

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 616 910**

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/US2012/022034**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.07.2012 WO2012100165**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.01.2012 E 12736347 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.12.2016 EP 2665808**

54 Título: **Recuperación y almacenamiento a bordo de CO₂ a partir de gases de escape de vehículos de motor**

30 Prioridad:

20.01.2011 US 201161434659 P

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

14.06.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

HAMAD, ESAM, ZAKI

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 616 910 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

Recuperación y almacenamiento a bordo de CO₂ a partir de gases de escape de vehículos de motor

5 Campo de la invención

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

10 Antecedentes de la invención

La consideración actualmente aceptada es que el calentamiento global se debe a las emisiones de gases de efecto invernadero tales como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄). Actualmente se estima que aproximadamente un cuarto de las emisiones globales de CO₂ originadas por el hombre proceden de fuentes móviles, es decir, automóviles, camiones, autobuses y trenes que están impulsados por motores de combustión interna (MCI). Esta contribución proporcional es posible que crezca rápidamente en un futuro próximo con el auge pronosticado en cuanto a la posesión de automóviles y camiones en los países desarrollados. En este momento, el sector del transporte es un mercado importante para el petróleo crudo, y el control de las emisiones de CO₂ es tanto una responsabilidad medioambiental como un fin deseable a fin de mantener la viabilidad del mercado del petróleo crudo en el sector del transporte frente a los retos de las tecnologías alternativas, por ejemplo, coches impulsados por motores eléctricos y baterías de almacenamiento.

El control del dióxido de carbono a partir de fuentes móviles presenta muchos retos que incluyen las limitaciones de espacio y peso, la falta de cualquier economía de escala y la naturaleza dinámica de la operación de los MCI que impulsan las fuentes móviles.

Los métodos de la técnica anterior para la captura del CO₂ de los gases de combustión se han centrado principalmente en fuentes estacionarias, tales como las plantas de energía. Aquellos que se dirigen al problema de reducir las emisiones de CO₂ procedentes de fuentes móviles emplean la combustión usando oxígeno, no proporcionan medios para la regeneración y la reutilización del agente de captura del CO₂ y/o no hacen uso del calor residual recuperado de la fuente de calor. La combustión usando oxígeno requiere una etapa de separación oxígeno-nitrógeno que requiere más energía que la separación del CO₂ de los gases de escape y sería más difícil si se intentara a bordo del vehículo.

La tecnología de captura del CO₂ se ha centrado en las fuentes estacionarias o fijas. Se han desarrollado procesos que usan líquidos y soluciones de aminas y aminas funcionalizadas para absorber el CO₂ a temperaturas que varían desde temperatura ambiente hasta aproximadamente 80 °C. A temperaturas por encima de 100 °C y, en particular, en el intervalo de aproximadamente 130 °C a 300 °C, que se encuentran en los vehículos impulsados por un MCI, las aminas exhiben una baja capacidad de adsorción del CO₂. Así, la alta temperatura del gas de escape de un MCI hace que el tratamiento directo para eliminar el CO₂ con soluciones de aminas líquidas sea poco práctico.

La solicitud de patente JP 2007-177684 A divulga un sistema para absorber el CO₂ de los gases de escape emitidos por un MCI, mediante compresión de dichos gases en presencia de un material sorbente de CO₂; el sorbente se regenera después mediante la desorción del CO₂ poniéndolo en contacto con un tubo de refrigeración del motor, aprovechando de este modo el calor generado por el motor.

La captura del CO₂ a partir fuentes móviles se ha considerado por lo general demasiado cara, ya que implica un sistema distribuido con una economía de escala inversa. La solución al problema parecía irrealizable debido a las limitaciones de espacio a bordo del vehículo, los requerimientos del aparato y de energía adicional y la naturaleza dinámica del ciclo operativo del vehículo, por ejemplo, periodos intermitentes de rápida aceleración y deceleración.

Por tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un método, un sistema y un aparato que aborde los problemas de la reducción eficaz y rentable de las emisiones de CO₂ de los vehículos mediante el almacenamiento temporal a bordo del CO₂. La capacidad para la producción en masa de tales sistemas compensará, al menos parcialmente, otros costes asociados a la naturaleza distribuida de estas fuentes móviles.

Tal como se usa en el presente documento, la expresión "motor de combustión interna" o MCI, incluye motores térmicos en los que un combustible que contiene carbono se quema para producir potencia o trabajo y genera un calor residual que debe ser eliminado o disipado.

Tal como se usa en el presente documento, la expresión "fuente móvil" significa cualquiera de la amplia variedad de medios de transporte conocidos que se pueden usar para transportar mercancías y/o personas y que están impulsados por uno o más motores de combustión interna los cuales producen una corriente de gases de escape que contienen CO₂. Esto incluye todos los tipos de vehículos de motor que se desplazan por tierra, así como trenes y barcos en los que los gases de escape del MCI se descargan en un conducto de contención antes de ser descargados a la atmósfera.

El término "vehículo", tal como se usa en el presente documento, se ha de entender que es una forma abreviada conveniente y sinónima de "fuente móvil" y tiene el mismo alcance que "medios de transporte", tal como se ha usado esta expresión anteriormente.

5 Tal como se usa en el presente documento, la expresión "agente de captura del CO₂" y "agente de captura" significa un líquido absorbente o una composición o un material adsorbente sólido finamente dividido, por ejemplo, un adsorbente sólido fluido en forma de polvo, que tiene una capacidad predecible para absorber o adsorber CO₂ de forma reversible a lo largo de un número significativo de ciclos de absorción/adsorción y desorción. El adsorbente sólido en polvo tiene la capacidad, en las condiciones apropiadas, de ser bombeado, o transportado de otro modo, como si fuera fluido. Un material adsorbente sólido fluido se puede transportar mediante cualquier medio conocido en la técnica, tal como mediante transportadores de tornillo mecánicos, medios neumáticos, y similares. Los términos significan también una suspensión fluida de un material adsorbente sólido en un líquido, en la que el líquido opcionalmente es capaz de absorber CO₂ mediante contacto, o en la que la suspensión forma un nuevo compuesto, por ejemplo, un hidrato.

15 Tal como se usa en el presente documento, la expresión "calor residual" es el calor que produce normalmente un motor y que está contenido principalmente en los gases de escape calientes (~ 300 °C-650 °C) y en el refrigerante caliente (~ 90 °C-120 °C). Se emite y se pierde calor adicional mediante convección y radiación a partir del bloque del motor y componentes asociados, y de otros componentes a través de los cuales pasan los gases de escape, incluyendo el colector de escape, los tubos, el convertidor catalítico y el silenciador. Esta energía térmica asciende a aproximadamente el 60 % de la energía que proporcionan los combustibles hidrocarbonados (HC) normales.

Sumario de la invención

25 La invención comprende en términos generales un método de acuerdo con la reivindicación 1 y un sistema de acuerdo con la reivindicación 9 para el tratamiento a bordo de una corriente de gases de escape que contiene CO₂ emitida por un motor de combustión interna (MCI) impulsado por combustibles hidrocarbonados y usado para proporcionar energía al vehículo a fin de reducir la cantidad de CO₂ descargado a la atmósfera.

30 El método y el sistema de la presente invención comprenden la absorción o adsorción del CO₂ de la corriente de gases de escape de un MCI a bordo del vehículo usando un absorbente líquido, o un adsorbente en polvo fluido, o una suspensión que tiene ambas propiedades, respectivamente, como agente de captura del CO₂. En una realización preferente, la absorción es reversible, por ejemplo, tal como aumentando la temperatura y/o reduciendo la presión para causar la liberación del CO₂ absorbido/adsorbido y la regeneración del material absorbente/adsorbente para su uso posterior.

35 Por conveniencia al describir más a fondo la invención, se hará referencia al absorbente líquido y al proceso de absorción por un líquido, entendiéndose que la descripción es igualmente aplicable al adsorbente en polvo fluido y al proceso de adsorción, y también al proceso que emplea una suspensión que puede incluir, opcionalmente, tanto la adsorción por el sólido como la absorción por los componentes líquidos, así como la formación de un compuesto hidrato, por ejemplo, un hidrato clatrato.

40 La presente invención resuelve los problemas de las limitaciones de espacio y de los requerimientos de energía auxiliar usando la energía libre que está disponible a bordo del vehículo en forma de calor residual para capturar el CO₂ y aumentar su densidad para un almacenamiento temporal hasta el repostaje. La invención consiste en (a) un método de separación por absorción que usa un agente de captura para eliminar todo o una porción sustancial del CO₂ de los gases de escape del motor; (b) la recuperación del CO₂ esencialmente puro y la regeneración del agente de captura usando parte del calor residual del motor y, opcionalmente, (c) la conversión de parte del calor residual del motor en potencia, es decir, energía de trabajo; y (d) el uso de esta potencia para aumentar la densidad del CO₂ capturado para su almacenamiento temporal a bordo. El uso del calor residual para proporcionar la energía para la captura, la regeneración y la densificación reduce significativamente el coste de la captura, y la densificación reducirá el requerimiento de volumen para el almacenamiento temporal del CO₂ a bordo. La conversión del calor residual en energía eléctrica u otras formas de energía utilizables reduce también la cantidad de combustible que se asigna a la etapa de densificación y, de este modo, la cantidad global de CO₂ en la corriente de gases de escape asociada a la potencia de salida o trabajo efectuado por el MCI.

45 La invención comprende además el uso opcional de una porción de la potencia del motor para operar un compresor de CO₂. La potencia del motor se podría utilizar cuando el motor está en funcionamiento en su modo de deceleración y sirve para ralentizar el motor, y cuando el motor está en reposo. Se pueden usar un procesador y un controlador de a bordo para conectar el eslabón motriz del compresor al motor en unas determinadas condiciones de operación del motor adecuadas.

50 La invención se puede usar en un amplio rango de fuentes móviles tales como vehículos de pasajeros, camiones, autobuses, vehículos pesados, trenes, barcos y similares que operan mediante la combustión de combustibles fósiles o combustibles hidrocarbonados. El sistema y el aparato de la invención se pueden instalar en nuevas fuentes móviles y/o mediante retroadaptación de fuentes móviles existentes.

La presente invención se basa en la integración de diversos componentes para formar un sistema para la captura, la densificación y el posterior almacenamiento temporal del CO₂ de post-combustión eficaces a bordo de los medios de transporte usando el calor residual recuperado del MCI del vehículo. El sistema puede incluir (a) una zona de tratamiento para absorción/separación para la captura del CO₂ de los gases de escape del motor; (b) una zona de regeneración para la liberación del CO₂ del agente de captura que usa una parte del calor residual del motor; (c) una zona de conversión en la que parte del calor residual se convierte en potencia (energía de trabajo); y (d) una zona de densificación en la que la potencia derivada del calor residual se emplea en aumentar la densidad del CO₂ capturado, y una zona de almacenamiento para el almacenamiento temporal a bordo. En la práctica del método de la invención, todos o una porción sustancial de los requerimientos de energía para operar el sistema provienen del calor residual del MCI.

El calor residual que produce un motor normal consiste principalmente en gases de escape calientes (~ 300 °C a 650 °C) y en el refrigerante caliente (~ 90 °C a 120 °C). Tal como se muestra en el diagrama de la Fig. 1, esta energía térmica asciende a aproximadamente el 60 % de la energía que producen los combustibles hidrocarbonados (HC) normales tras su combustión en un MCI. Es necesaria energía para separar el CO₂ de los gases de escape y para comprimir, licuar o congelar todo o parte del CO₂ capturado para un almacenamiento eficaz a bordo. Esta energía es normalmente una mezcla de energía de trabajo y energía térmica. El componente de trabajo de la energía se genera usando parte del calor residual para producir este trabajo. Parte del calor residual se puede usar para regenerar cualquier material usado en la separación del CO₂, tal como un absorbente o un carbonato sólido que se forma como producto de reacción.

La separación del CO₂ de los gases de escape tiene lugar mediante uno o más de los procesos reversibles de absorción física, absorción química, y/o una reacción química para formar carbonatos u otros compuestos. Estos mecanismos son bien conocidos en el campo, y algunos se muestran esquemáticamente en las Fig. 2 y 3. Tal como se muestra en la Fig. 2, aproximadamente un 60 % del valor energético del combustible se convierte en calor residual, porciones del cual se pueden usar para desorber el CO₂ y regenerar el agente de captura y para generar energía eléctrica y otras formas de energía, o trabajo requerido para comprimir el CO₂. La Fig. 3 ilustra un ejemplo del uso del calor del gas de escape para desorber el CO₂ y regenerar el agente de captura. El agua se elimina también en forma de condensado a partir de los gases de escape enfriados, y los gases de escape con un contenido de CO₂ reducido se pueden descargar a la atmósfera.

En una realización, la temperatura de toda o de una porción predeterminada de la corriente de gases de escape se reduce primero mediante intercambio de calor a fin de optimizar la adsorción de CO₂. El intercambio de calor se efectúa con un dispositivo apropiado usando agua u otro líquido, o un refrigerante de aire ambiente, o una combinación de ambos. Una porción predeterminada de la corriente de gases de escape enfriada se desvía para la captura del CO₂ mediante contacto con una solución de amina líquida y/o amina funcionalizada conocida. El flujo volumétrico del gas de escape que se puede tratar eficazmente para eliminar o reducir el CO₂ presente se predetermina basándose en el tipo y características del intercambiador de calor y del fluido o fluidos refrigerantes usados. Por ejemplo, en regiones geográficas en las que las temperaturas del aire ambiente son relativamente bajas debido a la altitud, el cambio estacional, el rápido enfriamiento nocturno, y similares, se puede tratar una proporción volumétrica mayor de la corriente de gases de escape. El resto de la corriente de gases de escape sin tratar, si queda, se descarga a la atmósfera. Es preferente optimizar la operación del sistema de captura con una amina líquida para minimizar el tamaño del aparato y el volumen de líquido, a fin de economizar capital y costes de repuestos, y para minimizar el peso que añade el sistema al vehículo. La capacidad de enfriamiento del intercambiador de calor se puede determinar basándose en las condiciones ambientales promedio conocidas para la región geográfica en la que se va a usar el vehículo.

