiendo de la naturaleza de la corriente térmica residual y su temperatura y condiciones de flujo.

La operación del sistema de recuperación de calor/energía se puede controlar mediante un procesador y controlador programado previamente que recibe datos de sensores de temperatura y flujo, y que está en comunicación de control con válvulas de regulación de flujo. Por ejemplo, la temperatura de los gases de escape del motor se puede controlar haciéndolos pasar por intercambio de calor en contacto con el recipiente del material adsorbente saturado con el fin de aumentar su temperatura lo suficiente para liberar el CO<sub>2</sub>. Los gases de escape que tienen una temperatura inferior pueden intercambiar a continuación calor adicional con un dispositivo termoelectrónico para producir electricidad. Finalmente, los gases de escape de una temperatura relativamente inferior se pueden introducir en la zona del adsorbente para la reducción de su contenido de CO<sub>2</sub> antes de que se descarguen a la atmósfera.

El tipo de componente o componentes de recuperación de calor (HR) usado en la práctica de la invención puede incluir, pero no se limita a, los siguientes tipos de aparatos.

1. Dispositivos, o módulos, termoelectrónicos que generan energía eléctrica. El lado caliente del módulo termoelectrónico se instala en el lado de los gases de escape y el lado frío se instala en un sistema de refrigeración cerrado denominado un (sistema activo) o expuesto al aire (un sistema pasivo). El módulo o módulos termoelectrónicos retiran parte del calor del lado caliente y generan energía eléctrica que se puede usar para operar el aparato de densificación y/o otro equipo a bordo.

Los dispositivos termoelectrónicos usados para convertir el calor residual en energía eléctrica se pueden colocar en diferentes ubicaciones y disposiciones para optimizar la conversión de energía. Los dispositivos termoelectrónicos se pueden sujetar en contacto conductor térmico con el tubo de escape, los componentes de captura, el bloque del motor u otros componentes del motor como lado caliente del dispositivo. El lado frío del dispositivo termoelectrónico se puede exponer a convección de aire para enfriar el dispositivo. El lado frío del dispositivo termoelectrónico también puede estar en contacto con un sistema de refrigeración activo, por ejemplo, un líquido circulante, para facilitar la transferencia de calor y controlar también el rendimiento del módulo termoelectrónico. Los dispositivos termoelectrónicos pueden adoptar diferentes formas tales como tubos cilíndricos o rectangulares para minimizar los efectos de caída de presión en los gases de escape. También se pueden usar aletas internas y/o externas para mejorar la transferencia de calor de los dispositivos termoelectrónicos y por lo tanto su rendimiento. El dispositivo termoelectrónico se podría montar muy cerca de, o en el bloque de motor para hacer uso de altas temperaturas. Los materiales apropiados se seleccionan para resistir altas temperaturas.

2. La energía eléctrica generada usando el módulo o módulos termoelectrónicos se puede suministrar a un sistema de almacenamiento eléctrico, por ejemplo baterías, que a su vez suministran la energía eléctrica al aparato de densificación y/o otro equipo. La selección de los semiconductores para el módulo o módulos termoelectrónicos se basa en el intervalo de temperatura de la aplicación. Se puede usar el apilamiento de diferentes dispositivos termoelectrónicos para optimizar la recuperación de calor y por lo tanto la generación de energía eléctrica.

3. Un motor Stirling en el que el calor residual del escape del ICE se suministra a la pared de uno o más cilindros del motor para expandir el gas en el cilindro para impulsar de ese modo un pistón que puede realizar el trabajo mecánico necesario para hacer funcionar el compresor de densificación o para hacer funcionar el compresor de una unidad de ciclo de refrigeración por compresión que proporciona refrigerante frío para licuar o solidificar el CO<sub>2</sub>.

4. Un generador de vapor que proporciona vapor a una turbina que genera trabajo mecánico para hacer funcionar el compresor de densificación o para hacer funcionar el compresor de una unidad de ciclo de refrigeración por compresión que proporciona refrigerante frío para licuar o solidificar el CO<sub>2</sub>.

5. Un motor o compresor de aleación de memoria de forma pequeño, utiliza el calor residual para cambiar la forma de una aleación (tal como CuSn, InTi, TiNi, y MnCu) y generar trabajo mecánico que se usa para aumentar la densidad del CO<sub>2</sub> capturado. El compresor del motor trabaja manteniendo un lado caliente y un lado frío de la aleación para generar la compresión necesaria. Los siguientes documentos de patente describen motores térmicos basados en estos tipos de aleaciones inusuales: USP 3.913.326; USP 4.055.955; USP 5.442.914; USP 7.444.812; y el documento de solicitud publicado 2009/0315489.

6. Se pueden instalar sistemas de recuperación de calor individuales o múltiples en los gases de escape y sistemas de refrigerante.

7. Se pueden instalar sistemas de recuperación de calor individuales o múltiples para generar la energía requerida y controlar de forma eficaz la temperatura de los gases de escape.

8. Además de suministrar energía, el componente o componentes de recuperación de calor se pueden usar para controlar la temperatura de los gases de escape y por lo tanto optimizar el rendimiento del agente de captura de

CO<sub>2</sub>.

5 En una realización adicional de la presente invención, una parte del CO<sub>2</sub> que se recupera después de la regeneración del agente de captura se devuelve a través de un conducto adecuado a la entrada de aire del motor para que se mezcle con el aire atmosférico y el combustible. Este aspecto del sistema de operación es similar a los métodos conocidos para recirculación de gases de escape (EGR) que se usan en la actualidad para reducir las temperaturas de operación del motor y reducir de ese modo la cantidad de compuestos de NO<sub>x</sub> producidos durante la combustión del combustible. Se puede devolver a la entrada una cantidad de CO<sub>2</sub> equivalente a de un 5 a un 15 por ciento del volumen de los gases de escape. El retorno del CO<sub>2</sub> también reduce la cantidad de nitrógeno atmosférico aspirado con la mezcla de combustible, que también tiene el efecto beneficioso de reducir los compuestos de NO<sub>x</sub> en el escape. El porcentaje de CO<sub>2</sub> en la corriente de gases de escape también aumenta, mejorando de ese modo la recuperación.

15 La recirculación de CO<sub>2</sub> se puede implementar mediante los mismos dispositivos y sistemas de control empleados de forma convencional para la recirculación de los gases de escape en vehículos a motor. La recirculación de CO<sub>2</sub> también se puede asumir junto con sistemas de EGR existentes. El CO<sub>2</sub> puede reemplazar la totalidad o una parte predeterminada de los gases de escape basándose en las condiciones de operación del motor o, de acuerdo con las prácticas actuales, discontinuar completamente la recirculación tal como en la puesta en marcha cuando el motor está frío, o durante una aceleración rápida y/o cuando el ICE está bajo una carga pesada.

20 En una realización adicional de la invención, una parte del CO<sub>2</sub> recuperada directamente de la corriente de gases de escape o el recipiente de almacenamiento densificado se mezcla con agua y se reduce catalíticamente usando métodos conocidos para formar metano y agua mediante la reacción provisional del hidrógeno y el monóxido de carbono que se forman *in situ*. El metano y el agua se usan a continuación para complementar el combustible de hidrocarburo convencional suministrado a la entrada del motor. El agua que reaccionó con el CO<sub>2</sub> se puede recuperar de la corriente de gases de escape o de una fuente a bordo separada proporcionada para ese fin.

30 Otra ventaja del método y sistema de la presente invención es la disponibilidad del CO<sub>2</sub> presurizado a bordo del vehículo para su uso en el sistema de acondicionamiento de aire del vehículo. El CO<sub>2</sub> se usa en lugar de compuestos químicos de hidrofluorocarbono artificiales y refrigerantes de tipo freón que se ha mostrado que representan riesgos para perjudicar al medio ambiente.

35 Los métodos y sistemas de la presente invención son adecuados para su uso en una amplia diversidad de fuentes móviles tales como vehículos de pasajeros, camiones, vehículos pesados, trenes, navíos y otros que operan a través de la combustión de combustibles de hidrocarburo. La presente invención se puede instalar en fuentes móviles nuevas o por readaptación de fuentes móviles existentes.

