

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 581 077**

(51) Int. Cl.:

**F23D 11/44** (2006.01)  
**F23D 11/24** (2006.01)  
**F23D 11/36** (2006.01)  
**F02C 1/00** (2006.01)  
**F02B 43/08** (2006.01)  
**F02G 3/00** (2006.01)  
**F23C 9/08** (2006.01)  
**F23K 5/20** (2006.01)

(12)

### TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.10.2003 E 03776355 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.02.2016 EP 1549881**

---

(54) Título: **Sistema para la vaporización de combustibles líquidos para combustión y método de utilización**

(30) Prioridad:

**10.10.2002 US 417184 P  
04.12.2002 US 430653 P**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**31.08.2016**

(73) Titular/es:

**LPP COMBUSTION, LLC (100.0%)  
8940 OLD ANNAPOLIS ROAD, SUITE K  
COLUMBIA MD 21045, US**

(72) Inventor/es:

**ROBY, RICHARD J.;  
KLASSEN, MICHAEL S. y  
SCHEMEL, CHRISTOPHER F.**

(74) Agente/Representante:

**AZNÁREZ URBIETA, Pablo**

**ES 2 581 077 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

Esta solicitud reivindica prioridad con respecto a las Solicitudes Provisionales estadounidenses con números de serie 60/417.184, presentada el 10 de octubre de 2002, y 60/430.653, presentada el 4 de diciembre de 2002.

### Antecedentes de la invención

#### Campo de la invención

La presente invención se refiere a métodos y dispositivos para la vaporización, el mezclado y el suministro apropiados de combustibles líquidos o gases licuados para su uso en dispositivos de combustión.

#### Antecedentes de la tecnología

Los dispositivos de combustión, como por ejemplo las turbinas de gas que se utilizan en la producción de electricidad, normalmente se alimentan de gas natural (por ejemplo, gas natural comprimido o GNC). Normalmente, el gas natural contiene aproximadamente un volumen de 90-98% de metano ( $\text{CH}_4$ ), aunque algunos gases con solo un 82% de metano se han caracterizado como gas natural. Aparte del metano, el gas natural puede incluir  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  y gases de hidrocarburos superiores, como por ejemplo C2 (etano, etileno, acetileno), C3 (propano), C4 (butano) y C5 (pentano).

Los avances recientes en el diseño de los sistemas de combustión para motores de turbina de gas se han traducido en mejoras sustanciales en las emisiones de escape durante el funcionamiento con gas natural gracias al uso de una combustión pobre premezclada. En este modo de combustión, el gas natural se premezcla con aire de combustión antes de llegar al frente de la llama. Esta mezcla pobre de gas natural y aire se quema a una temperatura más baja que las cámaras de combustión de llama de difusión convencionales, produciendo así niveles más bajos de contaminantes, incluidos los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), en la corriente de escape. A título de ejemplo, los niveles máximos permisibles de  $\text{NO}_x$  para las cámaras de combustión de llama de difusión son típicamente de 42 ppm a razón de 15% de  $\text{O}_2$ , mientras que los niveles máximos permisibles de  $\text{NO}_x$  para una turbina de gas de combustión pobre premezclada son normalmente en la actualidad de 15 ppm a 15% de  $\text{O}_2$ . El nivel de 42 ppm de  $\text{NO}_x$  para las cámaras de combustión de llama de difusión en general solo se puede alcanzar mediante la adición de grandes cantidades de vapor o agua a la cámara de combustión con el fin de reducir la temperatura de la llama.