Asumiendo variaciones estacionales de las temperaturas ambiente, el sistema se puede programar usando controladores/procesos de control del motor bien conocidos y disponibles en el mercado para dejar entrar una proporción mayor de la corriente de gases de escape en el intercambiador de calor, por ejemplo, en invierno cuando las temperaturas del aire son más bajas, y una proporción menor en verano cuando las temperaturas suben. El flujo volumétrico se puede controlar mediante una válvula de control del desvío de la corriente de los gases de escape. El controlador de la válvula se puede programar para que responda a los datos de temperatura de uno o más sensores del aire ambiente, la corriente de gases de escape, la temperatura de salida del refrigerante o refrigerantes del intercambiador de calor y/o la temperatura del líquido en el absorbedor. Así, la estrategia de control para la automatización de la determinación de la fracción de la corriente de gases de escape desviada para el enfriamiento y absorción del CO₂ frente a la fracción descargada a la atmósfera se basa en maximizar la cantidad de CO₂ eliminado y densificado. La válvula de desvío de salida se puede programar para descargar todos o sustancialmente todos los gases de escape al entorno en condiciones de operación del motor de rápida aceleración, carga pesada, frenada súbita, o similares, en las que la condición de estado estacionario se interrumpe temporalmente y la temperatura, la presión y otras señales del sensor no pueden ser procesadas de modo fiable por la unidad de control del motor u otro controlador programado a fin de optimizar la captura del CO₂ para su densificación en tiempo real.

El uso específico en el espacio limitado que se puede proporcionar a bordo de fuentes móviles requiere un análisis riguroso de muchos parámetros. La regeneración del agente de captura tendrá lugar preferentemente a bordo mediante un proceso de variación de la temperatura o de variación de la presión. Sin embargo, en el caso de que el

agente de captura posea una muy alta capacidad que sirva tanto para capturar como para densificar el CO₂, la regeneración se puede completar durante el repostaje o en una estación fija. El material absorbente se puede mantener en un cartucho u otro contenedor extraíble que se puede retirar para la regeneración en una instalación apropiada. Se pueden instalar múltiples cartuchos en paralelo para la operación prolongada de un vehículo.

Las etapas de regeneración y densificación pueden transcurrir simultáneamente. Si se calienta un agente de captura, este comenzará a liberar CO₂. Si no se elimina el CO₂ o no se proporciona un espacio de expansión, se acumulará entonces CO₂ a alta presión y a alta temperatura. En este caso, la regeneración del agente de captura no será tan completa como cuando se elimina el CO₂ liberado. Sin embargo, la misma capacidad dinámica del líquido se puede mantener aumentando la temperatura de regeneración.

En una realización preferente, el CO₂ liberado del agente de captura en un aparato que creará una presión positiva y la entrada del compresor de CO₂ producirán una zona de baja presión aguas abajo, lo que dará como resultado el flujo de la corriente de gas CO₂ desorbido para la compresión. La retirada del CO₂ durante la desorción se puede facilitar también mediante una bomba de vacío aguas abajo del compresor de CO₂. Cuando se ha desorbido una cantidad predeterminada del CO₂, la unidad de absorción puede volver a operar para recibir la corriente de gases de escape. En un modo preferente de operación, el sorbente líquido o sólido fluido se hace circular a través de la zona de adsorción y la zona de desorción, lo que contrasta con la operación en lotes, por ejemplo, como en la variación térmica usando sorbentes sólidos.

La formación de CO₂ denso para un almacenamiento temporal a bordo eficaz se consigue mediante compresión, licuefacción o congelado del gas para formar CO₂ sólido, es decir, hielo seco. La densidad final del CO₂ estará en el intervalo de 5-1600 kg/m³, dependiendo de su estado, es decir, gas, líquido y/o sólido. Al menos una parte de la energía de trabajo total requerida para la densificación se obtiene del calor residual usando la conversión calor-trabajo.

Durante el inicio del ciclo de captura del CO₂, o para cumplir un requerimiento de otras necesidades operacionales especiales, se puede usar parte de la potencia del motor o, de modo alternativo, la electricidad almacenada en baterías de a bordo. Durante la operación en estado estacionario normal del sistema, al menos una porción de la energía requerida para la captura y la densificación del CO₂ procederá del calor residual del MCI.

Una ventaja que posee la presente invención con respecto a los procesos de la técnica anterior para reducir las emisiones de CO₂ a partir de fuentes fijas es la fácil disponibilidad de calor residual a una temperatura de relativamente alta a moderada. El coste de la energía térmica es un punto importante en cuanto al gasto para la captura de CO₂ en fuentes fijas ya que la temperatura de los gases de una instalación de generación eléctrica alimentada con gas o carbón se ha reducido a fin de maximizar los valores energéticos del combustible y minimizar también la descarga de contaminantes tales como SO_x y de calor residual al entorno.

Breve descripción de las figuras

La invención se describirá con más detalle a continuación y con referencia a las figuras adjuntas en las que se identifican los mismos o similares elementos por el mismo número, y en las que:

La Fig. 1 es una ilustración esquemática de la conversión de la energía del combustible hidrocarbonado en calor y potencia, o trabajo, por un motor de combustión interna normal;

La Fig. 2 es una ilustración esquemática que incorpora la Fig. 1 y el método de la presente invención;

La Fig. 3 es una ilustración esquemática de una realización del método de la presente invención usando calor residual procedente del MCI para regenerar el agente de captura;

La Fig. 4 es una ilustración esquemática de una realización de un sistema y aparato que emplea un agente de captura líquido y dispositivos de recuperación de calor representativos.;

La Fig. 5 es una ilustración esquemática de otra realización en la que se utiliza un refrigerante de motor absorbente como agente de captura;

La Fig. 6 es una ilustración esquemática de una realización en la que se utiliza una suspensión como agente de captura;

La Fig. 7 es una ilustración esquemática de una realización en la que se utiliza un absorbente líquido como agente de captura y los gases de escape se enfrían mediante intercambiadores de calor;

La Fig. 8 es un gráfico que ilustra el aumento con la temperatura de la capacidad de absorción del CO₂ de un compuesto aluminato absorbente sólido para una corriente de gas CO₂ puro con y sin vapor de agua;

La Fig. 9 es un gráfico que ilustra la variación normal de la capacidad de absorción del CO₂ con relación a la temperatura de operación de un compuesto de un metal alcalino y un metal alcalino-térreo sólido;

La Fig. 10 es un gráfico que ilustra la variación normal de la capacidad de absorción del CO₂ con relación a la temperatura de operación de una solución coloidal de alto punto de ebullición de partículas muy pequeñas;

La Fig. 11 es una ilustración esquemática de una realización de la invención que utiliza un sorbente de cambio de fase reversible; y

La fig. 12 es una ilustración esquemática de una realización que utiliza partículas magnéticas recubiertas con un material sorbente de CO₂ reversible.

Descripción detallada de la invención

5 La invención se describirá con referencia a las realizaciones en las que el CO₂ se extrae de los gases de escape del motor hasta que se alcanza la capacidad del agente de captura y después el CO₂ se desorbe y se recupera del agente de captura, el cual es regenerado simultáneamente. El CO₂ que se recupera en forma de una corriente de gas se comprime después para su almacenamiento como gas, líquido y/o sólido. Una parte o toda la energía
10 requerida para algunas o todas las etapas se deriva del calor residual recuperado de la corriente de gases de escape del motor, el cual se puede usar directamente para la regeneración del agente de captura y/o se puede convertir en electricidad o trabajo mediante otros dispositivos convencionales. La energía del calor residual puede provenir también del sistema refrigerante y/o el bloque del motor y partes asociadas.

15 En una realización de la presente invención, ilustrada esquemáticamente en la Fig. 3, se muestra un sistema y un aparato adecuados en los que el CO₂ es absorbido de la corriente de gases de escape 20 tras pasar los gases de escape a través de la zona de regeneración del sorbente 40 en una relación de intercambio de calor con el sorbente rico en CO₂. El sistema se muestra ilustrativamente con dos subsistemas, o celdas: 40 ("zona de regeneración") y 50 ("zona de absorción del CO₂"); sin embargo, se pueden usar subsistemas adicionales basándose en la capacidad
20 del agente de captura, los caudales de los gases de escape, y otras características del sistema. Cada subsistema puede ser similar en cuanto al diseño, incluyendo un intercambiador de calor para elevar la temperatura del absorbente líquido para desorber el CO₂, y cada subsistema se puede disponer en paralelo o en serie a fin de recuperar una proporción mayor de CO₂.

25 Realizaciones representativas de la invención se ilustran esquemáticamente en las Fig. 4 y 5. En la Fig. 4 se muestra una visión de conjunto del proceso de absorción. La corriente de gases de escape caliente 20 pasa a través de una unidad de recuperación de calor (HR) 30 y opera a temperaturas en el intervalo de 300 °C-650 °C para convertir parte del calor residual en energía eléctrica o mecánica. La corriente de gases de escape enfriada pasa después a un intercambiador de calor en la unidad de regeneración 40 en la que proporciona calor de baja
30 temperatura que es necesario para desorber el CO₂ y regenerar de este modo el absorbente líquido 42 que está saturado con CO₂.

La corriente de gases de escape enfriada adicionalmente se hace pasar después a otra unidad de recuperación de calor 32, que opera a una temperatura inferior a la de la HR 30, en la que se convierte calor residual adicional en energía eléctrica o mecánica. La corriente de gases de escape enfriada adicionalmente 26 se hace pasar después a la unidad de absorción 50 en la que se pone en contacto con el líquido regenerado 44 que absorbe o captura el CO₂. Este líquido absorbente 44 procedente de la unidad de regeneración 40 pasa a través de una unidad de recuperación de calor 32 que reduce su temperatura hasta el valor deseado para una capacidad de absorción óptima, y el calor recuperado se convierte en energía eléctrica o mecánica adicional. La corriente de gases de escape tratada 52 que tiene un contenido reducido de CO₂ se descarga a la atmósfera.
40

Otra realización de la presente invención se ilustra esquemáticamente en la Fig. 5, en la que el refrigerante convencional de un MCI se sustituye por una mezcla líquida que funciona no solo para enfriar el MCI, sino también para absorber el CO₂ de la corriente de gases de escape. Este refrigerante especializado se denomina en adelante "refrigerante absorbente". En el motor, el combustible hidrocarbonado y aire se someten a una combustión para producir energía y gases de escape que incluyen CO₂. La capacidad de absorción del CO₂ a altas temperaturas procedente de gases de escape calientes es muy limitada. Para enfriar estos gases y, al mismo tiempo, proporcionar potencia o energía de trabajo para la densificación posterior del CO₂, se hace pasar la corriente de gases de escape caliente a través de un convertidor de calor-potencia 100, tal como dispositivos termoeléctricos o una combinación generador de vapor-turbina. La potencia procedente del convertidor 100 se puede usar para densificar el CO₂, por ejemplo, mediante el compresor 110.
45
50

La corriente de gases de escape enfriada 26 que contiene CO₂ se pone en contacto con el refrigerante absorbente frío que absorbe la mayoría del CO₂, y el resto de gases de escape con un contenido reducido de CO₂ se descarga a la atmósfera. El refrigerante absorbente frío se envía entonces al bloque del motor en donde es calentado por la combustión del combustible en los cilindros. El refrigerante absorbente caliente tiene menos capacidad de absorción del CO₂ y en cuanto se reduce la presión, la mayor parte del CO₂ se libera en forma de gas y se separa del refrigerante líquido en el separador 120. El refrigerante absorbente se recicla después y el proceso continúa. Las propiedades del refrigerante absorbente se determinan basándose en las condiciones de operación de temperatura y presión a fin de optimizar su capacidad de absorción del CO₂, su capacidad de refrigeración y su rendimiento funcional a lo largo del tiempo. Se debe tener en cuenta también la corrosividad del refrigerante absorbente sobre los metales en el circuito de refrigeración. El CO₂ gaseoso 122 recuperado del separador 120 se somete a una densificación en la unidad 110 usando la potencia generada por la unidad 100.
55
60

65 En una realización alternativa (no mostrada), el refrigerante convencional de motor se usa para calentar el líquido absorbente en lugar de intercambiar el calor con la atmósfera en un radiador. En una realización adicional, el

absorbente se enfría en un ciclo de refrigeración para potenciar su capacidad de absorción del CO₂ antes de ponerlo en contacto con la corriente de gases de escape 20.

5 En la Fig. 6 se ilustra esquemáticamente una realización en la que se utiliza un generador de suspensión hidratada como agente de captura. Al igual que en la realización previamente descrita de la Fig. 4, la corriente de gases de escape caliente 20 pasa a través de un dispositivo de recuperación de calor 30, una zona de regeneración del sorbente 40 y después un dispositivo de recuperación de calor 34 en el que se enfría adicionalmente como corriente de gases de escape 26. La válvula de tres vías 70 se opera mediante un controlador de válvula programado 72 para dejar entrar una cantidad predeterminada de corriente de gases de escape 28 en el generador de suspensión hidratada 50. Un agente de captura adecuado para su uso en esta realización es un compuesto clatrato que forma un complejo de inclusión en el que las moléculas de CO₂ están totalmente atrapadas dentro de otra molécula. El material resultante es una suspensión de hidratos de clatrato de CO₂. La captura del CO₂ se produce a temperaturas ligeramente inferiores a la temperatura ambiente, por ejemplo, de -10 °C, a temperatura ambiente. Los hidratos de clatrato se pueden formar a presión atmosférica o a una presión ligeramente superior, es decir, 0,1-1 MPa (1-10 bar).

10 Siguiendo con la referencia a la Fig. 6, se utiliza un ciclo de refrigeración 80 que emplea bien compresión o bien absorción para una captura eficaz del CO₂. El refrigerante frío 82 circula desde el dispositivo de refrigeración 80 en intercambio de calor con la suspensión en el generador 50. El enfriamiento del refrigerante puede ser mediante el paso de aire ambiente, por ejemplo, en un serpentín 86. En otro modo de operación, el ciclo de refrigeración se opera usando calor derivado mediante el serpentín 84 procedente de la corriente de gases de escape caliente 20.

15 La corriente de gases de escape procedente de un MCI impulsado por combustibles diésel o gasolina contiene aproximadamente un 13 % de vapor de agua. La presencia de vapor de agua puede tener un efecto positivo, negativo o nulo sobre la capacidad de los materiales adsorbentes particulares para eliminar el CO₂ de la corriente de gases de escape. Por ejemplo, tal como se ilustra en la Fig. 8, la presencia de vapor de agua incrementa la ganancia de peso de CO₂ como un porcentaje del material adsorbente sólido a temperaturas relativamente menores. A una temperatura de 500 °C y en ausencia de agua, la ganancia de peso para el adsorbente es de aproximadamente un 22 %, mientras que en presencia de vapor de agua la ganancia casi se duplica hasta aproximadamente el 42 %. La ganancia de peso relativa a 300 °C y 400 °C es de aproximadamente el triple para el CO₂ en presencia de vapor de agua. En el caso de aquellos adsorbentes para los cuales la presencia de vapor de agua potencia la capacidad de absorción de CO₂ del material, se puede usar un material menos adsorbente para una capacidad dada de CO₂ y se puede emplear. Los adsorbentes que se benefician de la presencia de agua en la corriente de gases de escape incluyen materiales basados en amina y basados en aluminato tales como aluminato de calcio, poli(alilamina), y aminas líquidas de alto punto de ebullición soportadas sobre sólidos porosos.