40 La presente invención aborda la captura de CO<sub>2</sub> posterior a la combustión y el almacenamiento a bordo de fuentes móviles. Para minimizar el coste operacional y los requisitos de equipo, el calor disponible, que se descarga de forma convencional a la atmósfera, se usa para proporcionar la energía necesaria para separar el CO<sub>2</sub> extraído de los gases de combustión del material adsorbente, o agente de captura, y para comprimir/licuar la totalidad o parte del CO<sub>2</sub> producido para el almacenamiento eficaz a bordo. El CO<sub>2</sub> capturado se puede almacenar a bordo hasta el repostaje, cuando se descarga o retira para recuperación en la estación de repostaje. El aparato de la invención es más fácil de implementar a bordo que en comparación con los métodos que se han propuesto que implican reacciones químicas, tal como reformado, o cambios importantes en el diseño del motor, tal como proporcionando paredes de cilindro que sean permeables al CO<sub>2</sub>.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> descargada a la atmósfera con la corriente de gases de escape emitida por un motor de combustión interna (ICE) usado para propulsar un vehículo, comprendiendo el método:
- a. hacer pasar la corriente de gases de escape en contacto con un agente de captura de CO<sub>2</sub> a bordo del vehículo, teniendo el agente de captura una capacidad predeterminada para extraer CO<sub>2</sub> de la corriente de gases de escape;
  - b. descargar una corriente de gases de escape tratada que tiene un contenido reducido de CO<sub>2</sub> a la atmósfera;
  - c. discontinuar el paso de la corriente de gases de escape en contacto con el agente de captura cuando la concentración del CO<sub>2</sub> extraído por el agente de captura haya alcanzado un nivel predeterminado;
  - d. calentar el agente de captura de CO<sub>2</sub> para liberar el CO<sub>2</sub> extraído y regenerar el agente de captura;
  - e. recuperar una corriente de CO<sub>2</sub> gaseoso básicamente pura;
  - f. recuperar calor y energía de la corriente de gases de escape caliente emitida por el ICE por medio de un componente de recuperación de calor (HR) que convierte energía térmica en trabajo mecánico o energía eléctrica;
  - g. comprimir el CO<sub>2</sub> gaseoso recuperado a bordo del vehículo para reducir su volumen, en el que al menos una parte de la energía eléctrica y/o el trabajo mecánico producidos por el componente de recuperación de calor (HR) de la etapa (f) se usa para alimentar sistemas eléctricos y/o mecánicos auxiliares a bordo del vehículo y usar la energía eléctrica para comprimir el CO<sub>2</sub>; y
  - h. almacenar temporalmente el CO<sub>2</sub> comprimido a bordo del vehículo.
2. El método de la reivindicación 1 que opera básicamente de forma continua después de la puesta en marcha del ICE del vehículo.
3. El método de la reivindicación 1 que incluye además medir el nivel de CO<sub>2</sub> remanente en la corriente de gases de escape tratada y comparar el valor del nivel medido con un valor limitante predeterminado, correspondiendo dicho valor limitante a la capacidad predeterminada del agente de captura de CO<sub>2</sub>; y discontinuar el paso de la corriente de gases de escape en contacto con el agente de captura de CO<sub>2</sub> cuando se alcance el valor limitante.
4. El método de la reivindicación 1 en el que el agente de captura de CO<sub>2</sub> se calienta en la etapa (d) por intercambio de calor con la corriente de gases de escape caliente.
5. El método de la reivindicación 1 en el que el agente de captura de CO<sub>2</sub> es un adsorbente sólido a alta temperatura seleccionado entre el grupo que consiste en adsorbentes químicos y adsorbentes físicos.
6. El método de la reivindicación 1 en el que el agente de captura de CO<sub>2</sub> se selecciona entre adsorbentes sólidos y adsorbentes líquidos sobre un soporte sólido.
7. El método de la reivindicación 1 en el que el agente de captura de CO<sub>2</sub> es un adsorbente sólido que se pone en contacto con la corriente de gases de escape en un lecho fijo o un lecho fluido.
8. El método de la reivindicación 1 en el que una parte de la energía térmica de la corriente de escape se utiliza en la etapa de regeneración (d) y la compresión de la etapa (g).
9. El método de la reivindicación 1 en el que el agente de captura se mantiene en dos zonas de oscilación separadas y los gases de escape se hacen pasar a través de una de las zonas mientras la otra zona se calienta para liberar CO<sub>2</sub> y regenerar el agente de captura.
10. El método de la reivindicación 1 en el que el paso de la corriente de gases de escape en contacto con el agente de captura en la etapa (c) se discontinúa cuando la temperatura o la tasa de aumento de la temperatura del agente de captura alcanza un valor predeterminado.
11. El método de la reivindicación 1 en el que el paso de la corriente de gases de escape en contacto con el agente de captura en la etapa (c) se discontinúa cuando la presión o la tasa de aumento de la presión en un vaso que contiene el agente de captura durante su calentamiento en la etapa (d) alcanza un valor predeterminado.
12. Sistema para el tratamiento a bordo de una corriente de gases de escape que contiene CO<sub>2</sub> emitida por un motor de combustión interna (ICE) alimentado por hidrocarburos usado para propulsar un vehículo con el fin de reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> descargada a la atmósfera, comprendiendo el sistema:
- a. una zona de tratamiento a bordo del vehículo que contiene un agente de captura que tiene una capacidad predeterminada para extraer CO<sub>2</sub> de la corriente de escape, teniendo la zona de tratamiento un puerto de entrada para admitir la corriente de gases de escape y un puerto de salida para el paso de una corriente de escape tratada que tiene un contenido reducido de CO<sub>2</sub>, incluyendo además la zona de tratamiento un intercambiador de calor con un puerto de entrada para recibir la



- corriente de gases de escape caliente del ICE para el paso en una relación de intercambio de calor con el agente de captura para liberar CO<sub>2</sub> y regenerar el agente de captura, y un puerto de salida para la corriente de gases de escape enfriada,
- 5 teniendo la zona de tratamiento un puerto de salida de descarga de CO<sub>2</sub> para el CO<sub>2</sub> liberado del agente de captura regenerado;
- b. una zona de compresión en comunicación fluida con el puerto de salida de descarga de CO<sub>2</sub> de la zona de tratamiento, incluyendo la zona de compresión uno o más compresores para reducir el volumen del CO<sub>2</sub>, en la que dicho uno o más compresores se operan mediante electricidad y/o energía de trabajo recuperada por el intercambiador de calor en (a);
- 10 c. una zona de almacenamiento para recibir el CO<sub>2</sub> comprimido para el almacenamiento temporal a bordo del vehículo; y
- d. un conducto de gases de escape en comunicación fluida con el puerto de salida de la corriente de gases de escape tratada de la zona de tratamiento; y que comprende además un componente de recuperación de calor (HR) para recuperar calor y energía de la corriente de gases de escape caliente emitida por el ICE que convierte energía térmica en trabajo mecánico o energía eléctrica y en la que al menos una parte de la energía eléctrica producida por el componente de recuperación de calor (HR) se usa para operar los uno o más compresores en la zona de compresión.
- 15
- 20 13. El sistema de tratamiento de la reivindicación 12 que consiste en al menos dos subsistemas en paralelo configurados y construidos para operar en modo de oscilación, con válvulas para dirigir el escape del vehículo a uno y a continuación a otro de los al menos dos subsistemas para extracción de CO<sub>2</sub> y regenerar simultáneamente el agente de captura en otro de los al menos dos subsistemas, mediante lo cual el sistema es operable de forma continua para tratar la corriente de escape del motor.
- 25 14. El sistema de tratamiento de la reivindicación 12 que incluye una válvula desviadora para regular la cantidad volumétrica de la corriente de gases de escape que pasa a la zona de tratamiento antes de descargarse a la atmósfera, en el que dicha válvula desviadora se controla basándose en las condiciones de operación del ICE.
- 30 15. El sistema de tratamiento de la reivindicación 12 que incluye medios de control para descargar la totalidad o una parte de la corriente de gases de escape a la atmósfera sin pasar a través de la zona de tratamiento.

FIG. 1

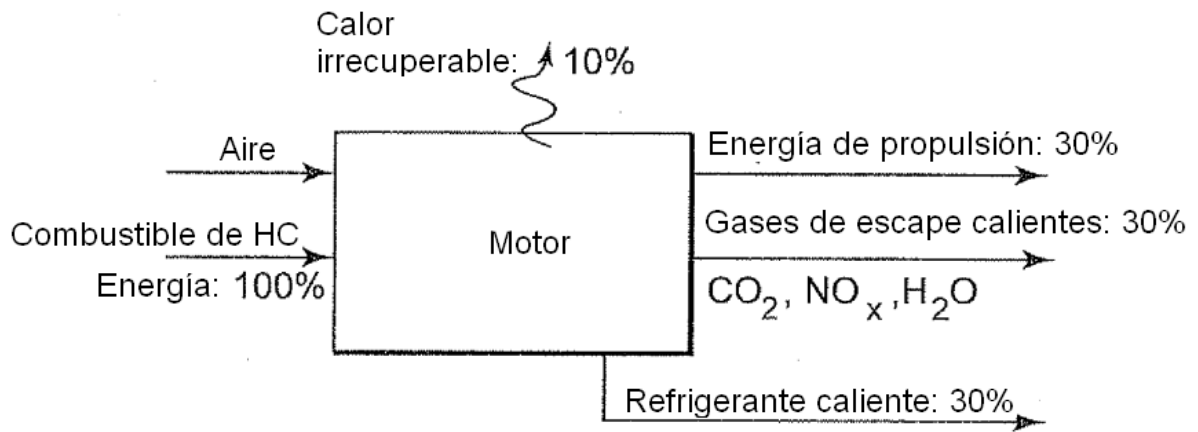
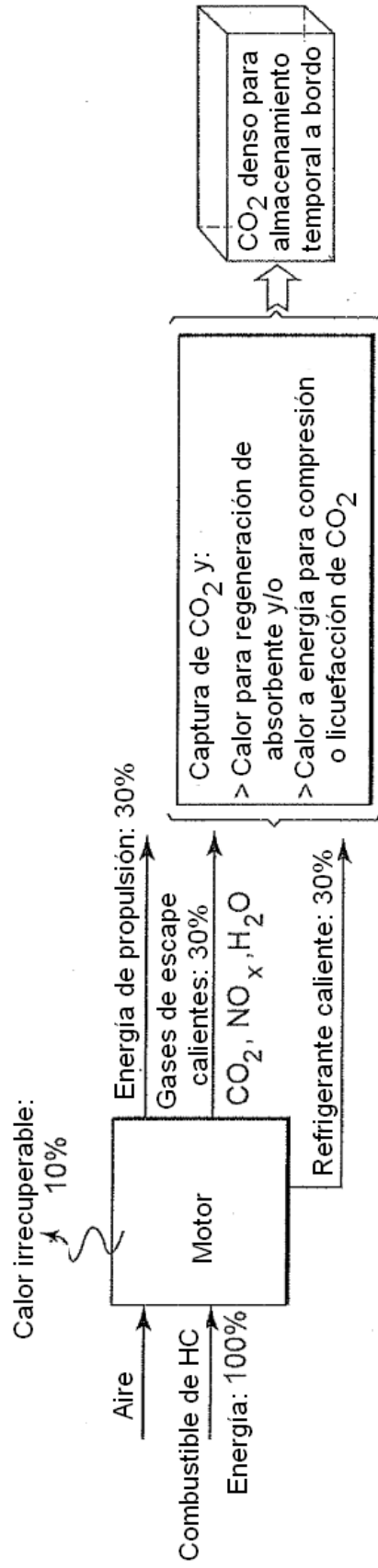