Se han realizado varios intentos para operar dispositivos de combustión pobre premezclada con combustibles líquidos de hidrocarburos superiores alternativos, como por ejemplo fueloil y gasóleo, y gases combustibles de hidrocarburos superiores como el propano (C3) y el butano (C4). Tal y como se usa en el presente, la expresión "combustible de hidrocarburos superiores" se refiere a un combustible en el que al menos el 50% en peso de las moléculas de hidrocarburos del combustible poseen al menos dos átomos de carbono. Por desgracia, estos dispositivos de combustión no se pueden utilizar fácilmente en un modo de combustión pobre, premezclada y prevaporizada (PPV) cuando se usan los combustibles alternativos. Con el fin de generar una llama pobre, premezclada y prevaporizada utilizando combustibles líquidos o gases licuados (como se usa en el presente, se entenderá que la expresión "combustible líquido" incluye los

combustibles que se encuentran normalmente en un estado líquido a temperatura ambiente y presión atmosférica, así como los gases que se han licuado por enfriamiento y/o presurización), los líquidos deben ser evaporados primero en un gas portador (normalmente aire) para crear un gas combustible (es decir, una mezcla de vapor de combustible/aire), el cual posteriormente se puede mezclar con aire de combustión adicional antes de llegar al frente de la llama. Sin embargo, se puede producir un fenómeno conocido como autoignición con este tipo de mezclas vaporizadas de combustible líquido/gas licuado y aire. La autoignición consiste en la ignición espontánea del combustible antes de [llegar a] la ubicación de la llama deseada en el dispositivo de combustión. Esta ignición prematura se puede producir, por ejemplo, como resultado del calentamiento normal, prematuro o diferente del combustible que puede tener lugar a medida que el combustible se alimenta al dispositivo de combustión. La autoignición tiene como resultado una disminución de la eficacia, así como daños en el dispositivo de combustión, acortando la vida útil del dispositivo de combustión y/o causando un aumento de las emisiones no deseadas.

Se han realizado varios intentos para reducir la autoignición de combustibles líquidos de hidrocarburos superiores en los dispositivos de combustión pobre premezclada, pero ninguno de ellos ha tenido un éxito completo. Como resultado, los dispositivos de combustión de "combustible dual", como por ejemplo las turbinas de gas, capaces de funcionar con gas natural y combustibles líquidos de hidrocarburos superiores, normalmente funcionan en un modo pobre premezclado cuando se utilizan con gas natural y en un modo de difusión cuando se utilizan con combustibles líquidos de hidrocarburos superiores. La combustión de combustibles líquidos en el modo de difusión no es deseable, ya que aumenta las emisiones de  $\text{NO}_x$  y otras emisiones, en comparación con el gas natural combustionado en el modo pobre premezclado.

Otra cuestión que ha adquirido recientemente una mayor importancia se refiere a un problema asociado con el uso del gas natural licuado. Una escasez reciente en el suministro nacional de gas natural ha tenido como consecuencia que la importación de gas natural licuado sea más frecuente. Cuando se transporta gas natural licuado, normalmente mediante un barco cisterna, los gases de hidrocarburos superiores tienen un punto de ebullición más alto. Cuando el gas natural líquido se revaporiza para su uso como un combustible gaseoso, la última parte del gas natural licuado extraída del recipiente de almacenamiento contiene un mayor porcentaje de combustibles de hidrocarburos superiores. Debido al problema de la autoignición anteriormente mencionado, esta parte del gas natural licuado no puede utilizarse en muchas cámaras de combustión de gas natural pobre premezclada.

También se utilizan dispositivos de combustión similares a los utilizados con gas natural en calderas, incineradores, motores de turbina y otros motores de combustión, entre los que figuran aplicaciones distintas a las de producción de electricidad, como por ejemplo la propulsión de buques militares. Algunos de los problemas relacionados con el uso de motores de turbina en los buques militares incluyen la gran cantidad de espacio de almacenamiento que se requiere normalmente para el combustible de gas comprimido convencional y las altas emisiones que son consecuencia del uso de combustibles alternativos en los motores de turbina convencionales. Las emisiones pueden violar los requisitos medioambientales y presentar un riesgo de seguridad, por ejemplo al producir emisiones visibles que revelan la posición del buque.

En la patente europea n.º EP 0877156 A2 se describe un método para la operación de un dispositivo de combustión premezclada y un aparato de combustión que comprende un vaporizador de combustible.

- 5 Todavía existe una necesidad no satisfecha de un método que permita a los dispositivos de combustión, como por ejemplo motores de turbina y otros dispositivos de combustión, funcionar con gas natural y combustibles líquidos de hidrocarburos superiores en un modo pobre premezclado y prevaporizado. Una opción de combustible dual satisfactoria para tales dispositivos de combustión permitiría, por ejemplo, una flexibilidad de costes y 10 combustibles en aplicaciones como la producción de electricidad y otras diferentes.