20 En la práctica de la invención se pueden usar materiales adsorbentes a los que afecta negativamente el vapor de agua, si el material tiene una alta capacidad inicial para la retención del CO₂ que supera la de los compuestos que caen dentro de las dos primeras categorías.

25 En cualquier caso, esencialmente todo el vapor de agua se descargará a la atmósfera con el nitrógeno y el CO₂ remanente, o se eliminará en forma de condensado durante la densificación final del CO₂.

30 Los agentes de captura del CO₂ usados en la presente invención son diferentes de la solución de amina normal usada en las fuentes fijas y los sistemas de purificación de gas natural. Los gases de escape calientes normales procedentes de un motor de combustión interna varían en temperatura dependiendo de la frecuencia de rotación del motor, y la carga y situación junto al sistema/tubo de escape. La temperatura varía de 130 °C a 650 °C, que es demasiado elevada para el uso de una solución de amina ya que las soluciones de amina normales absorben el CO₂ a una temperatura entre temperatura ambiente y 60 °C y se regeneran a una temperatura entre 80 °C y 120 °C. Si bien se pueden usar un intercambiador de calor o un sistema de recuperación de calor para reducir la temperatura de la corriente de gases de escape entera, debido a limitaciones del espacio disponible en algunas fuentes móviles con MCI que producen un volumen relativamente mayor de gases de escape, puede no ser práctico emplear un intercambiador de calor para reducir la temperatura de la corriente de gases de escape entera hasta 60 °C en estas fuentes. En tales casos, se puede procesar una porción de la corriente de gases de escape para la captura del CO₂. Basándose en pruebas de diversos tipos de vehículos de motor comerciales, se encontró que la temperatura de sus corrientes de gases de escape se podía reducir hasta 50 °C mediante intercambio de calor.

35 Por otro lado, la alta temperatura de una corriente de gases de escape de un MCI tiene la ventaja de una cinética más rápida de absorción y desorción. En una fuente fija de CO₂ tal como una planta de energía, una temperatura menor, y un bajo calor de regeneración son importantes objetivos para reducir el coste de la captura del CO₂, aunque en una fuente móvil la energía de la corriente de gases de escape se libera normalmente a la atmósfera, de modo que no hay penalización similar.

40 Realizaciones de un componente o componentes de captura del CO₂ pueden incluir, si bien no se limitan a las mismas, las siguientes:

1. El agente de captura puede estar basado en la absorción física o química del CO₂ para su separación de los gases de escape, es decir, quimio-sorbentes o físico-sorbentes. Los absorbentes físicos pueden incluir carbones activados, zeolitas, materiales metal-orgánico estructurados (MOF) e híbridos orgánicos-inorgánicos.

5 2. El agente de captura puede ser un líquido de alto punto de ebullición o mezcla eutéctica que absorbe físicamente el CO₂ o reacciona químicamente con él de un modo reversible, tal como líquidos iónicos y fluidos de transferencia de calor.

10 3. El agente de captura puede ser una solución de alto punto de ebullición de un material que reacciona químicamente con el CO₂. Agentes adecuados incluyen la absorción química reversible en soluciones de carbonatos de metales alcalinos en líquidos de alto punto de ebullición descritos en la realización (2) anterior. Los carbonatos de metales alcalinos forman carbonatos ácidos, por ejemplo, bicarbonatos. Los carbonatos ácidos de potasio inician la regeneración por encima de 100 °C y los carbonatos ácidos de rubidio inician la regeneración por encima de 175 °C. Otro ejemplo son los carbonatos líquidos iónicos tales como carbonato/carbonato ácido basado en imidazolio y basado en piridinio. Estos carbonatos líquidos iónicos normalmente no son estables en estado puro, pero son estables en solución.

20 4. El agente de captura puede ser una solución coloidal de alto punto de ebullición de partículas muy pequeñas, dispersadas y estabilizadas cinéticamente o termodinámicamente en el líquido, que interactúan química o físicamente con el CO₂. Ejemplos son partículas preparadas con sólidos con alta capacidad de absorción de CO₂ a altas temperaturas que se podrían dispersar en los líquidos descritos en la realización (2) anterior.

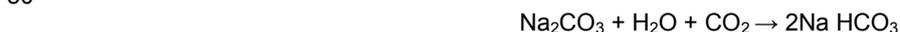
25 5. El agente de captura puede ser partículas sólidas que absorben físicamente el CO₂, o reaccionan con él, suspendidas cinéticamente en un líquido de alto punto de ebullición. Estas partículas son de mayor tamaño que las descritas en las realizaciones anteriores.

30 6. El agente de captura puede ser un disolvente de alto punto de ebullición que estabiliza el carbamato de un soluto de amina convencional, de modo que la regeneración se produce a temperaturas mayores que en las soluciones de aminas acuosas.

35 7. El agente de captura puede estar presente en forma de absorbentes sólidos, carbonatos sólidos u otros materiales que tienen capacidad de absorción del CO₂. Ejemplos de agentes de captura incluyen óxidos de metal, hidrotalcitas, zirconatos, silicatos, aluminatos, carbonatos y aminas soportadas. El agente de captura puede estar presente en forma de un soporte de alta área superficial transformada, tal como alúmina transformada con potasio. El agente de captura del CO₂ puede comprender una sola clase o múltiples clases de materiales.

40 8. Los agentes de captura se pueden preparar en forma de soluciones acuosas de sales de amonio cuaternarias, tetrahidrofurano (THF) y otros promotores que estimulan la formación de hidratos de CO₂, denominada en el presente documento como cambio de fase, a bajas presiones, y a una temperatura próxima a temperatura ambiente.

45 Los parámetros importantes para aplicaciones móviles incluyen la capacidad de absorción de CO₂, la estabilidad térmica y química, y la no corrosividad. Las propiedades deseadas incluyen una baja presión de vapor, una capacidad térmica de moderada a baja y un bajo calor de absorción/regeneración. Los agentes de captura líquidos descritos en la realización (2) anterior son los más sencillos, pero la capacidad del disolvente puede no ser suficientemente elevada para la absorción física. Los agentes de captura líquidos descritos en la realización (3) anterior son los más prácticos y combinan la absorción física por el líquido así como la absorción química por el carbonato. Por ejemplo, un polvo fluido de carbonato sódico experimenta la siguiente reacción química en presencia de agua y CO₂:



Al seleccionar el agente de captura, se ha de considerar su estabilidad a largo plazo a la temperatura respectiva de los gases de escape del tipo particular de vehículo y sistema en los que se implementa. Las temperaturas de los gases de escape para los motores de gasolina y los motores diésel pueden variar, y los gases de escape de motores impulsados por gasolina normalmente están más calientes en condiciones de operación comparables. Otros factores que se han de considerar incluyen:

- 60 a. los tipos de cualquier contaminante que está presente en el combustible debido a limitaciones inherentes en los procesos de refinado utilizados por los diferentes productores;
- b. compuestos químicos que están inherentes en el tipo particular de combustible y que se oxidan durante la combustión, tales como NO_x y SO_x;
- c. compuestos químicos que son introducidos en el combustible en la refinería, tales como detergentes, colorantes, aditivos antidetonantes y lubricantes; y
- 65 d. la cantidad de cualquier partícula que se forma durante la combustión en el motor y cualquier sistema de filtración de partículas presente.

Los siguientes ejemplos son ilustrativos de adsorbentes líquidos.

Ejemplo 1

La composición de un gas de escape en porcentaje molar es de un 13 % de CO₂, un 13 % de vapor de agua (H₂O), un 73 % de nitrógeno y un 1 % de otros gases inertes. A temperatura ambiente, la solubilidad del CO₂ en el líquido iónico hexafluorofosfato de (p-vinilbencil)trimetilamonio se estima en un 77 % en peso del líquido. Véase Somsak Supasitmongkol et al., "High CO₂ Solubility In Ionic Liquids And A Tetraalkylammonium-based Poly(ionic liquid)." *Energy & Environmental Science*, 2010, 3, 1961-1972, cuya divulgación se incorpora por referencia en el presente documento.

Se ha descubierto que un sorbente sólido particularmente útil para el CO₂ gaseoso es una composición mixta de sales que comprende una sal mixta de un compuesto de magnesio, tal como MgCO₃ o MgO, y al menos una sal de un metal del grupo IA, en la que la relación molar del Mg con respecto al metal del grupo IA puede variar entre 8:1 y 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 carbonato y/o una sal nitrato. Una composición sorbente especialmente preferente es MgO:Na₂CO₃:NaNO₃, en la que la relación molar de Mg:Na es aproximadamente de 4:8 a 1. Las sales de sodio pueden ser sustituidas por sales de Li, K o Rb en la composición preferente.

Los sorbentes de sales mixtas de la invención se pueden preparar, por ejemplo, mediante una reacción de gelificación, tal como se describe a continuación en el Ejemplo 1 o, preferentemente, mediante una reacción de precipitación tal como se describe en el Ejemplo 2. Una sal de magnesio y una sal de un metal del grupo IA se preparan en forma de solución, y se combinan para formar una mezcla reactiva. Esta reacción se lleva a cabo opcionalmente con un agente de precipitación. Las sales se seleccionan de modo que, cuando reaccionan entre sí, se forma MgO o MgCO₃ en el precipitado. Preferentemente, se usa un compuesto de Mg altamente soluble, tal como el propio MgO, Mg(OH)₂ o, lo más preferente, Mg(NO₃)₂. Como se ha indicado previamente, también se pueden usar MgC_k o Mg(CH₃COO)₂. Una vez seleccionada la sal de Mg, el experto en la materia puede determinar qué sal o sales de Na reaccionarán con la sal de Mg para producir el MgO/MgCO₃ deseado.

Tras la preparación, el polvo sorbente se puede preparar en una mezcla extruida, bien mediante la adición de un aglutinante, tal como boehmita, o bien mediante técnicas preparativas conocidas en la técnica que pueden dar como resultado una pérdida de la sorbencia; no obstante, la técnica es útil para mantener bajas las caídas de presión en lechos empacados y para hacer más fácil la manipulación del material. Usando las sales en polvo descritas, se descubrió una mayor capacidad de adsorción del CO₂ para materias extruidas preparadas sin un aglutinante, las cuales conseguían cargas de CO₂ de aproximadamente un 20 % en peso a 300 °C. La resistencia a la compresión de las materias extruidas sin aglutinante se encontró que era de 0,51 MPa, equivalente a la de las materias extruidas preparadas con boehmita (0,55 MPa).

La reacción se lleva a cabo con concentraciones de las sales reactivas que proporcionan una relación Mg:metal del grupo IA de 3:1 a 8:1, más preferentemente, de 4:1 a 6:1. La selección de las relaciones se deja al experto ya que, tal como se ha indicado previamente, variando la relación se producen sorbentes con diferentes propiedades. Conociendo las condiciones en las que el sorbente operará determina las relaciones empleadas. Opcionalmente, se puede añadir un agente de precipitación para facilitar la reacción, tal como NaNO₃. El agente de precipitación es preferentemente una sal de un metal del grupo IA.

Ejemplo 1

Este ejemplo describe la preparación de un sorbente de CO₂ sólido para el uso en el proceso de la invención denominado proceso de gelificación. Se añadió una cantidad (395 g) de hidróxido carbonato de magnesio (MgCO₃ · Mg(OH)₂ x H₂O) 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 sales mixtas que se agitó durante 30 minutos. La suspensión se cubrió después y se dejó reposar durante 16 horas a temperatura ambiente, tras lo cual se secó a 120 °C durante 16 horas para formar una torta seca de MgO:Na₂CO₃:NaNO₃. El análisis mostró una relación másica de 75,8:16:8,2 y una relación molar de Mg:Na de aproximadamente 4,8. Esta torta seca se calcinó después mediante calentamiento a una temperatura de 120 °C a 450 °C a una velocidad de rampa de 3 °C/minuto, seguido de calentamiento a 450 °C durante 4 horas. La torta calcinada se trituró y se tamizó para recoger una fracción de 150-425 mallas, que es adecuada para su uso en un lecho empacado con un material inerte tal como SiC que ocupa el volumen remanente. Los resultados del ensayo indicaban que la carga de CO₂ en el sorbente alcanzaba su máximo a 300 °C, si bien el sorbente era eficaz en un amplio intervalo de temperaturas.

Ejemplo 2

Este ejemplo describe la preparación de un sorbente sólido de CO₂ de la misma composición de sales mixtas para el uso de la invención denominada proceso de precipitación. Se dispuso una solución de 233,4 g de Na₂CO₃ en 3000 ml de agua desionizada en un vaso de precipitados de plástico de 5,0 litros, y se agitó vigorosamente con un

agitador mecánico. Se bombeó una segunda solución, de 188,4 g de $Mg(NO_3)_2 : 6 H_2O$ en 500 ml de agua desionizada, en la primera solución, a una velocidad de aproximadamente 30 ml/minuto. Se obtuvo una suspensión que se agitó durante una hora. La suspensión se almacenó, durante la noche, tal como se ha descrito previamente, y después se filtró para dar una torta de precipitado húmeda. Se recogieron aproximadamente 3200 ml de filtrado. Este se secó a 120 °C durante 24 horas para formar una torta seca, que se trató tal como se ha descrito en el Ejemplo 1. Los resultados del ensayo indicaban que la cantidad de CO_2 cargado en el sorbente alcanzaba su máximo a 325 °C y, como con el sorbente del Ejemplo 1, el producto sorbente de este ejemplo fue eficaz también en un amplio intervalo de temperaturas.

Se evaluó el efecto del componente alcalino en la composición sorbente de sales mixtas usando sales de Li, Na, o K para preparar los productos sorbentes finales. Las sales se prepararon del modo indicado previamente usando una relación molar de Mg : metal alcalino de 6:1. Los productos resultantes se ensayaron para determinar su capacidad de eliminar CO_2 de una corriente de gases de escape simulada. La adsorción se llevó a cabo a temperaturas que variaban entre 100 °C y 450 °C, a una GHSV de 3,125/hora. Los sorbentes se regeneraron mediante temperaturas crecientes hasta 450 °C, a una velocidad de 10 °C/minuto y a una GHSV de 2500/hora.