FIG. 2



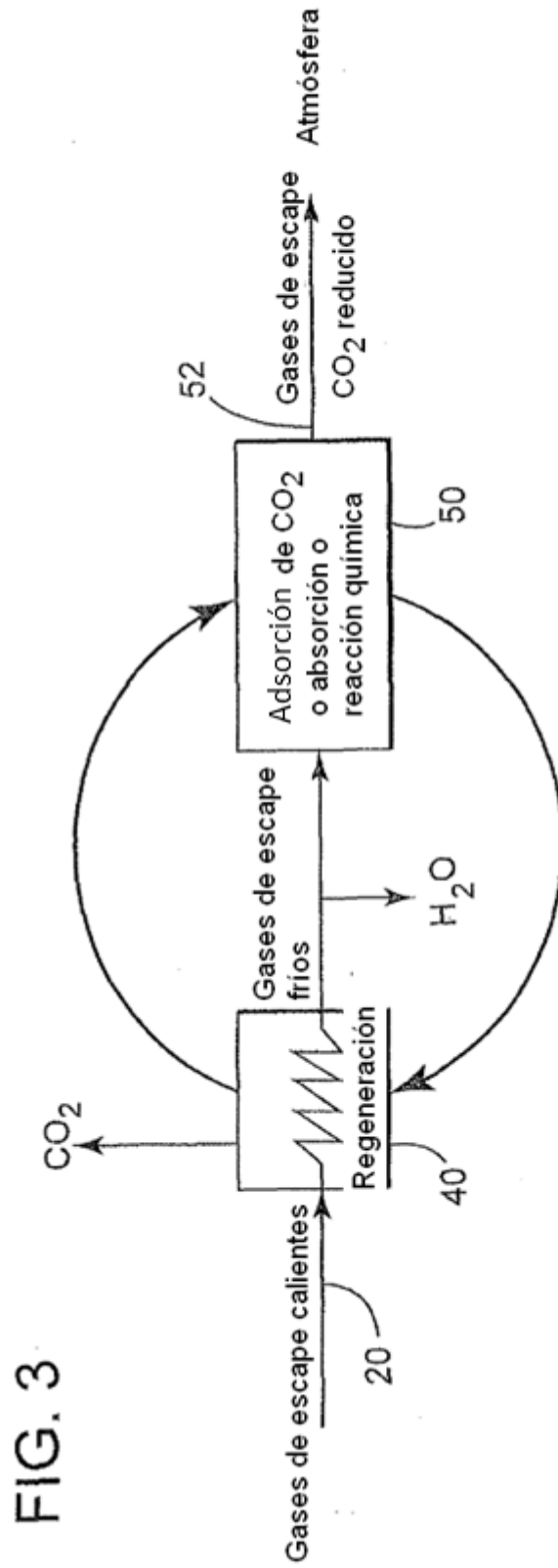


FIG. 3

FIG. 4

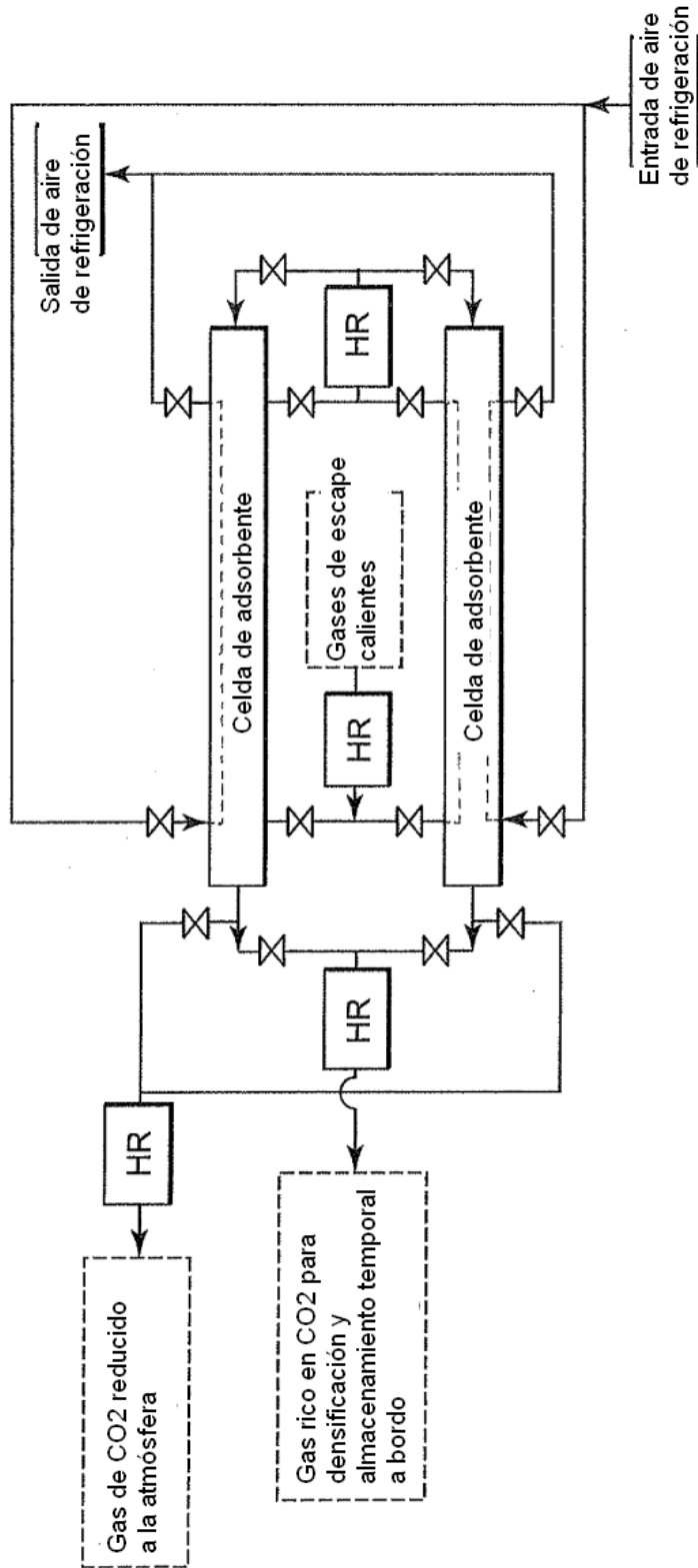


FIG. 4A