### Resumen de la invención

15 Un método de conformidad con la reivindicación 1 y un aparato de combustión de conformidad con la reivindicación 26 resuelven los problemas mencionados anteriormente.

20 Las realizaciones de la presente invención abordan en gran medida los problemas antes mencionados, además de otros, al proporcionar un mecanismo para la producción de gas combustible prevaporizado con un contenido de oxígeno reducido con respecto al aire ambiente a partir de una amplia variedad de combustibles líquidos o gases licuados, los cuales pueden ser alimentados a un dispositivo de combustión como un combustible gaseoso. En realizaciones preferidas, se puede utilizar el gas combustible prevaporizado con dispositivos existentes de combustión pobre premezclada, configurados para 25 combustionar el gas natural. Se puede utilizar esa alimentación de combustible gaseoso con motores de turbina y motores de gasolina y gasóleo, como por ejemplo para propulsar buques militares, locomotoras, aviones y automóviles. También se puede utilizar esta invención con una amplia gama de otros dispositivos de combustión, especialmente dispositivos de combustión para los que se desea un alto grado de control 30 de ignición y/o de emisiones. Por ejemplo, se pueden lograr reducciones de NO<sub>x</sub> utilizando esta invención, incluso con cámaras de combustión de llama de difusión. Esta reducción de las emisiones se consigue como resultado de la capacidad térmica añadida de la mezcla de corriente con oxígeno reducido/gas combustible, ya que el gas inerte adicional sirve para reducir la temperatura de la llama, reduciendo así el NO<sub>x</sub>.

35 En la presente invención, se utiliza una corriente de gas inerte para vaporizar un combustible líquido o gas natural de hidrocarburos superiores licuado, y el gas combustible vaporizado con oxígeno reducido se alimenta a un dispositivo de combustión. Mediante la mezcla del combustible con una corriente de gas que tiene una 40 concentración apropiadamente reducida de oxígeno, se puede prevenir o retrasar suficientemente la reacción del combustible vaporizado para evitar la autoignición. Como se describe adicionalmente más adelante, pueden utilizarse un alto grado de control de encendido, así como otras características de la presente invención, para reducir o controlar de otra manera las emisiones o las inestabilidades de combustión.

45 Se puede utilizar una serie de dispositivos o sistemas conocidos en la técnica para suministrar la corriente de gas inerte, y se puede utilizar una serie de gases inertes en conjunción con la presente invención. Por ejemplo, en una realización de la presente invención, el gas de escape viciado procedente de un pre-quemador o desde aguas abajo del dispositivo de combustión puede proporcionar una corriente de oxígeno reducido para la vaporización del combustible líquido o gas licuado para un uso que evita la

autoignición. Mediante el acondicionamiento apropiado de esta corriente de gas de escape, se puede utilizar dicha corriente para vaporizar cualquiera de una variedad de combustibles líquidos o gases licuados, los cuales, una vez procesados y mezclados adecuadamente con la corriente de gas de escape, pueden ser alimentados directamente

5 a un dispositivo de combustión como un combustible gaseoso. En la presente invención, una unidad separadora de aire suministra la corriente de gas con oxígeno reducido al vaporizador de combustible líquido o gas licuado.

10 De forma ventajosa, esto permite que una unidad autónoma produzca un combustible prevaporizado a partir de cualquiera de una variedad de combustibles líquidos o gases licuados y aire comprimido, los cuales, una vez procesados y mezclados adecuadamente, pueden ser alimentados directamente a un motor de turbina existente adaptado para la combustión de gas natural. A continuación, esta mezcla puede ser quemada en una llama pobre premezclada para mejorar el rendimiento del motor. Por ejemplo, estas mejoras

15 pueden incluir (pero no están limitadas a) emisiones mejoradas de escape y/o una mayor estabilidad de la llama, incluida una dinámica de dispositivos con combustión reducida.