Los resultados indicaban que el Na produce el mejor intervalo de temperaturas de operación y que los metales alcalinos Li y K funcionan bien a diferentes temperaturas. El sorbente que contenía CO_2 adsorbido en sodio en un intervalo de temperaturas de 200 °C a 400 °C, alcanzaba un máximo a 325 °C. El polvo que contenía litio era el más eficaz a 200 °C y era eficaz hasta aproximadamente 250 °C, mientras que el compuesto que contenía CO_2 adsorbido en potasio era eficaz a una temperatura mayor que variaba entre aproximadamente 300 °C y aproximadamente 400 °C.

Ensayos adicionales mostraban que las composiciones de sales mixtas de la invención deben tener Mg_2CO_3 o MgO como componente, y en la preparación de estos sorbentes, se selecciona preferentemente un compuesto de Mg que lleve a uno de estos.

Se ensayaron todos los siguientes: $Mg(NO_3)_2$, MgO, y $Mg(OH)_2$ usando los mismos parámetros de los Ejemplos 1 y 2. La sal nitrato producía un sorbente con una capacidad para adsorber el CO_2 significativamente mayor que las sales MgO o $Mg(OH)_2$, si bien todas adsorbían el CO_2 .

Cabe señalar que el $Mg(NO_3)_2$ tenía una solubilidad en agua significativamente mayor que los otros compuestos. Las diferencias en solubilidad indican también que los productos finales se obtienen mediante diferentes mecanismos de reacción. La sal nitrato, por ejemplo, participa en el intercambio aniónico con las sales de sodio, mientras que el óxido y el hidróxido no. Por tanto, cuanto más soluble es la sal de magnesio, mayor es la capacidad de adsorción del producto final. Así pues, son preferentes el $Mg(NO_3)_2$, el $MgCl_2$, el $Mg(CH_3COO)_2$, y otras sales de magnesio altamente solubles en la preparación de los sorbentes de la invención.

La concentración de sodio influye en el rendimiento de los sorbentes, con una capacidad de adsorción óptima a diferentes temperaturas. Una disminución de la concentración de Mg con respecto a la de Na daba como resultado un cambio de la temperatura de carga de máxima del CO_2 de 250 °C a 275 °C en comparación con 325 °C - 350 °C. En contraste, se observó un aumento del CO_2 cargado en el sorbente, de aproximadamente un 20 % en peso en comparación con el 12-13 % en peso para las mayores concentraciones.

Aunque que los ensayos anteriores usaban Na_2CO_3 como agente de precipitación, se pueden usar otros, tal como se ha ilustrado con el $(NH_4)_2CO_3$.

Para preparar los sorbentes con Na_2CO_3 , el agente de precipitación se añadió lentamente en forma de una solución a una solución de $MgNO_3$. El $(NH_4)_2CO_3$ se añadió a una solución de $MgNO_3$ y Na_2NO_3 manteniendo la relación molar de 6:1.

Los resultados mostraban que el producto obtenido con Na_2CO_3 exhibía un amplio rango de actividad, mientras que el preparado con $(NH_4)_2CO_3$ mostraba un pico muy agudo de actividad de adsorbancia del CO_2 a 300 °C, y muy poca actividad a otras temperaturas. Estos resultados sugieren que se pueden usar cambios del agente de precipitación para preparar sorbentes para diferentes aplicaciones.

En la práctica de la invención, el CO_2 se adsorbe de una corriente de gases de escape mediante contacto con el sorbente de sales mixtas 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 sorbente elimine todo o una porción del CO_2 de la corriente de gases de escape. Tal como se ha descrito previamente, el sorbente quedara saturado con el CO_2 , y esto se puede determinar midiendo y comparando el contenido de CO_2 en la corriente de gases de escape antes y después del contacto con el sorbente. Cuando es evidente que ya no se elimina más CO_2 de la corriente de gases de escape, el sorbente se puede regenerar, por ejemplo, calentándolo hasta su temperatura de desorción, por ejemplo, hasta aproximadamente 500 °C. Midiendo de nuevo la cantidad del CO_2 que está contenido en el gas de salida, el experto habitual en la materia puede determinar cuándo está listo el sorbente para su reutilización.

Las celdas de absorción y desorción pueden ser de diferentes diseños. Se pueden usar intercambiadores de calor de tubo y carcasa en los que los adsorbentes circulan a través de los tubos. Se pueden usar otros tipos de intercambiadores para hacer circular el agente o agentes de captura. Estos incluyen los de placas, de espiral, de flujo cruzado, y otros tipos. Es posible combinar la zona de absorción y la de desorción en una unidad para permitir un intercambio muy compacto y muy eficaz del calor de la absorción/ desorción. El calor de absorción se liberará a medida que el CO₂ es capturado y será conducido, o transportado de otro modo, al otro lado para proporcionar al menos una porción del calor requerido para la regeneración del adsorbente. La unidad de absorción debe proporcionar un contacto directo entre el gas de escape y el agente de captura. Dispositivos adecuados incluyen mezcladoras estáticas y dinámicas, columnas empaquetadas y de platos y contactores de membrana.

Se han ilustrado dos celdas de captura para el proceso de variación de la circulación entre la absorción y la desorción; se pueden usar múltiples celdas para proporcionar diferentes ciclos de absorción/desorción.

Además de la absorción por variación de la temperatura descrita esquemáticamente en la ilustración esquemática de la Fig. 3 y con especificidad adicional en la ilustración de la Fig. 4, se pueden emplear otros procesos tales como absorción por variación de la presión, por variación del vacío, por variación eléctrica, por separado o combinados. El caudal de gas del agente de captura a través de las celdas de captura se puede regular basándose en las concentraciones de CO₂ detectadas en la salida de los gases de escape, los tiempos de operación definidos predeterminados, y otros criterios que se seleccionan para asegurar el uso máximo/óptimo de la capacidad de CO₂ del agente de captura.

Las Fig. 5 y 6 muestran también situaciones opcionales para los componentes de recuperación de calor (HR) 30, 32 y 34, que sirven para convertir la energía térmica en trabajo mecánico o potencia eléctrica que se pueden usar para operar el aparato de densificación del sistema y otros equipos auxiliares, tales como sensores, termopares, la unidad de control del sistema y válvulas. Es preferente el enfriamiento activo del lado de baja temperatura de estos dispositivos con un agente líquido de transferencia de calor ya que los líquidos son capaces de transportar y suministrar la gran cantidad de calor que esos agentes de captura intercambian durante la absorción y la regeneración. La capacidad térmica de los líquidos por unidad de volumen, es decir, su capacidad térmica volumétrica, es aproximadamente 100 veces superior a la de un gas. Así, para el mismo volumen, un líquido puede retirar o proporcionar calor a una velocidad que es aproximadamente 100 veces superior a la de los gases. Análogamente, para la misma cantidad de calor que se ha de suministrar o retirar, el volumen de líquido necesario es de aproximadamente 1/100 el volumen del gas que se requeriría.

Es preferente que el CO₂ se elimine de la corriente de gases de escape aguas abajo del convertidor catalítico en vehículos que están equipados de este modo. Esto es debido a que los gases de escape tendrán menos contaminantes que podrían afectar negativamente al adsorbente. Además, cuando el motor está frío al arrancar, el gas de escape aguas abajo del convertidor catalítico estará más caliente que aguas arriba debido a las reacciones exotérmicas que se producen en el convertidor.

El componente de densificación del CO₂ se puede conseguir mediante compresores de una etapa o de múltiples etapas con un sistema de enfriamiento activo/pasivo apropiado a fin de asegurar la presurización, licuefacción o solidificación del CO₂ para su almacenamiento temporal a bordo. El almacenamiento de CO₂ puede ser en un tanque único o en múltiples tanques a bordo de la fuente móvil. El tanque de combustible se puede usar también para almacenar el CO₂ capturado teniendo un tabique móvil entre el lado del combustible y el lado del CO₂. El control de todos los componentes del sistema se puede integrar con el sistema de control de la fuente móvil o un sistema de control separado para optimizar el rendimiento.

Haciendo referencia ahora a la Fig. 7, se ilustra esquemáticamente una realización del sistema 10 que incorpora una zona de enfriamiento ambiente 60 para reducir la temperatura de la corriente de los gases de escape que incluye, por ejemplo, un intercambiador de calor 62 enfriado con agua u otro líquido y/o una unidad de enfriamiento con aire 64 que dirige aire ambiente sobre los serpentines u otros canales a través de los cuales pasa la corriente de gases de escape 26. La corriente de gases de escape enfriada 28 entra después en la zona de absorción 50, en la que se pone en contacto con la solución de amina líquida la cual captura todo o una porción sustancial del CO₂ de la corriente de gases de escape enfriada 28 mediante absorción. Los gases de escape remanentes 52, que tienen un contenido nulo o reducido de CO₂ se descargan a la atmósfera.

La zona de absorción 50 se puede operar en modo de variación de la circulación con adsorbentes paralelos. En el modo de variación de la circulación, el contenido de un adsorbente se regenera mediante intercambio con la corriente de gases de escape caliente en la zona de regeneración 40. La solución de amina saturada 42 pasa desde la zona de absorción 50 mediante el conducto 42 a la zona de regeneración 40 desde la que la corriente de gas rico en CO₂ 48 se retira para la densificación y el almacenamiento. La corriente de amina recién regenerada 44 se devuelve a la zona de absorción 50 tras ser enfriada mediante el paso a través de un dispositivo de recuperación de calor 32. La temperatura de la corriente de adsorbente 42 que pasa a través de la zona de regeneración 40 está controlada para que desorba todo o sustancialmente todo el CO₂ y para evitar sobrecalentar la solución ya que esta se debe enfriar para reciclarla a la zona adsorbente 50.

En una realización alternativa (no mostrada), la corriente 42 y la 44 pasan en intercambio de calor entre sí en lugar de a la unidad recuperación de calor 32. La corriente caliente 44 calentará parcialmente la corriente de refrigerante 42, permitiendo de este modo un mejor control global del calor. El mismo control del intercambio de calor se puede aplicar a las realizaciones de las Fig. 4, 6, 7, 11 y 12.

5 Una válvula de tres vías 70 se opera mediante un controlador/procesador programado 72 que recibe señales de uno o más sensores de presión y/o temperatura (no mostrados). En la realización de la Fig. 7, la válvula 70 está aguas abajo del dispositivo de recuperación de calor 34 y controla la proporción o fracción de la corriente de gases de escape 26 que pasa a la zona de absorción 50, descargando el resto a la atmósfera mediante el conducto 27. La
10 válvula 70 se puede operar también para descargar toda la corriente de gases de escape 27 a la atmósfera en el caso de que las condiciones de operación del MCI, tal como una rápida aceleración, o un aumento de la carga, excluyan el análisis del sensor operacional del sistema habitual y el control programado de la fracción de la corriente de gases de escape 26 que se debe desviar a la unidad de absorción 50.

15 El control del calor se requiere para controlar los ciclos de absorción y desorción del agente de captura del CO₂. La Fig. 9 es un gráfico que ilustra la variación normal de la capacidad de adsorción del CO₂ con relación a la temperatura de operación de una composición de un metal alcalino y un metal alcalino-térreo sólida, tal como la descrita previamente. Tal como se ilustra en la Fig. 9, la capacidad de adsorción del CO₂ de un adsorbente puede variar significativamente con la temperatura. En el ejemplo mostrado, la capacidad de un adsorbente que contiene
20 un compuesto de un metal alcalino sólido aumenta hasta un máximo a medida que la temperatura se acerca a 350 °C, y después disminuye rápidamente entre 350 °C y 400 °C.

La Fig. 10 es un gráfico que ilustra la variación normal de la capacidad de adsorción del CO₂ con relación a la temperatura de operación de las partículas sólidas. La capacidad de adsorción del CO₂ es de aproximadamente un
25 23 % a 300 °C para una partícula secada por pulverización que es la temperatura óptima para usar este tipo adsorbente. Se ha de eliminar el calor del componente o componentes de captura ya que el CO₂ es adsorbido física o químicamente y el calor de adsorción es liberado. Se ha de suministrar calor al componente o componentes de captura para proporcionar el calor de desorción/regeneración requerido cuando se va a liberar el CO₂ del agente. El suministro y la retirada de calor se pueden conseguir usando métodos que incluyen conducción, convección,
30 radiación, generación de calor, y/o combinación de estos métodos.

En el caso de la conducción, el calor se puede suministrar o retirar del agente de captura del CO₂ usando un material conductor del calor, tal como metal. Si el agente de captura del CO₂ pasa a través de tubos, el calor se puede retirar
35 del exterior de los tubos usando la conducción a través de la carcasa del tubo. Se pueden usar fluidos para suministrar o retirar calor de la carcasa externa de los tubos. Se pueden usar aletas, mallas metálicas dentro de los tubos y otros diseños y técnicas conocidas para aumentar el área superficial en contacto con el agente de captura y potenciar la transferencia de calor. Se pueden también usar aletas y otros cambios de la superficie en la carcasa externa del tubo para potenciar la transferencia de calor del sistema. El agente de captura del CO₂ se puede hacer pasar también por el exterior de los tubos y por el interior del tubo usado para suministrar o retirar el calor usando
40 fluidos.

En general, se ha encontrado 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 variedad de
45 tamaños y materiales de fabricación. La gran superficie de transferencia de calor permite el uso de un dispositivo relativamente menor, ahorrando de este modo tanto volumen como peso añadido al vehículo.

Para 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
50 captura del CO₂ mediante un componente o componentes de generación de calor, tal como calentadores eléctricos accionados, por ejemplo, mediante dispositivos termoelectrónicos.

Los números identifican las situaciones para la colocación de los componentes de HR. Se pueden usar tecnologías individuales o múltiples para convertir el calor residual en energía eléctrica o trabajo para comprimir el CO₂ y proporcionar energía al equipo auxiliar. El tamaño o capacidad, situación y condiciones de operación de los
55 componentes de HR se determinan basándose en la disponibilidad del calor residual, por ejemplo, procedente de la corriente de gases de escape. Esto incluirá tanto la temperatura como el caudal volumétrico de la corriente de calor residual, ya sean los gases de escape o el refrigerante del motor. Se puede emplear uno solo o más de un tipo de componentes de recuperación de calor dependiendo de la naturaleza de la corriente de calor residual y de su temperatura y condiciones de flujo.