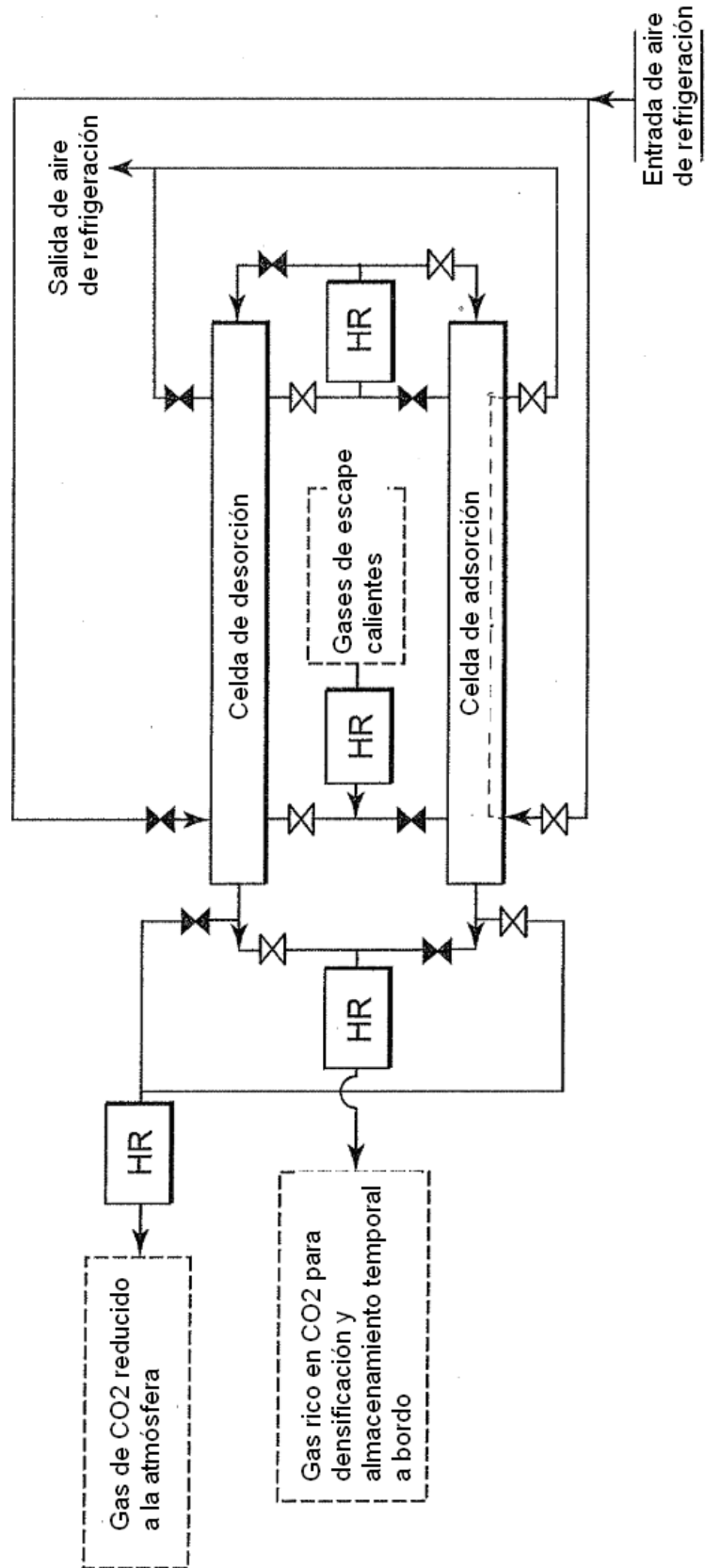


FIG. 4B

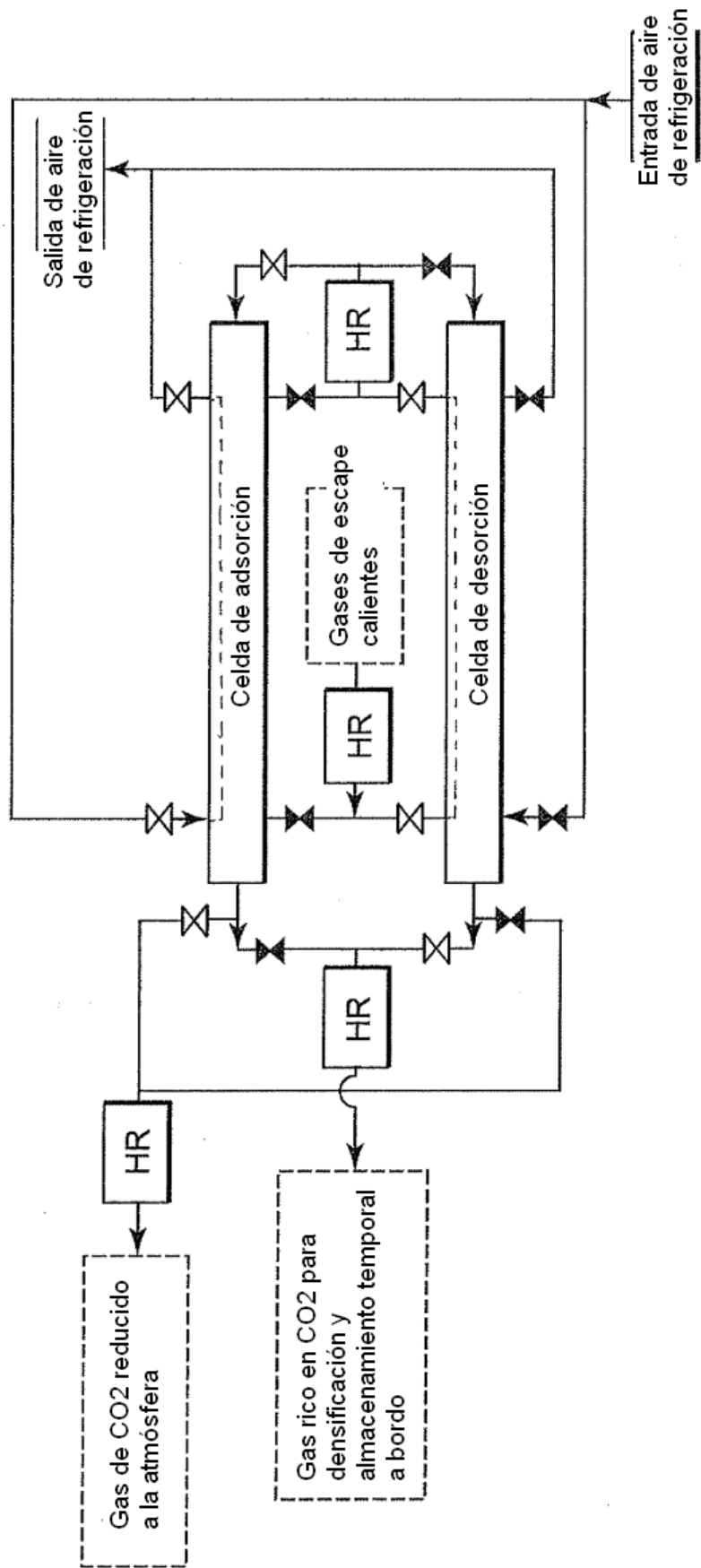


FIG. 5

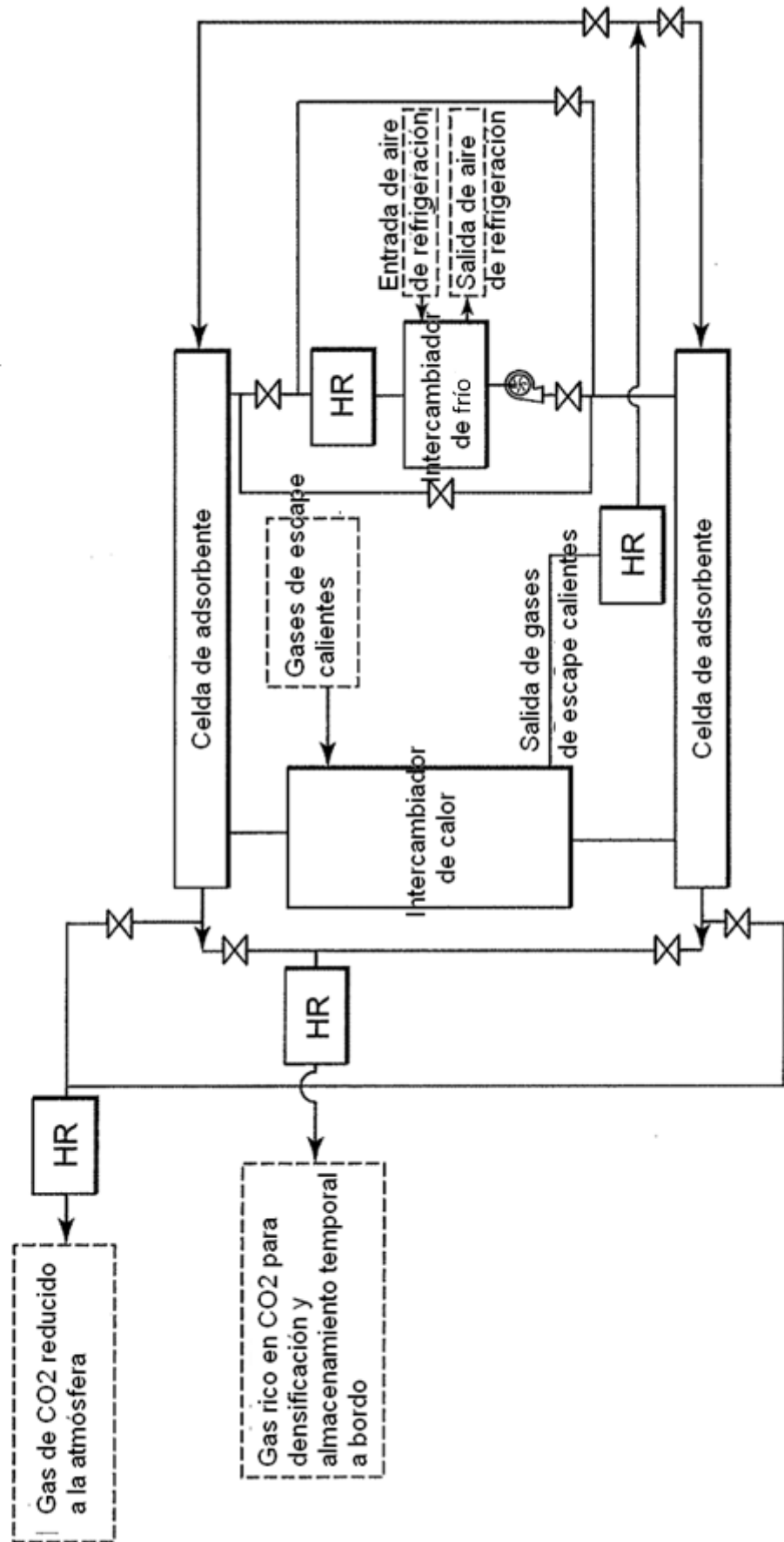




FIG. 5A