60 La operación del sistema de recuperación de calor/energía se puede controlar mediante un procesador y controlador preprogramado que recibe datos de los sensores de temperatura y flujo, y que está en comunicación de control con las válvulas que regulan el flujo. Por ejemplo, se puede controlar la temperatura del gas de escape del motor haciéndolo pasar en contacto de intercambio de calor con el contenedor del material de captura saturado a fin de elevar su temperatura lo suficiente como para liberar el CO₂. El gas de salida que tiene una temperatura menor
65 puede intercambiar después calor adicional con un dispositivo termoelectrónico para producir electricidad. Finalmente,

el gas de salida con una temperatura relativamente menor se puede introducir en la zona de absorción para reducir su contenido de CO₂ antes de ser descargado a la atmósfera.

5 El tipo de componente o componentes de recuperación de calor (HR) usados en la práctica de la invención puede incluir, si bien no se limita a los mismos, los siguientes tipos de aparatos.

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

15 Los dispositivos termoelectricos usados para convertir el calor residual en energía eléctrica se pueden colocar en diferentes situaciones y disposiciones para optimizar la conversión de energía. Los dispositivos termoelectricos se pueden fijar en contacto de conducción de calor con el tubo de escape, componentes de captura, el bloque del motor u otros componentes del motor como el lado caliente del dispositivo. El lado frío del dispositivo termoelectrico se puede exponer a convección de aire para enfriar el dispositivo. El lado frío del dispositivo termoelectrico también se puede poner en contacto con un sistema refrigerante activo, por ejemplo, un líquido circulante, a fin de facilitar la transferencia de calor y controlar también el rendimiento del módulo termoelectrico. Tal como se ha señalado
20 previamente, la capacidad térmica de un refrigerante líquido es aproximadamente 100 veces la capacidad de un gas para transferir calor.

25 Los dispositivos termoelectricos pueden tener diferentes formas tal como tubos cilíndricos o rectangulares para minimizar los efectos de caída de presión sobre los gases de escape. Se pueden usar también aletas internas y/o externas para potenciar la transferencia de calor de los dispositivos termoelectricos y, por tanto, su rendimiento. El dispositivo termoelectrico se podría montar muy próximo al bloque del motor, o sobre el mismo, para usar las altas temperaturas. Se seleccionan materiales apropiados para soportar las altas temperaturas.

30 2. La energía eléctrica generada usando el módulo o módulos termoelectricos puede ser suministrada a un sistema de almacenamiento eléctrico, por ejemplo, baterías las cuales, a su vez, suministran la energía eléctrica al aparato de densificación y/u otro equipo. La selección de los semiconductores para el módulo o módulos termoelectricos se basa en el intervalo de temperaturas de la aplicación. Se puede usar un apilamiento de diferentes dispositivos termoelectricos para optimizar la recuperación de calor y, por tanto, la generación de energía eléctrica.
35

40 3. Un motor Stirling en el que el calor residual procedente de los gases de escape del MCI es suministrado a la pared de uno o más cilindros del motor para expandir el gas en el cilindro y accionar de este modo el pistón, el cual puede realizar el trabajo mecánico necesario para hacer funcionar el compresor de densificación o para hacer funcionar el compresor de una unidad de ciclo compresión refrigeración que proporciona refrigerante frío para licuar o solidificar el CO₂.

45 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 compresión refrigeración que proporciona refrigerante frío para licuar o solidificar el CO₂.

50 5. Un compresor o motor pequeño de una aleación con memoria de forma usa el calor residual para cambiar la forma de una aleación (tal como CuSn, InTi, TiNi, y MnCu) y genera trabajo mecánico que se usa para aumentar la densidad del CO₂ capturado. El compresor del motor opera teniendo un lado caliente y un lado frío de la aleación a fin de generar la compresión necesaria. Las siguientes patentes describen motores térmicos basados en estos tipos de aleaciones poco usuales: US 3.913.326; US 4.055.955; US 5.442.914; US 7.444.812; y solicitud publicada 2009/0315489. Las divulgaciones de estos documentos de patente se incorporan por referencia en el presente documento.

55 6. Se pueden instalar sistemas individuales o múltiples de recuperación de calor sobre el gas de escape y sistemas refrigerantes.

7. Se pueden instalar sistemas individuales o múltiples de recuperación de calor para generar la energía necesaria y controlar eficazmente la temperatura del gas de escape.

60 8. Además de suministrar energía, el componente o componentes de recuperación de calor se pueden usar para controlar la temperatura del gas de escape y optimizar de este modo el rendimiento del agente de captura del CO₂.

65 Como se entenderá de la descripción y ejemplos anteriores, los métodos y sistemas de la presente invención son adecuados para su uso en una amplia gama de fuentes móviles tales como vehículos de pasajeros, camiones, autobuses, vehículos pesados, trenes, barcos y otros que operan mediante la combustión de combustibles

hidrocarbonados. La presente invención se puede instalar en nuevas fuentes móviles o mediante retroadaptación de fuentes móviles existentes.

5 La presente invención se dirige a la captura del CO₂ post-combustión y a su almacenamiento a bordo de fuentes móviles. Para minimizar los costes operacionales y los requerimientos de equipo, el calor disponible, que se descarga convencionalmente a la atmósfera, se usa para proporcionar la energía necesaria para separar el CO₂ extraído de los gases de combustión a partir del material absorbente, o agente de captura, y para comprimir/licuar todo o parte del CO₂ producido para un almacenamiento a bordo eficaz. El CO₂ capturado se puede almacenar a bordo hasta el repostaje, cuando se descarga o se retira para su recuperación en la estación de repostaje. El aparato de la invención es más fácil de implementar a bordo en comparación con los métodos que se han propuesto que implican reacciones químicas, tales como el reformado, o importantes cambios en el diseño del motor, tal como proporcionar paredes de los cilindros que son permeables al CO₂.

15 A 150 °C, la constante de la ley de Henry para el líquido iónico hexafluorofosfato de 1-butil-3-metil-imidazolio se estima, por extrapolación, que es 265, lo que da una solubilidad del CO₂ muy baja del 0,01% en peso, y el compuesto, por tanto, no es adecuado para su uso en el método de la invención. Véase el documento US 6.579.343.

Ejemplo 2

20 La composición de un gas de escape en porcentaje molar es de un 13 % de CO₂, un 13 % de vapor de agua (H₂O), un 73 % de nitrógeno y un 1 % de oxígeno y otros gases inertes. La tabla 1 muestra la temperatura óptima de captura del CO₂, la capacidad de CO₂ y la temperatura de regeneración de diversos adsorbentes líquidos.

Tabla 1

	Intervalo estimado de temperaturas óptimas de captura del CO ₂ , °C	Temperatura estimada de regeneración, °C	Capacidad máxima estimada de CO ₂ para una solución al 25 % en peso:	Capacidad máxima estimada de CO ₂ para una solución al 50 % en peso:
Solución líquida de Na ₂ CO ₃	65-75	> 120	10 % en peso	20 % en peso
Solución líquida de K ₂ CO ₃	100-125	> 150	para solución al 25 % en peso: 8 % en peso	para solución al 50 % en peso: 16 % en peso
Solución líquida de Ru ₂ CO ₃	175-200	> 250	para solución al 25 % en peso: 5 % en peso	para solución al 50 % en peso: 10 % en peso
Suspensión de partículas sólidas de MgO transformado en un líquido	250-325	> 400	para suspensión al 25 % en peso: * 14 % en peso	para suspensión al 50 % en peso: * 27 % en peso

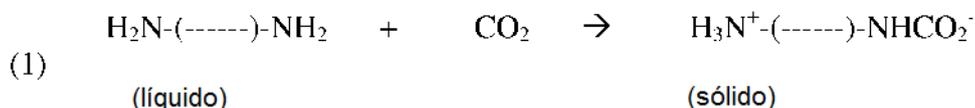
Al preparar los datos para la tabla anterior, se asumió que el disolvente no tenía, o tenía muy poca, capacidad de adsorción del CO₂. Los disolventes se pueden seleccionar entre (a) agua a elevada presión para evitar la evaporación por encima de 100 °C, (b) líquidos iónicos, y (c) sales fundidas para usar a las temperaturas máximas. Las soluciones se organizan de acuerdo con temperaturas de captura óptimas crecientes. Una temperatura de captura relativamente baja requerirá un intercambiador de calor grande para enfriar la corriente de gases de escape, si bien hay disponible más calor sensible del gas de escape caliente para regenerar un volumen mayor de la solución llevando a un mayor porcentaje de captura de CO₂ del gas de escape. Nótese que el porcentaje de CO₂ capturado del gas de escape se diferencia de la capacidad máxima de la solución enumerada en la tabla. La capacidad es una propiedad física, es decir, una propiedad termodinámica, y el porcentaje de CO₂ capturado de la corriente de gases de escape depende principalmente de la cantidad relativa de solución usada y de su velocidad de circulación, entre otros factores.

En la tabla anterior, se asume también que solo está disponible la mitad del MgO para reaccionar con el CO₂.

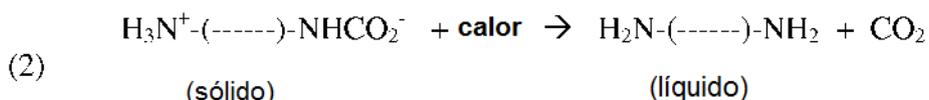
Tal como se ha indicado previamente, se pueden usar también adsorbentes de CO₂ sólidos, especialmente aquellos que contienen una sal de un metal del grupo IA, por ejemplo, Na, Li, K, Rb, siendo preferente una sal de Na, al igual que una sal de Mg.

45 Una realización adicional de la invención se describirá con referencia a la Fig. 11 que ilustra un sistema y un aparato para la práctica de un proceso de absorción de CO₂ que usa sorbentes químicos de cambio de fase. El sistema incluye una unidad de regeneración 40, una unidad de absorción/adsorción química 50, y varios dispositivos de recuperación de calor (HR) 30, 32, 34 y 36. Se pueden usar en esta realización sorbentes químicos tales como

diaminas líquidas y otros líquidos funcionalizados con grupos amina que son capaces de formar un enlace químico reversible con el CO₂. Un ejemplo de tal sorbente químico es el carbamato líquido GAP-0 que cambia reversiblemente a la fase sólida tras reaccionar químicamente con el CO₂. La reacción transcurre tal como sigue:



El CO₂ capturado se puede liberar del sorbente calentando el material sólido, proceso en el cual el sorbente sólido cambia de nuevo a la fase líquida, tal como se representa a continuación:



En el proceso químico de captura y regeneración del CO₂, la corriente de gases de escape caliente 20 procedente de un MCI de un vehículo pasa a través de una primera unidad de recuperación de calor 30 que opera a temperaturas relativamente elevadas, por ejemplo, 300 °C-650 °C, para convertir parte del calor residual en energía eléctrica o mecánica. La corriente de gases de escape moderadamente enfriada 22 se pasa después a la unidad de regeneración 40 en la que el sorbente sólido 42 se calienta y se regenera mediante la reacción (2) anterior, en intercambio de calor usando calor procedente de la corriente de gases de escape 22. La corriente de gases de escape y el sorbente no están en contacto directo entre sí en la unidad de regeneración 40. El sorbente líquido 44 descargado de la unidad de regeneración 40 se hace pasar a través de la unidad de recuperación de calor 34 para disminuir la temperatura del sorbente hasta un valor predeterminado para el contacto y reacción con el CO₂. La corriente de gases de escape enfriada 24 que se descarga de la unidad de regeneración 40 se transporta hasta la unidad de recuperación de calor 36 para disminuir la temperatura de la corriente de gases de escape hasta un valor predeterminado. La corriente de gases de escape 26 que sale del dispositivo de HR 36 se pone en contacto con el sorbente líquido en la unidad de absorción química 50, en la que el CO₂ contenido en el gas de escape es absorbido por el líquido de acuerdo con la reacción (1). El sorbente sólido con el CO₂ capturado que se forma en la unidad de adsorción 50 se separa del gas de escape usando una unidad apropiada tal como un ciclón o un filtro en la unidad de operación 51, y se recicla a través de la unidad de regeneración 40 para producir el sorbente líquido original. La corriente de gases de escape remanente 52 que contiene una cantidad reducida de CO₂ se libera a la atmósfera.

La presión y la temperatura de la corriente de CO₂ 48 liberada en el espacio confinado de la unidad de regeneración 40 son relativamente elevadas. La temperatura del gas CO₂ se puede reducir haciéndola pasar a través de una unidad de recuperación de calor 32 tras la cual el CO₂ se puede transferir a un tanque de presión para su almacenamiento temporal, o se puede someter a densificación de acuerdo con los métodos y los aparatos descritos previamente.

Otra realización del proceso de la invención se describirá con referencia a la Fig. 12 que ilustra un sistema y un aparato para el proceso de captura del CO₂ usando un reactivo de captura sólido que tiene un núcleo magnético. El sistema incluye una unidad de absorción/adsorción 50, una unidad de regeneración 40, una unidad de separación magnética 55 con una fuente de campo magnético 56 y varios dispositivos de recuperación de calor (HR) 30, 32, 34 y 36. La captura del CO₂ se basa en una absorción química o en una adsorción física. En ambos casos, el CO₂ es liberado mediante calentamiento del agente de captura y la operación global del sistema de la Fig. 12 es similar a la de la Fig. 11, tal como se ha descrito previamente. Agentes de captura adecuados incluyen carbonatos metálicos, bicarbonatos, óxidos, carbones activados, zeolitas, materiales metal-orgánico estructurados (MOF) e híbridos orgánicos-inorgánicos. El núcleo magnético puede incluir materiales magnéticos tales como hierro, cobalto y óxidos de los mismos. (Véase, por ejemplo, *The American Institute of Chemical Engineers (AIChE) Journal*, Noviembre 2004 Vol. 50, No. 11, página 2835).

El líquido portador puede ser uno o una combinación de (a) líquidos de alto punto de ebullición o una mezcla de sales eutécticas que proporcionan estabilidad a las partículas por medios cinéticos o termodinámicos; o (b) una solución de alto punto de ebullición de un material que estabiliza las partículas suspendidas por medios cinéticos o termodinámicos.

Siguiendo con la referencia a la Fig. 12, una suspensión líquida 53, 54 de un material reactivo de captura sólido que tiene núcleos magnéticos se hace circular en el sistema para capturar y liberar el CO₂. Tras la etapa de absorción, la suspensión líquida se envía al vaso de separación de partículas 55 donde se somete a un campo magnético 56 que hace que las partículas migren rápidamente hacia el campo, separando y concentrando de este modo las partículas

del líquido portador 54 que se recircula y se mezcla con la corriente de gases de escape 26 para introducirla en la zona de absorción/adsorción 50.

5 Las partículas 42 que contienen CO₂ se transportan hacia la zona de regeneración 40 para ser calentadas en una relación de intercambio de calor con la corriente de gases de escape 22 a fin de liberar el CO₂. Las partículas regeneradas calientes 44 pasan a través del dispositivo de HR 34 y se enfrían para reintroducirlas en la zona de absorción/adsorción 50 en la que se mezclan con la corriente del líquido portador 54 que entra y la corriente de gases de escape enfriada 26.

10 En una realización adicional de la presente invención, una porción del CO₂ que se recupera tras la regeneración del agente de captura se retorna mediante un conducto adecuado a la entrada de aire del motor para ser mezclada con el aire atmosférico y el combustible. Este aspecto de la operación del sistema es similar al de los métodos conocidos para la recirculación del gas de escape (EGR) que se usan actualmente para reducir las temperaturas de operación del motor y reducir, por tanto, la cantidad de compuestos NO_x producidos durante la combustión del combustible.
15 Una cantidad de CO₂ equivalente a de un 5 a un 15 por ciento del volumen de gases de escape se puede retornar a la entrada. El retorno del CO₂ reduce también la cantidad de nitrógeno atmosférico arrastrado con la mezcla de combustible, que también tiene el efecto beneficioso de reducir los compuestos NO_x en los gases de escape. El porcentaje de CO₂ en la corriente de gases de escape aumenta también, potenciando de este modo la recuperación.

20 La recirculación de CO₂ se puede implementar mediante los mismos dispositivos y sistemas de control empleados convencionalmente para la recirculación de gases de escape en vehículos de motor. La recirculación de CO₂ se puede emprender también junto con sistemas EGR existentes. El CO₂ puede reemplazar todo o una porción predeterminada del gas de escape basándose en las condiciones de operación del motor o, de acuerdo con las prácticas actuales, interrumpiendo la recirculación por completo tal como al arrancar cuando el motor está frío, o
25 durante una rápida aceleración, y/o cuando el MCI soporta una carga pesada.

En una realización adicional de la invención, una porción del CO₂ recuperado directamente de la corriente de gases de escape o del contenedor de almacenamiento densificado se mezcla con agua y se hace reaccionar catalíticamente usando métodos conocidos para formar metano y agua mediante la reacción intermedia del
30 hidrógeno y el monóxido de carbono que se forman *in situ*. El metano y el agua se usan después para complementar el combustible hidrocarbonado convencional suministrado a la entrada del motor. El agua que ha reaccionado con el CO₂ se puede recuperar de la corriente de gases de escape o de una fuente a bordo separada proporcionada para tal fin.

35 Otra ventaja del método y sistema de la presente invención es la disponibilidad de CO₂ presurizado a bordo del vehículo para su uso en el sistema de aire acondicionado del vehículo. El CO₂ se usa en lugar de productos químicos hidrofluorocarbonados sintéticos y refrigerantes de tipo Freón que han demostrado ser una amenaza para el medio ambiente.

REIVINDICACIONES

1. Un método para reducir la cantidad de CO₂ descargado a la atmósfera con la corriente de gases de escape emitida por un motor de combustión interna (MCI) usado para impulsar un vehículo, comprendiendo el método:
 - a. hacer circular un agente de captura del CO₂ entre una zona de absorción y una zona de regeneración;
 - b. poner en contacto una corriente de gases de escape enfriada con el agente de captura del CO₂ en la zona de absorción a bordo del vehículo, teniendo el agente de captura una capacidad predeterminada para extraer el CO₂ de la corriente de gases de escape;
 - c. descargar una corriente de gases de escape tratada que tiene un contenido de CO₂ reducido a la atmósfera;
 - d. interrumpir el contacto de la corriente de gases de escape con el agente de captura cuando la concentración del CO₂ extraído por el agente de captura haya alcanzado un nivel predeterminado;
 - e. calentar el agente de captura del CO₂ para liberar el CO₂ extraído y regenerar el agente de captura;
 - f. recuperar una corriente de gas CO₂ esencialmente pura;
 - g. recuperar calor y energía de la corriente de gases de escape caliente emitida por el MCI mediante contacto con un medio de conversión de energía;
 - h. comprimir el CO₂ recuperado a bordo del vehículo para reducir su volumen usando la energía recuperada en la etapa (g) para comprimir el CO₂ y en el que al menos una porción de la energía eléctrica y/o mecánica producida por el medio de conversión de energía se usa para proporcionar energía a sistemas eléctricos y/o mecánicos auxiliares a bordo del vehículo;
 - e
 - i. almacenar temporalmente el CO₂ comprimido a bordo del vehículo.
2. El método de la reivindicación 1 que opera esencialmente de modo continuo tras el arranque del MCI del vehículo.
3. El método de la reivindicación 1 en el que el agente de captura del CO₂ se selecciona entre un líquido que absorbe CO₂ y un material sólido fluido en polvo finamente dividido que adsorbe el CO₂.
4. El método de la reivindicación 1 en el que el agente de captura del CO₂ es un líquido de alto punto de ebullición o mezcla eutéctica, una solución de un carbonato de un metal alcalino en un líquido de alto punto de ebullición, un carbonato líquido iónico, una solución coloidal de alto punto de ebullición de partículas pequeñas, partículas sólidas que absorben físicamente el CO₂ o que reaccionan con él que están suspendidas cinéticamente en un líquido de alto punto de ebullición, un disolvente de alto punto de ebullición que estabiliza el carbamato de un soluto de amina convencional, o un adsorbente sólido fluido finamente dividido que se pone en contacto con la corriente de gases de escape en una relación de flujo a contracorriente.
5. El método de la reivindicación 1 en el que la porción de la energía térmica de la corriente de escape se usa en la etapa de regeneración (e) y la etapa de compresión (h).
6. El método de la reivindicación 1 en el que el contenido de CO₂ de la corriente de gases de escape se reduce en al menos un 5 %.
7. El método de la reivindicación 1 en el que el contenido de CO₂ de la corriente de escape se mide aguas abajo del agente de captura.
8. El método de la reivindicación 1 que incluye reciclar una porción del CO₂ recuperado de la corriente de gases de escape al MCI.
9. Un sistema de tratamiento a bordo de una corriente de gases de escape que contienen CO₂ emitida por un motor de combustión interna (MCI) impulsado por combustibles hidrocarbonados y usado para proporcionar energía al vehículo a fin de reducir la cantidad de CO₂ descargado desde el vehículo 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 el CO₂ de la corriente de gases de escape;
 - teniendo la zona de tratamiento una entrada para dejar entrar una corriente del agente de captura y una salida para el paso del agente de captura con un contenido de CO₂ aumentado,
 - incluyendo también la zona de tratamiento una entrada y una salida para la corriente de gases de escape y medios intermedios de mezcla en los que la corriente de gases de escape se pone en contacto con el agente de captura,
 - incluyendo también la zona de tratamiento un intercambiador de calor con una entrada para recibir la corriente de gases de escape caliente procedente del MCI para su paso en una relación de intercambio de calor con el agente de captura a fin de liberar el CO₂ y regenerar el agente de captura, y una salida para la corriente de gases de escape enfriada,
 - teniendo la zona de tratamiento una salida de descarga de CO₂ para el CO₂ liberado del agente de captura regenerado;

- b. una zona de compresión en comunicación fluida con la salida de descarga de CO₂ de la zona de tratamiento, incluyendo la zona de compresión uno o más compresores para reducir el volumen de CO₂;
- c. una zona de almacenamiento para recibir el CO₂ comprimido para su almacenamiento temporal a bordo del vehículo;
- 5 d. un conducto de gas de escape en comunicación fluida con la salida de la corriente de gases de escape tratada de la zona de tratamiento; y
- e. al menos una zona de recuperación del calor residual para recuperar la energía térmica de la corriente de gases de escape, del refrigerante de motor caliente procedente del MCI y/o directamente del MCI para la conversión en energía eléctrica y/o mecánica, en la que al menos una porción de la energía eléctrica y/o
- 10 mecánica se usa para comprimir el CO₂ en dicha zona de compresión y en la que al menos una porción de la energía eléctrica y/o mecánica se usa para proporcionar energía a sistemas eléctricos y/o mecánicos auxiliares a bordo del vehículo.
10. El sistema de la reivindicación 9, en el que la zona de tratamiento está comprendida por al menos una zona de absorción y una zona de regeneración con al menos una válvula para dirigir los gases de escape del vehículo a al menos una zona de absorción.
- 15
11. El sistema de la reivindicación 10, que incluye una válvula de desvío para regular la cantidad volumétrica de la corriente de gases de escape que pasan a la zona de tratamiento antes de ser descargada a la atmósfera, en la que la válvula de desvío se controla basándose en las condiciones de operación del MCI.
- 20
12. El sistema de la reivindicación 9, que incluye medios de control para descargar toda o una porción de la corriente de gases de escape a la atmósfera sin pasar a través de la zona de tratamiento.
- 25
13. El sistema de la reivindicación 9, que incluye medios para determinar la concentración de CO₂ de la corriente de gases de escape tratada a medida que sale de la zona de tratamiento.

FIG. 1

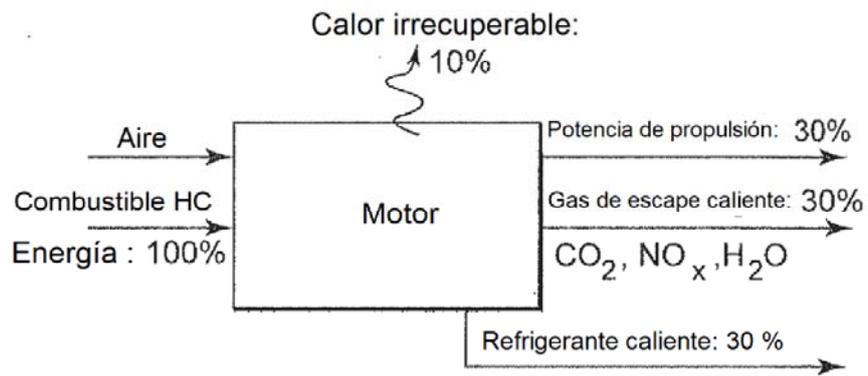
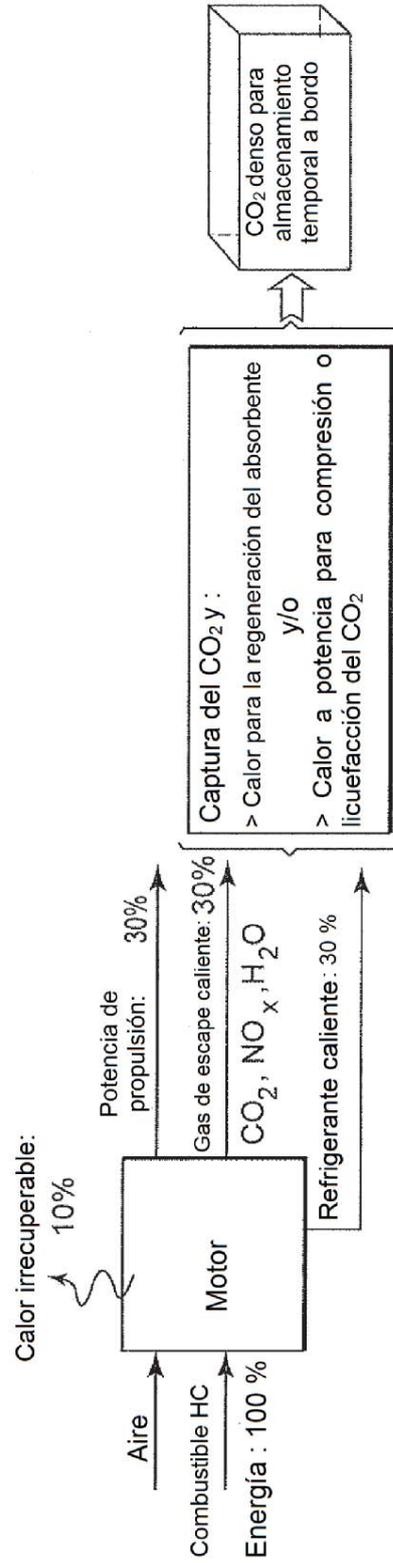