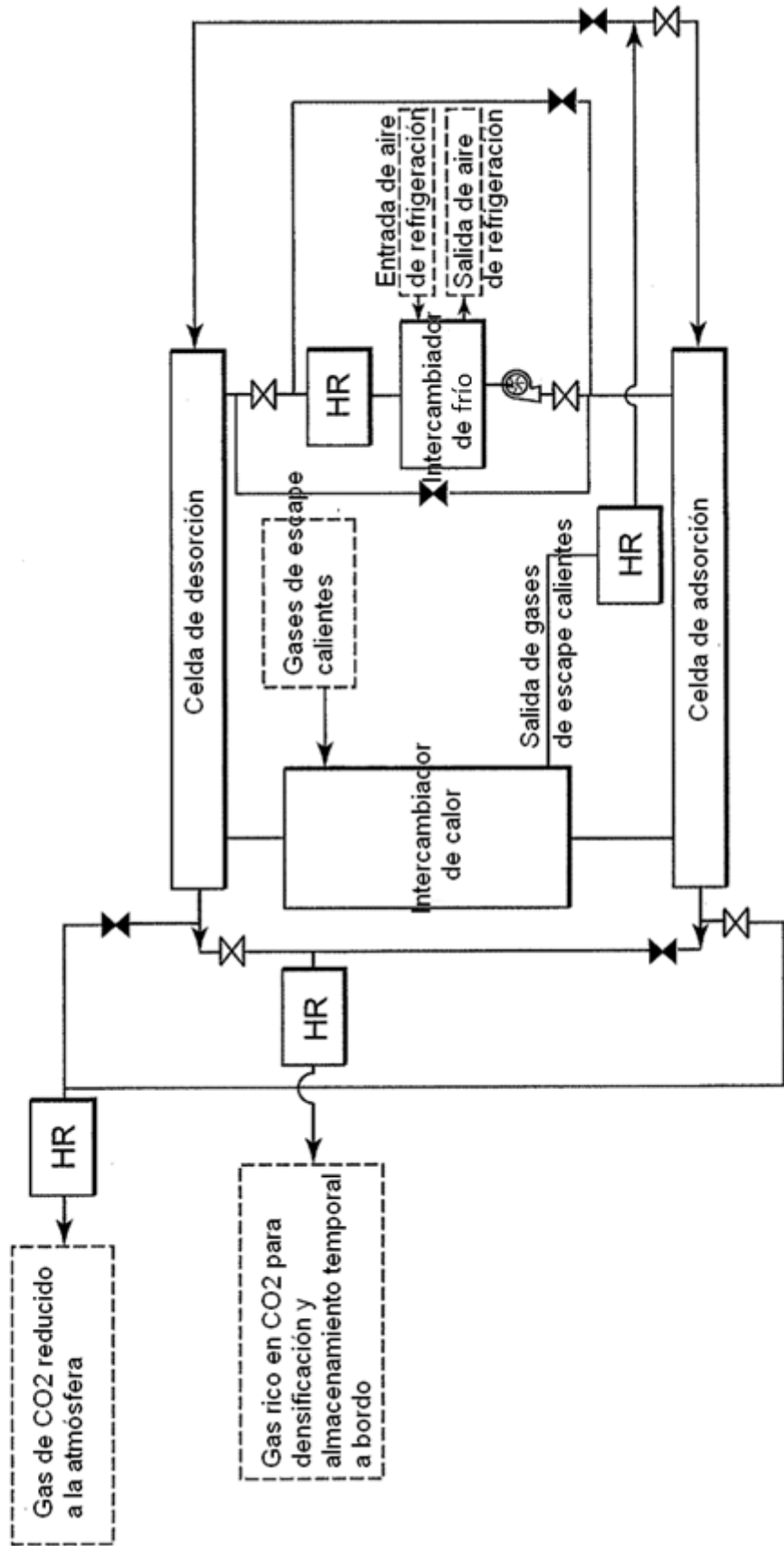


FIG. 5B

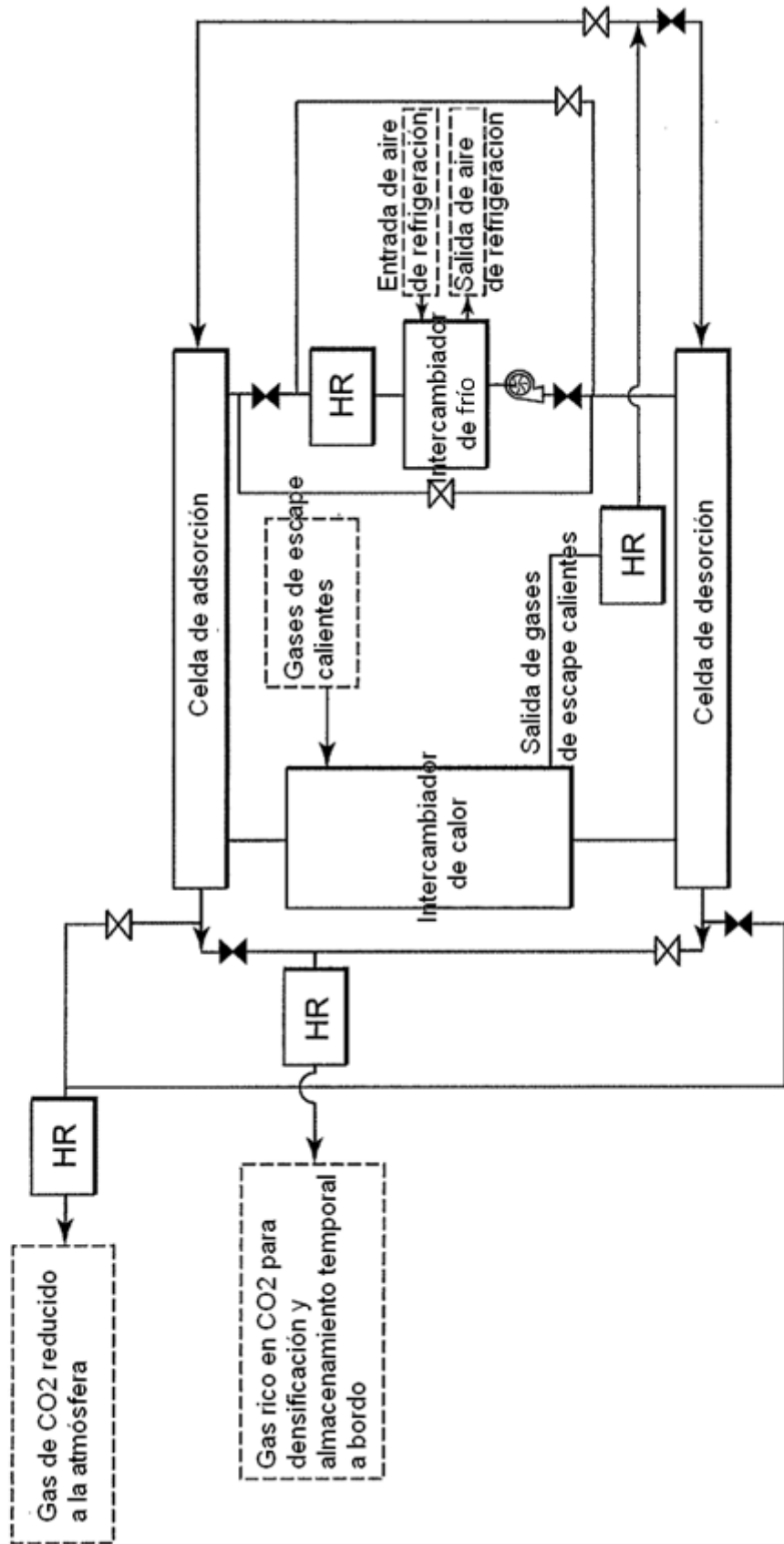


FIG. 6

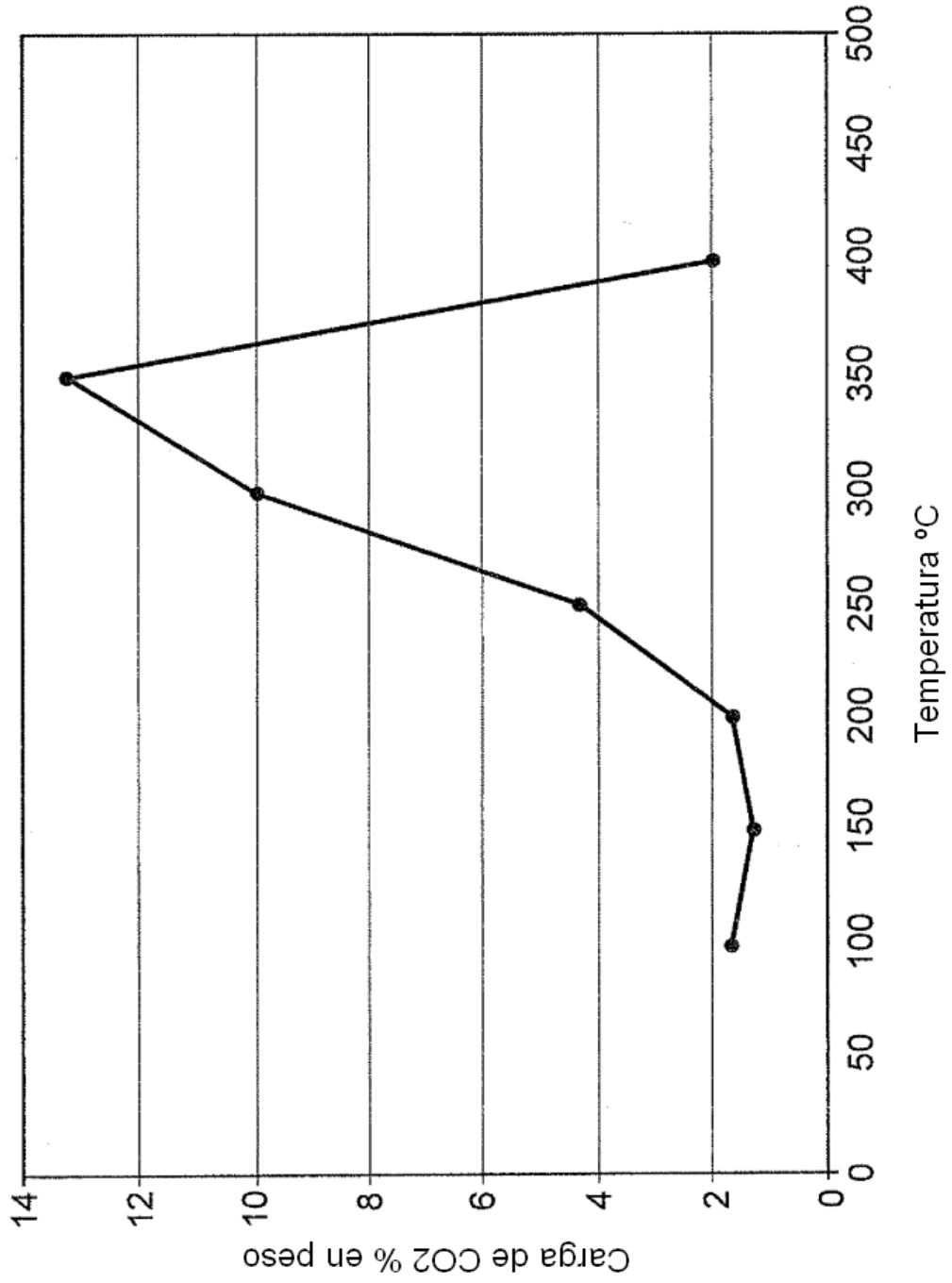