FIG. 2



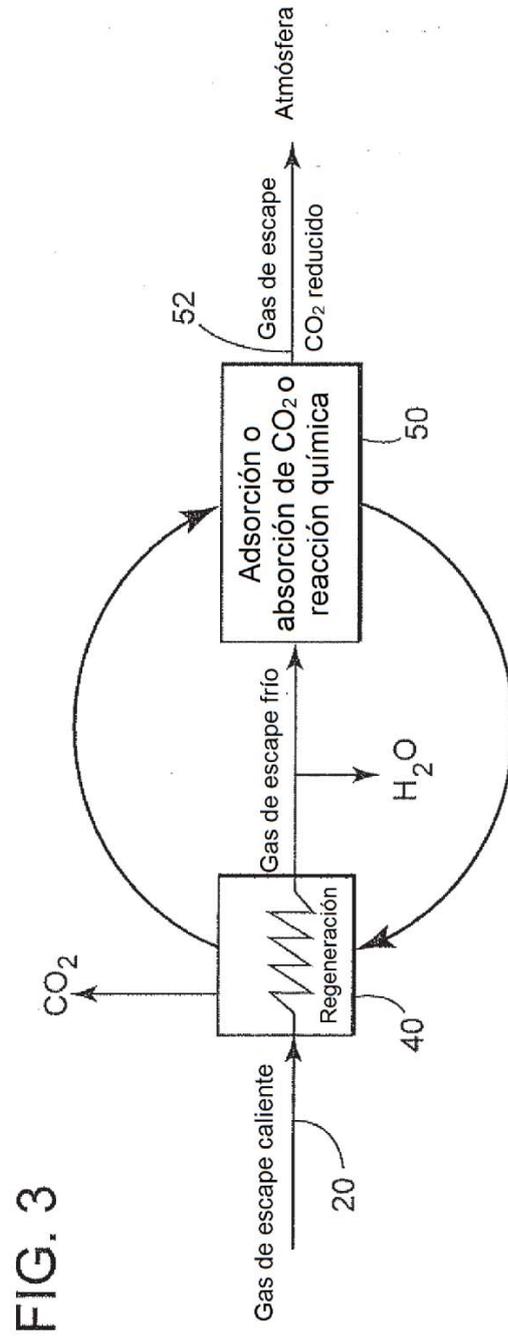


FIG. 3

FIG. 4

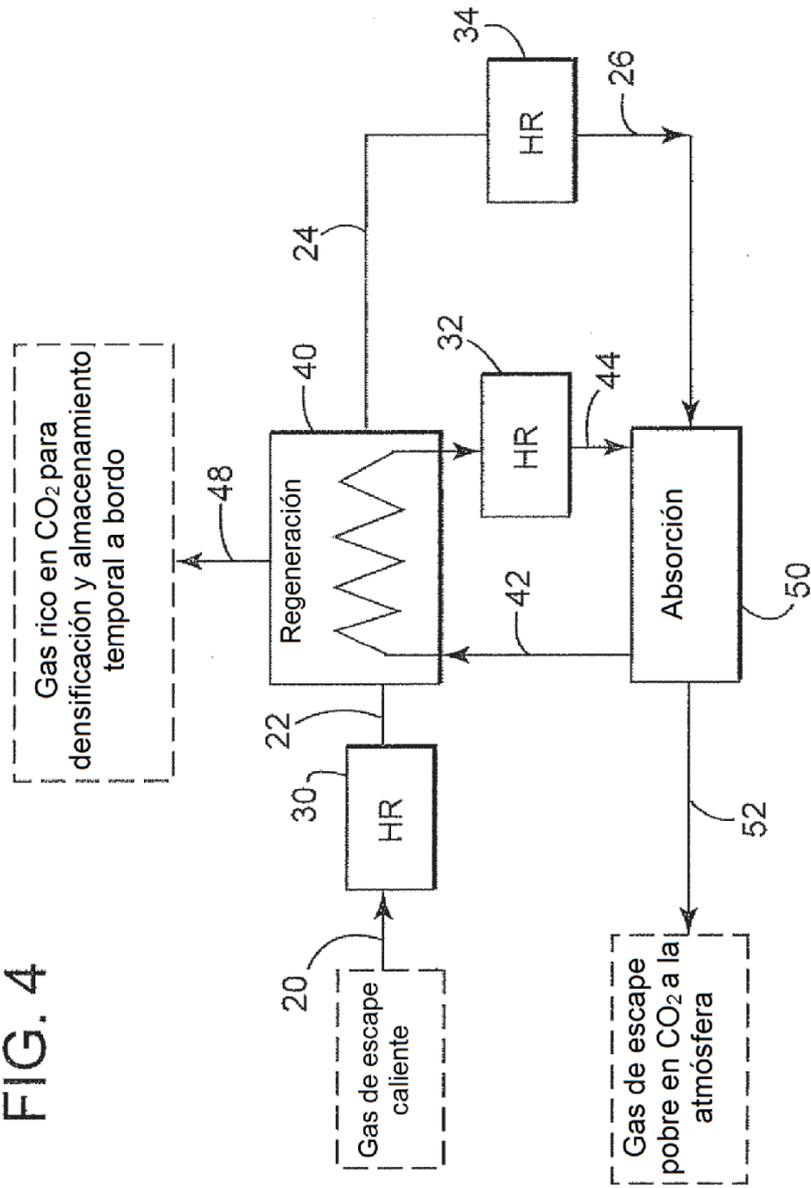


FIG. 5

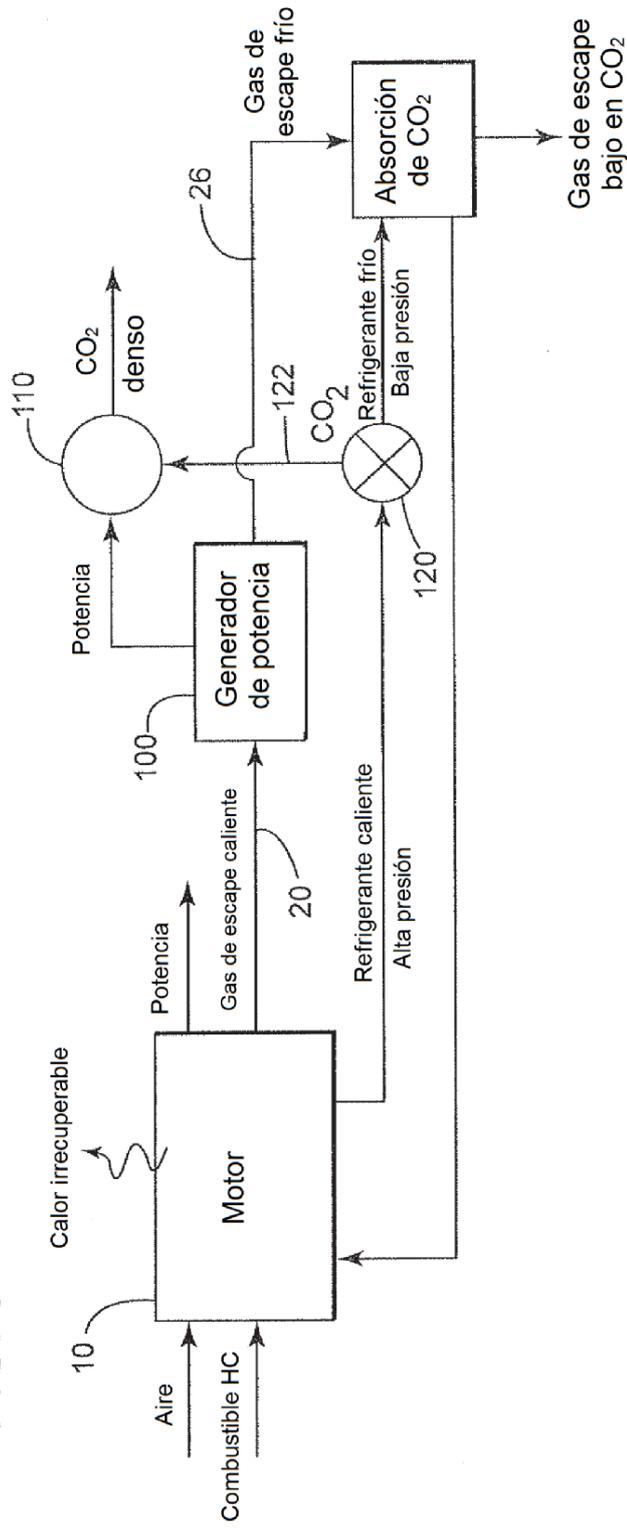
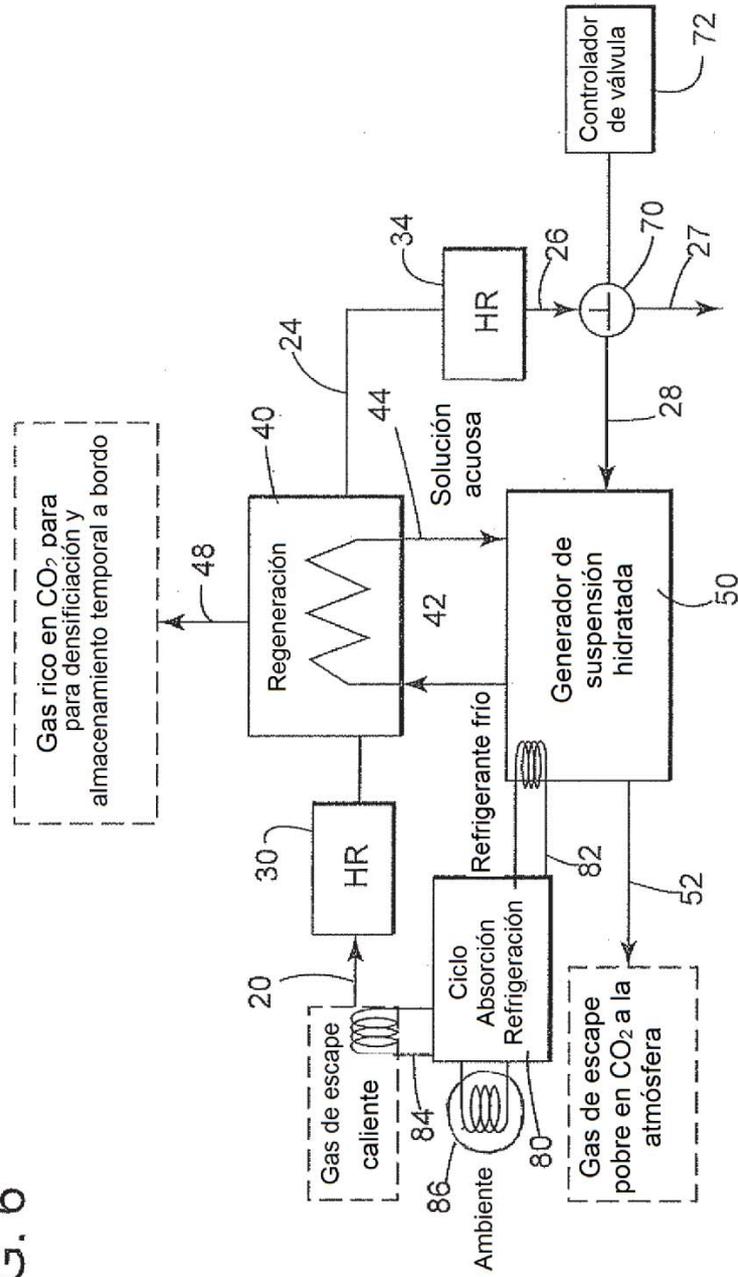


FIG. 6



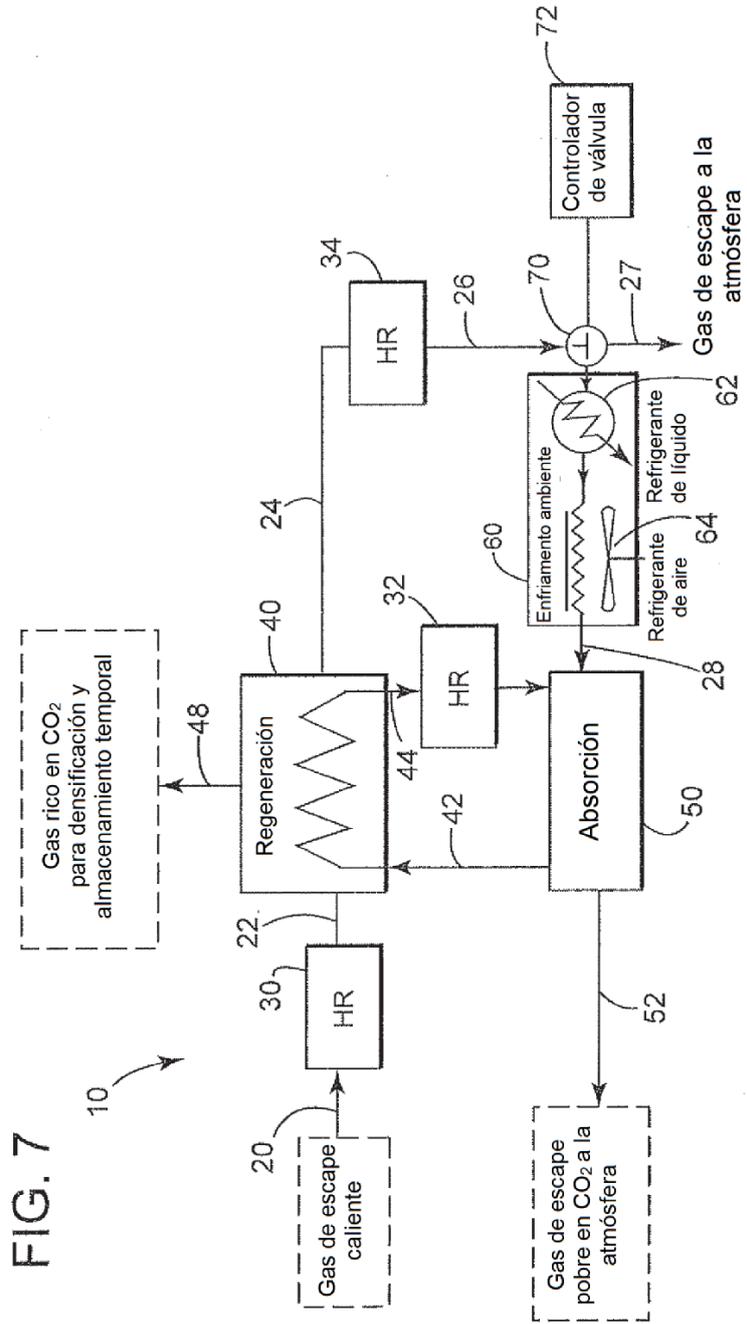
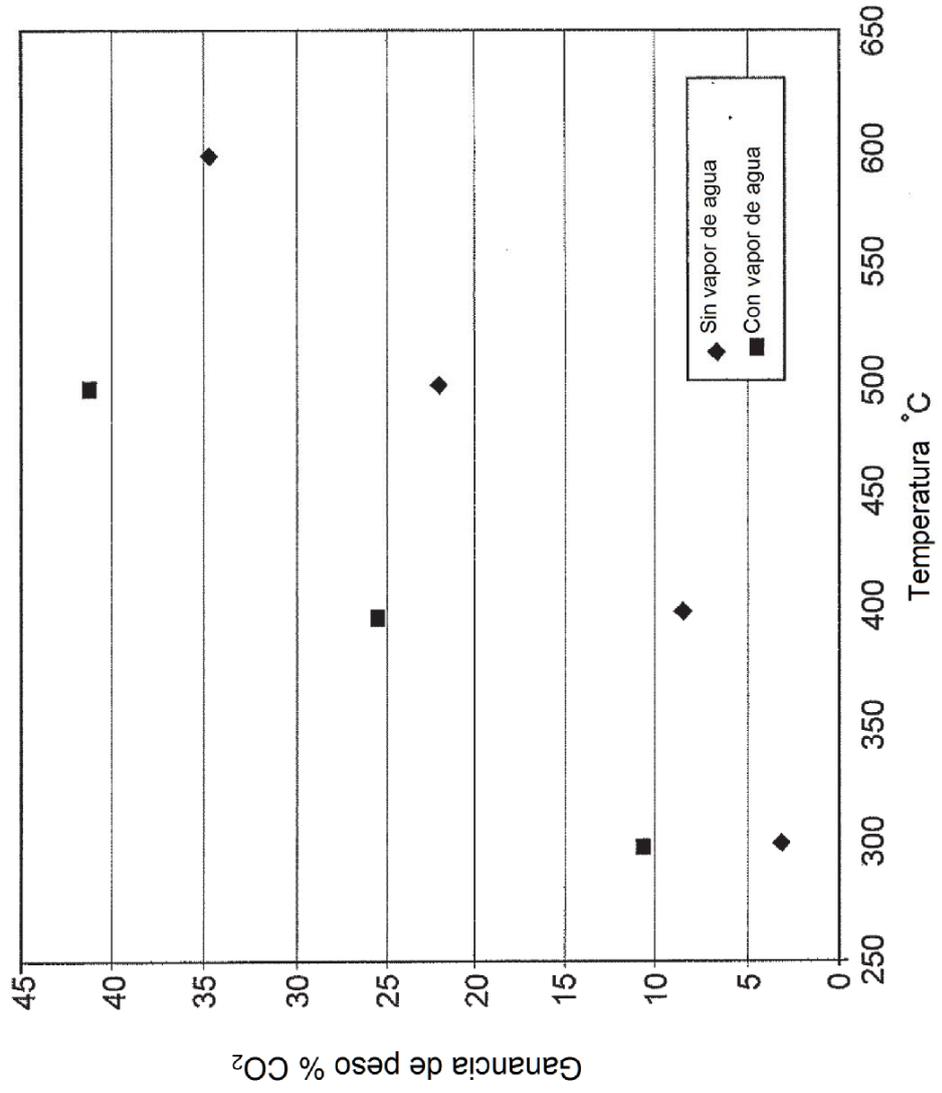


FIG. 8



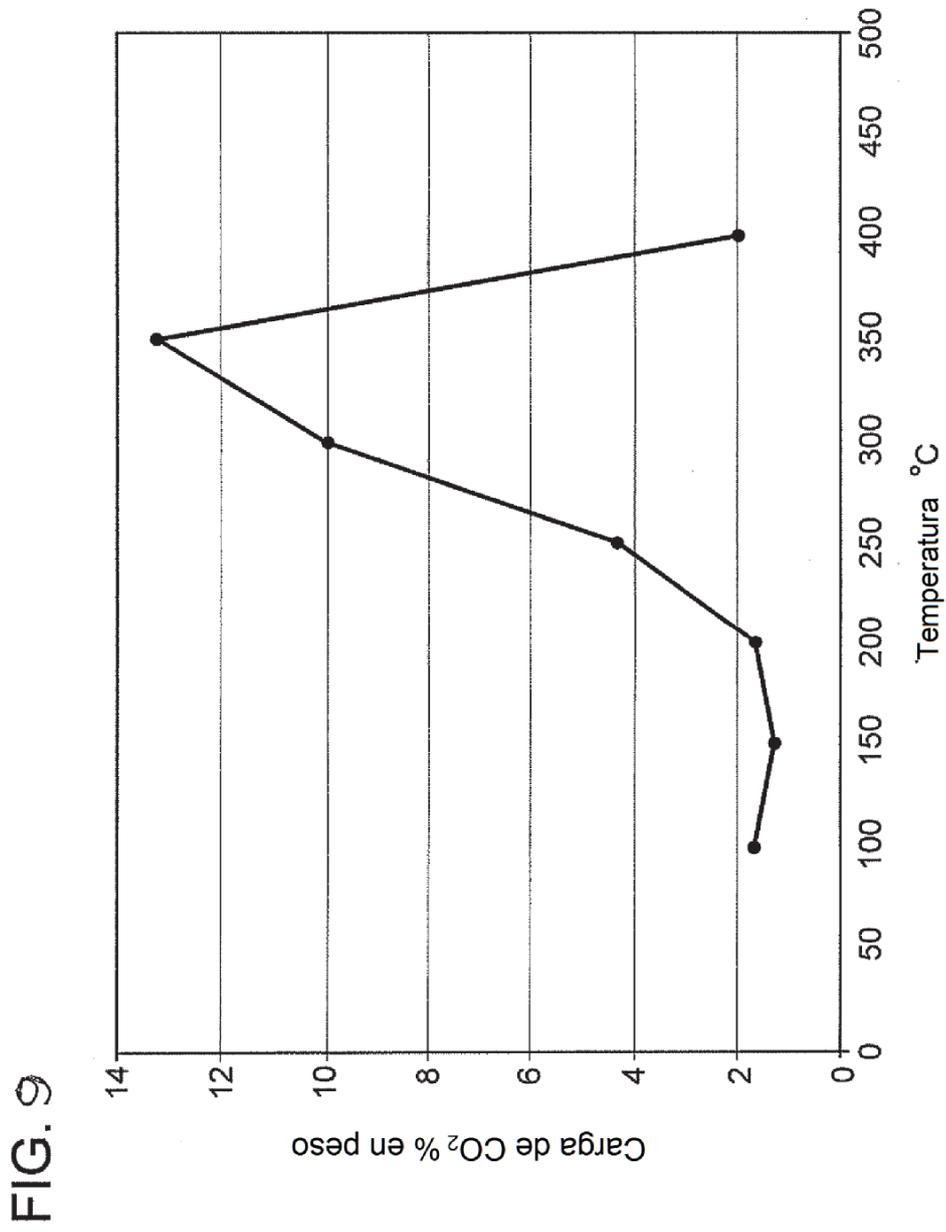
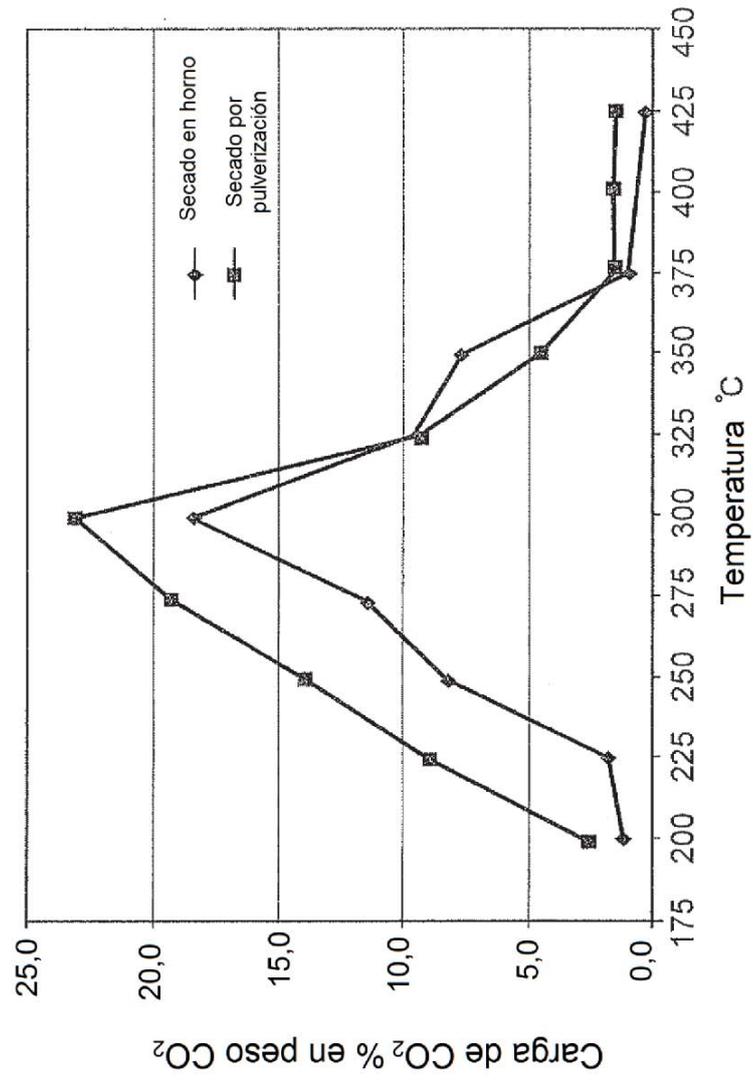


FIG. 10



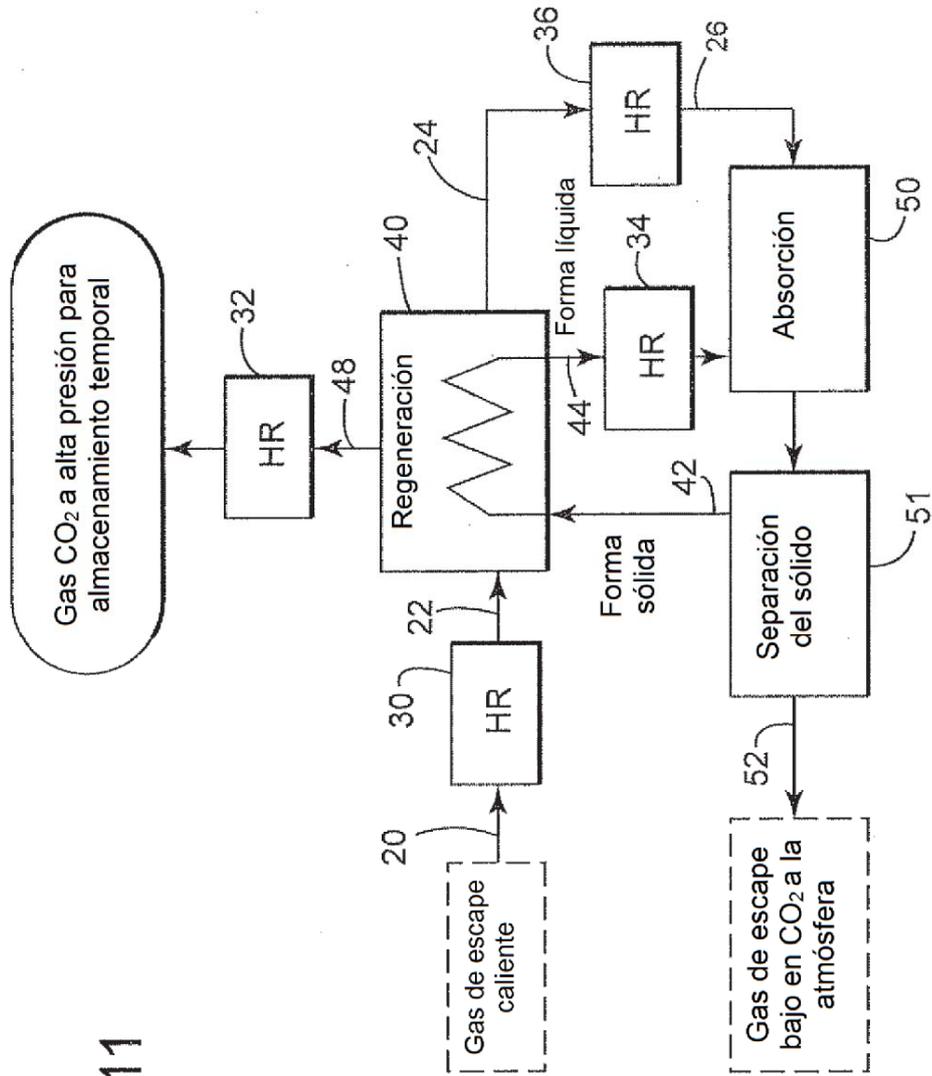


FIG. 11

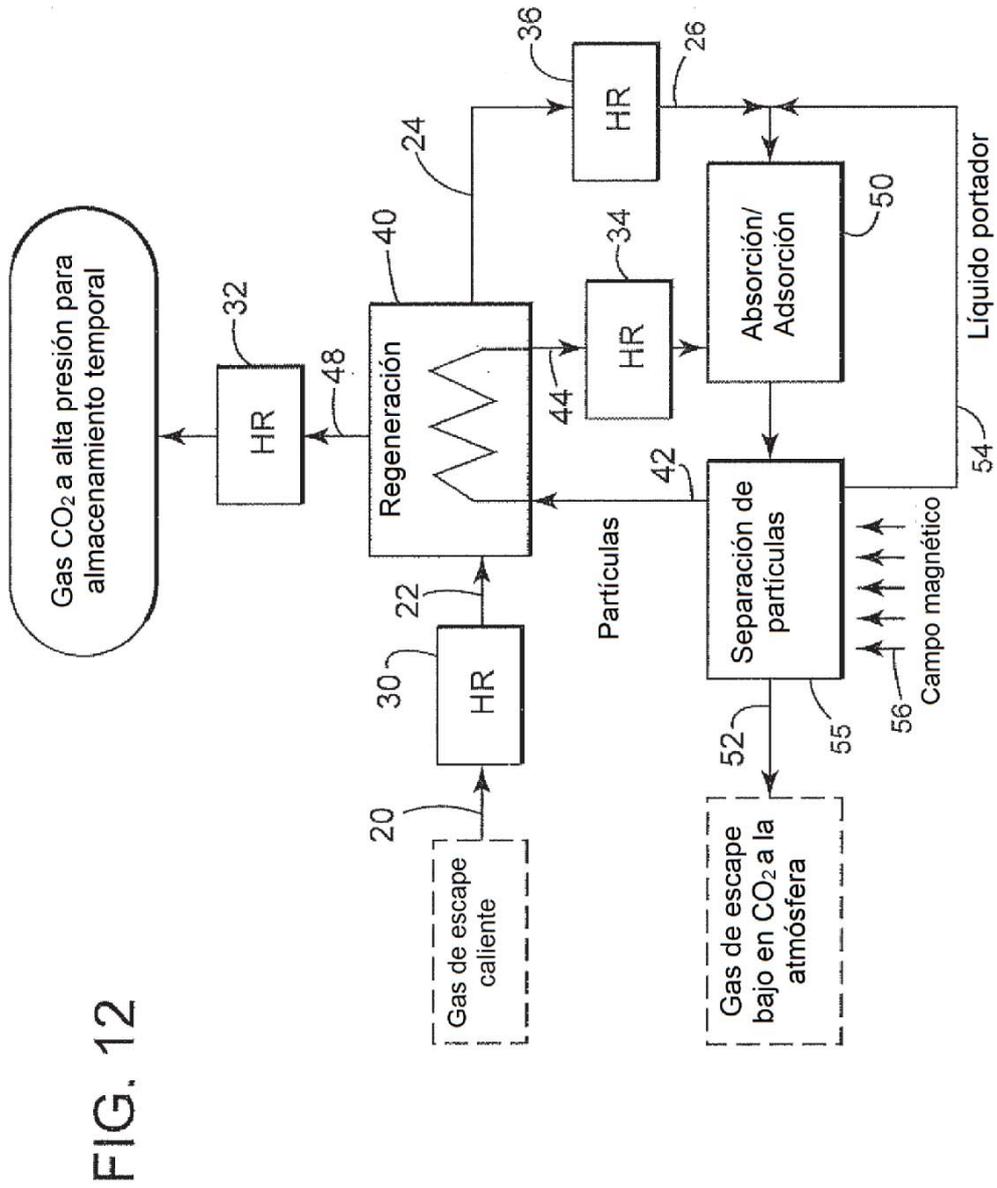


FIG. 12