FIG. 7

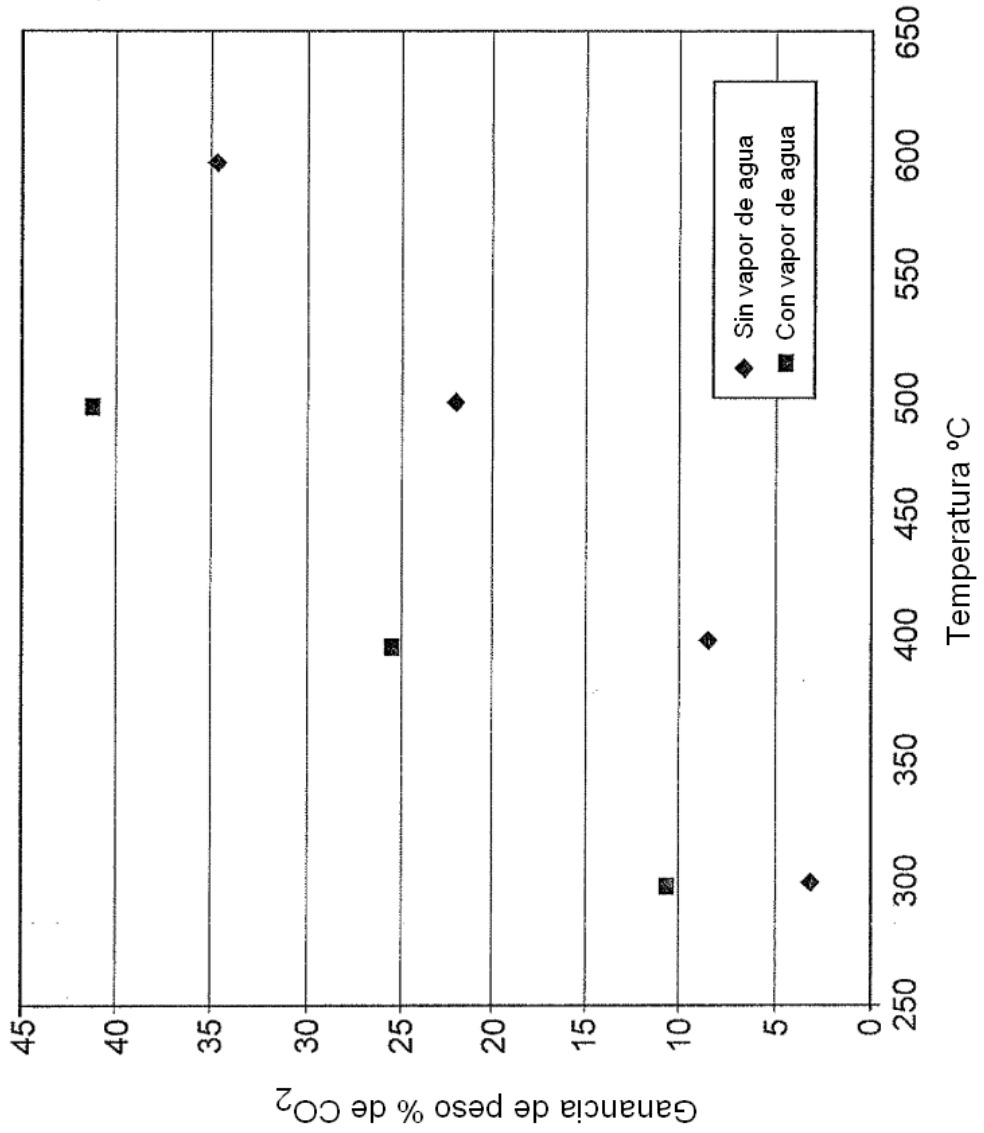


FIG. 8

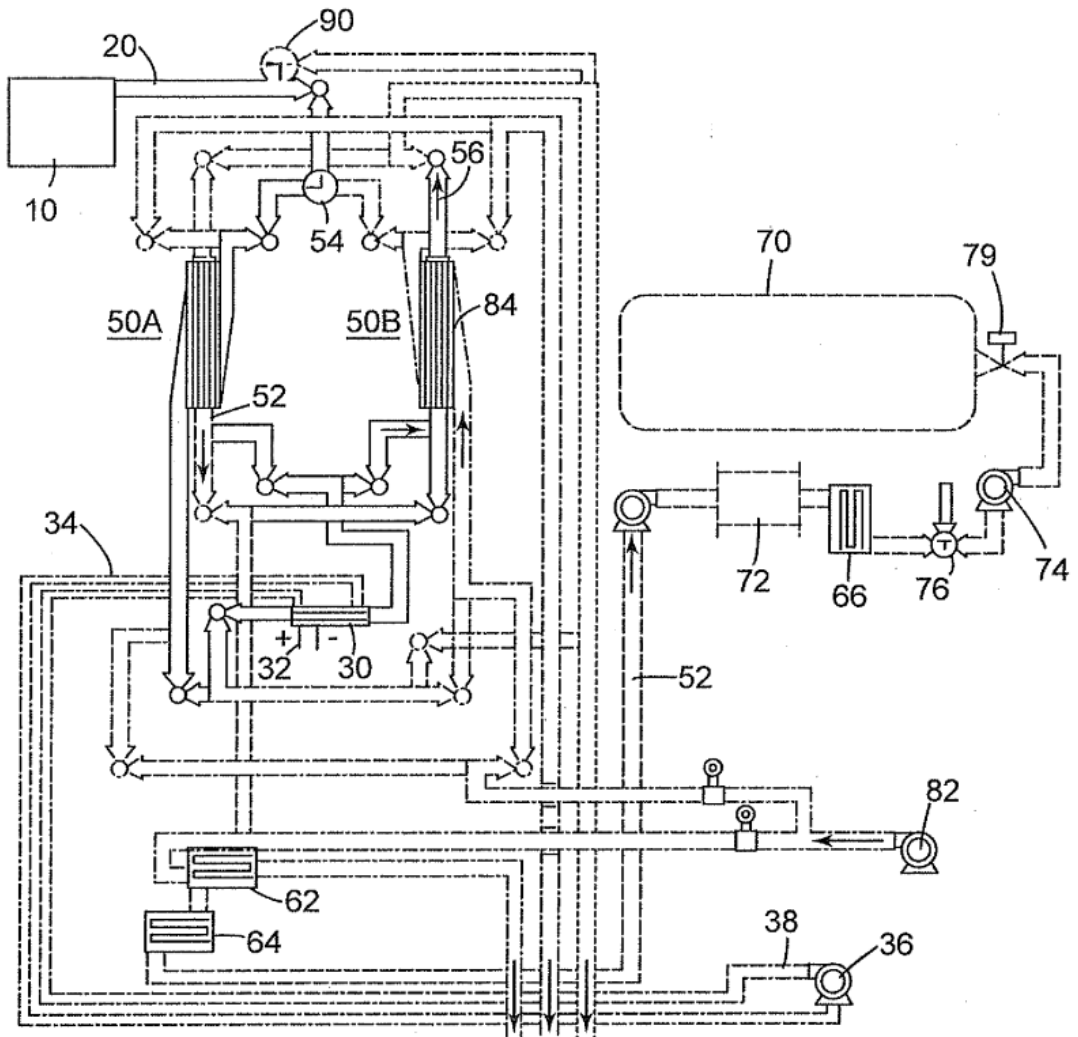


FIG. 9

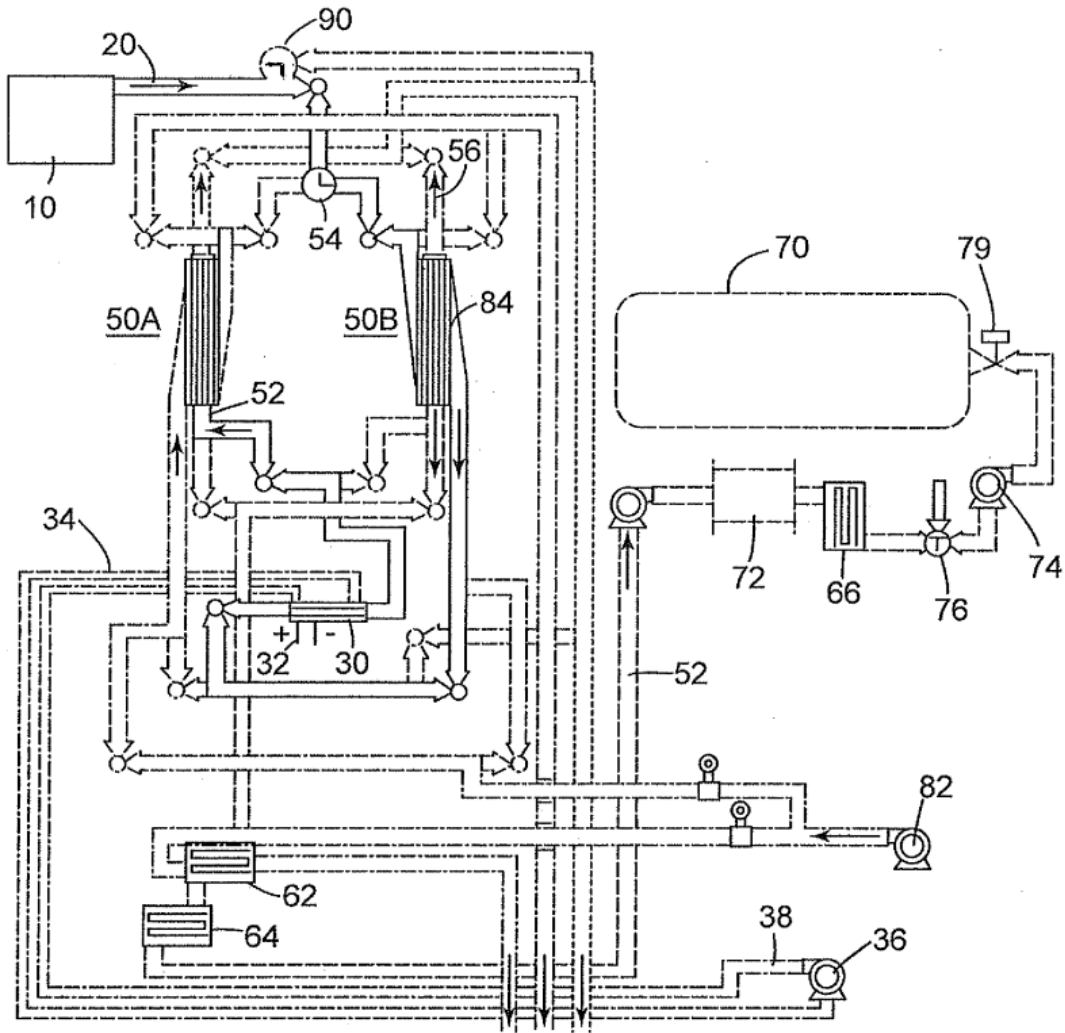


FIG. 10

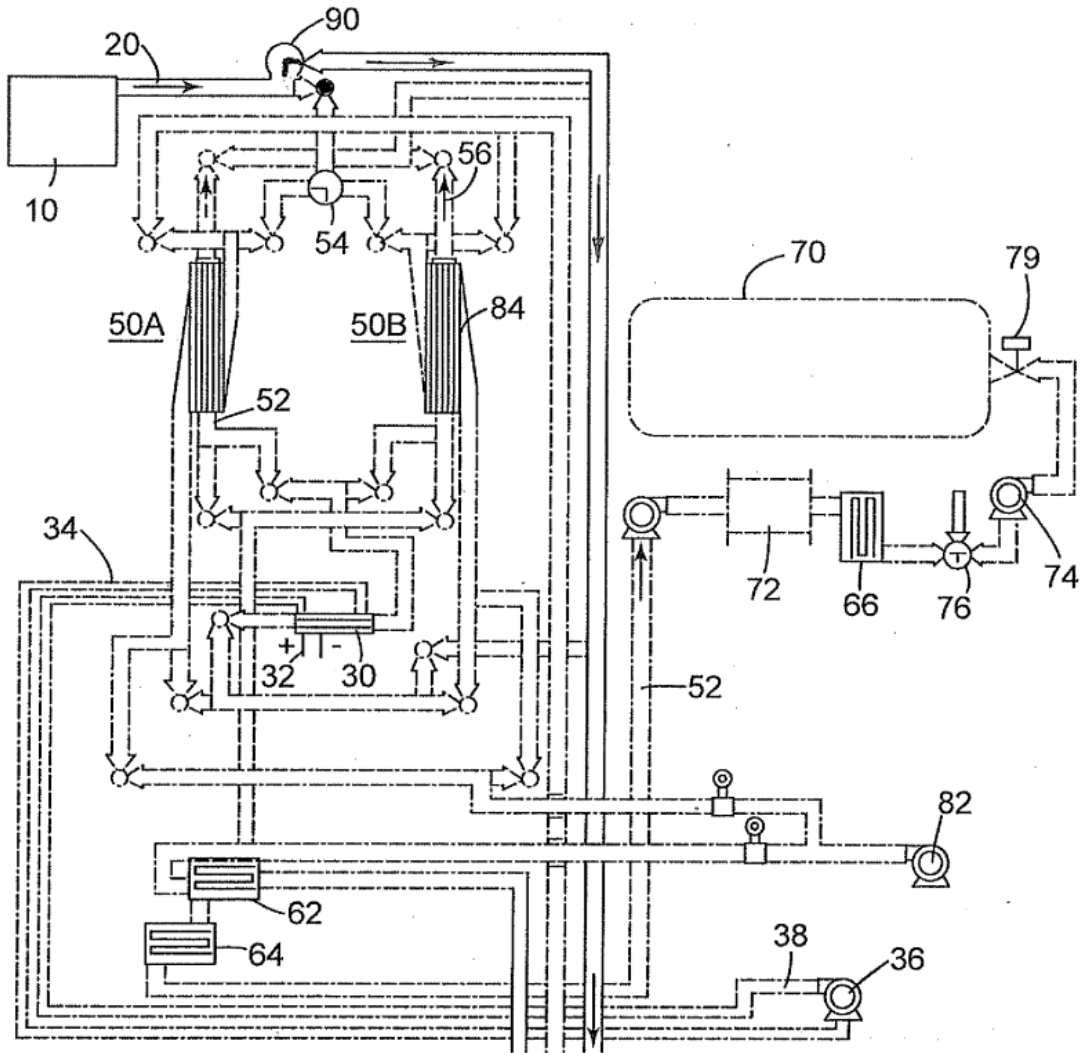
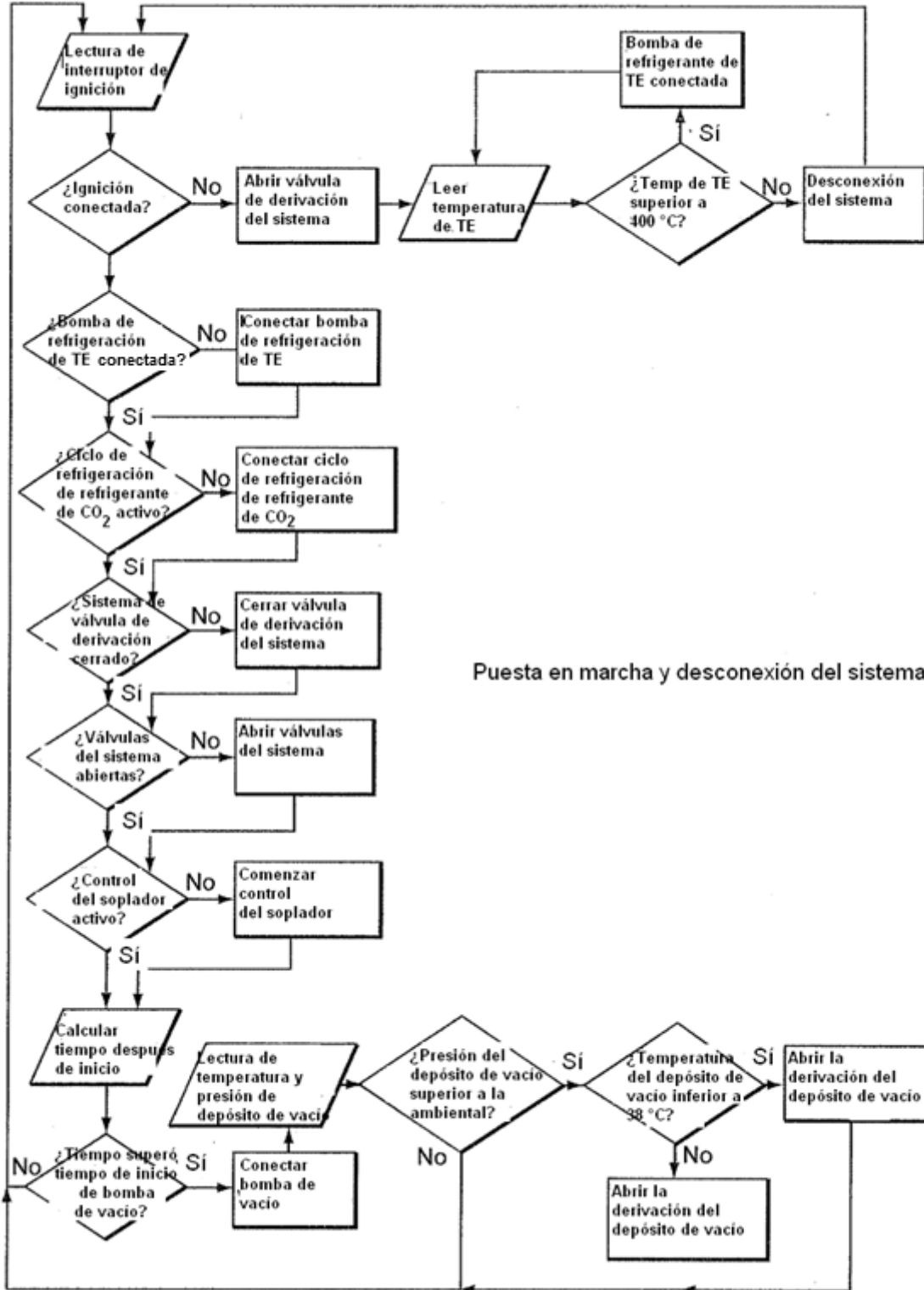
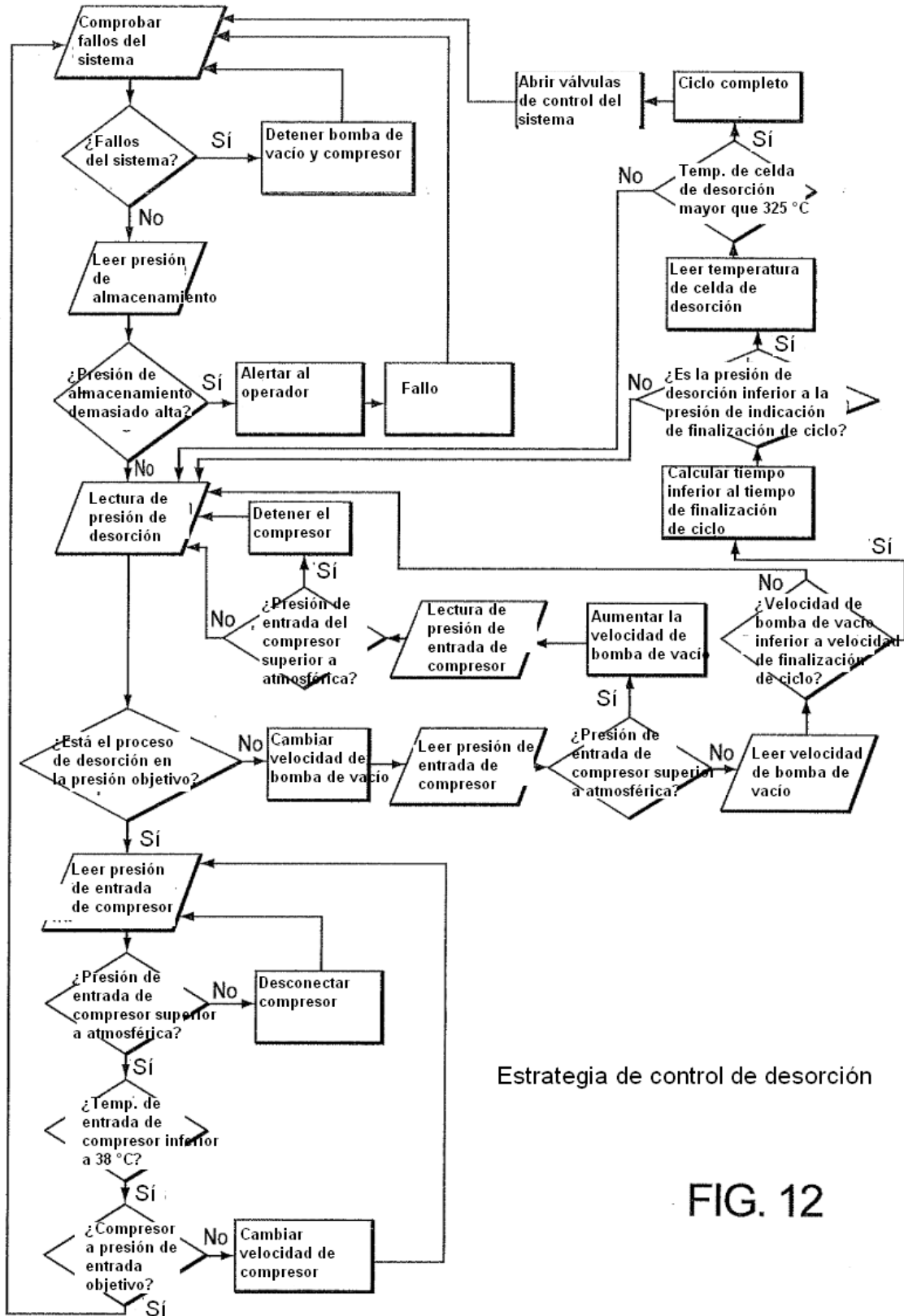


FIG. 11







Estrategia de control de desorción

FIG. 12

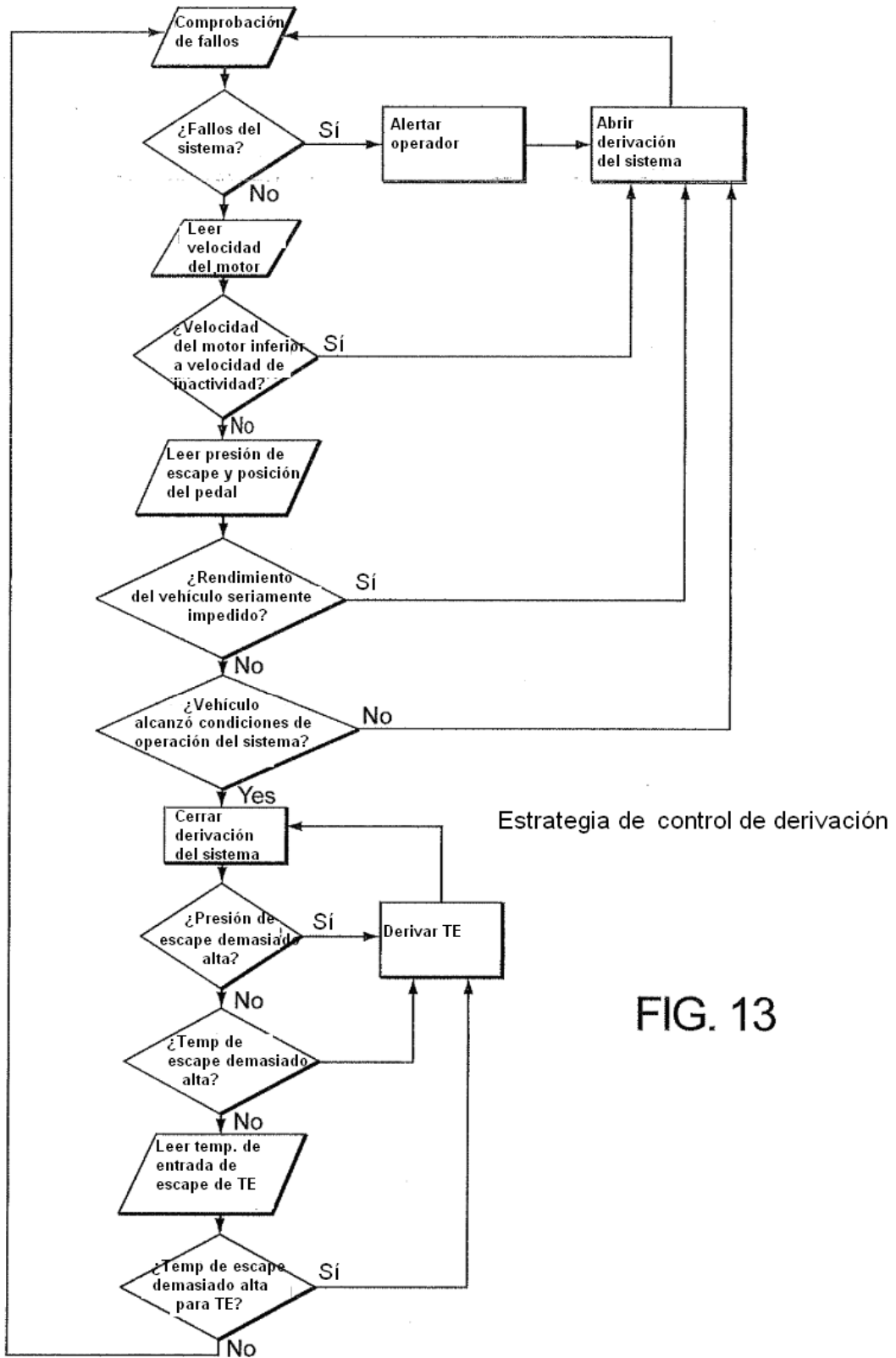
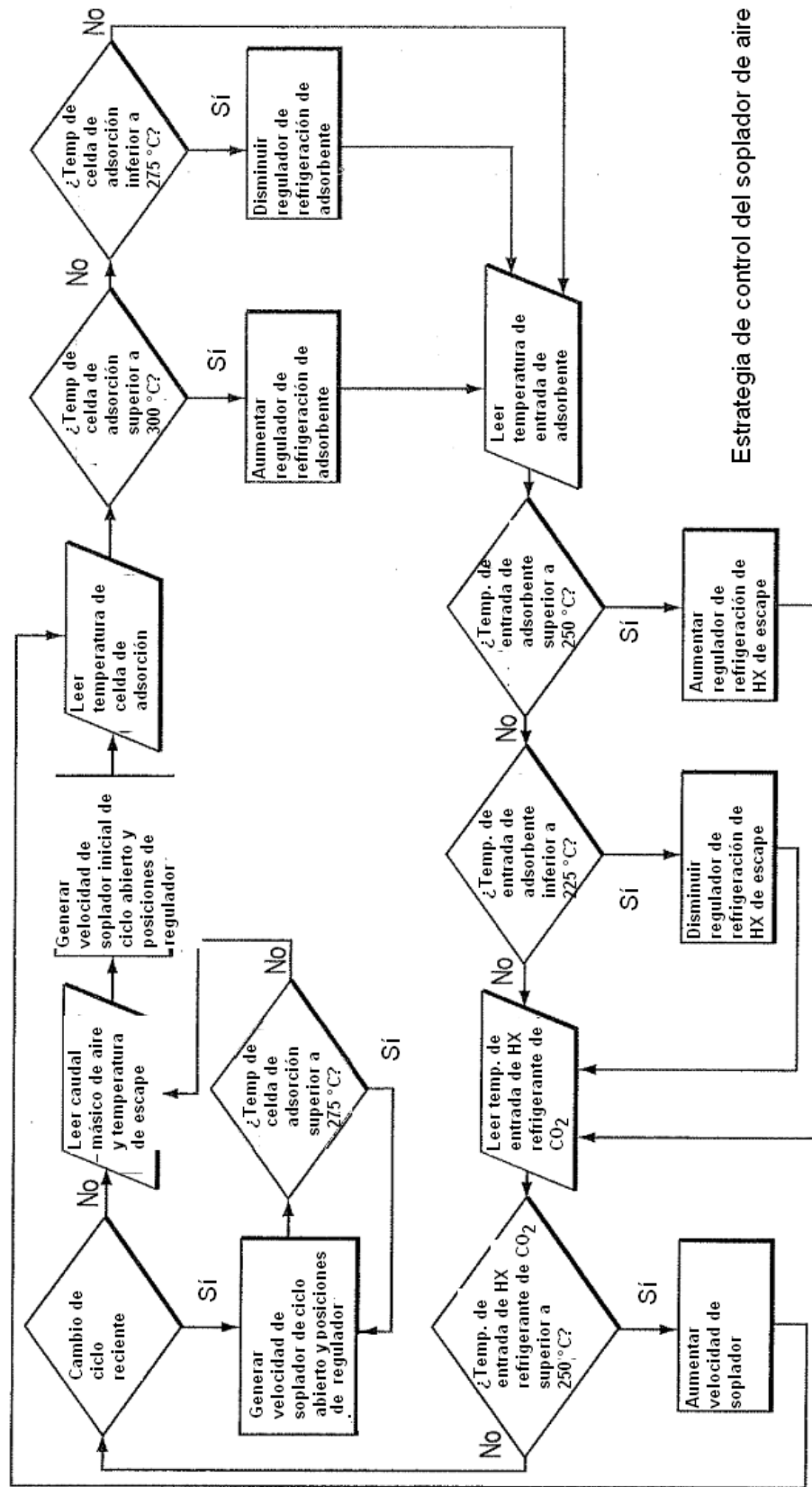


FIG. 13

FIG. 14



Estrategia de control del soplador de aire