20 Una unidad separadora de aire para su uso [en] la presente invención separa el oxígeno y el nitrógeno del aire. La salida del separador de aire incluye dos corrientes de gas, una primera corriente con incremento de oxígeno y reducción de nitrógeno ("corriente enriquecida con oxígeno"), y una segunda corriente con reducción de oxígeno e incremento de nitrógeno (se denominan indistintamente la corriente con oxígeno reducido resultante de esta realización, así como las corrientes con oxígeno reducido de otras realizaciones, "la corriente con oxígeno reducido" o "la corriente con reducción de oxígeno"). En una realización de la presente invención, el separador de aire produce las

25 corrientes mediante un proceso que se conoce en la técnica como "adsorción".

30 La corriente con oxígeno reducido se combina a continuación con combustible líquido o gas licuado vaporizados antes de ser alimentada al dispositivo de combustión. Debido a que el combustible vaporizado requiere una presencia suficiente de oxígeno para la combustión, mediante la mezcla del combustible vaporizado con una corriente con oxígeno reducido, como por ejemplo un nivel adecuado de nitrógeno no combustible combinado con un nivel reducido de oxígeno, se puede impedir o retrasar la suficiente la combustión del combustible vaporizado con el fin de evitar la autoignición. La

35 combinación de combustible y corriente con oxígeno reducido puede alimentarse a continuación como un combustible gaseoso al dispositivo de combustión, en donde el combustible/corriente con oxígeno reducido pueden mezclarse con una fuente de oxígeno (por ejemplo, un suministro de aire) para la combustión en el motor.

40 En una realización de la presente invención, el separador de aire utiliza aire comprimido alimentado desde el compresor de la turbina. Alternativa o adicionalmente, el separador de aire puede utilizar aire comprimido procedente de cualquier fuente de aire comprimido.

45 En la presente invención, la corriente enriquecida con oxígeno producida por el separador de aire es alimentada al dispositivo de combustión aguas abajo de la combustión de combustible con el fin de reducir las emisiones del motor de turbina. La alimentación de una corriente enriquecida con oxígeno a la corriente de emisión de post-combustión puede reducir los contaminantes producidos por el dispositivo de combustión, por ejemplo, al mejorar la oxidación del combustible no quemado y/o monóxido de carbono

50 en la corriente de escape.

En una realización de la presente invención, la corriente enriquecida con oxígeno producida por el separador de aire puede ser alimentada al dispositivo de combustión para ampliar el rango de operación del dispositivo de combustión.

- 5 Se pueden utilizar muchos combustibles de hidrocarburos líquidos con la presente invención. Dichos combustibles líquidos o gases licuados incluyen, pero no se limitan a, combustible de gasóleo, gasóleo de calefacción nº 2, gasolina, gas natural licuado con un contenido elevado de hidrocarburos superiores, otros gases licuados que incluyen C2, C3, C4, C5, etc., licuados, y corrientes de residuos líquidos inflamables, como por 10 ejemplo corrientes de residuos producidos por los procesos de fabricación.

En una realización de la presente invención, el valor de calentamiento sobre una base de masa o volumétrica de la corriente de gas combustible puede ser controlado mediante la mezcla de una proporción adecuada de la corriente con oxígeno reducido. Esto facilita el 15 suministro de gas combustible al dispositivo de combustión a través de, por ejemplo, un sistema existente de combustible de gas natural.

Las ventajas adicionales y las nuevas características de la invención se expondrán en 20 parte en la descripción que se muestra a continuación, y en parte resultarán evidentes para los expertos en la técnica tras el examen de la información que se indica a continuación o el aprendizaje al llevar a la práctica la invención.

### **Descripción de las figuras**

25 La Figura 1(a) es un diagrama de bloques que no forma parte de la presente invención;

Las Figuras 1(b) y 1(c) son diagramas de bloques de diferentes tipos de cámaras de combustión adecuadas para su uso en la Figura 1(a); la Figura 1(c) no forma parte de la 30 invención.

La Figura 2 muestra un diagrama de flujo de un método para el uso de combustibles líquidos o gases licuados y un dispositivo de combustión;

35 La Figura 3 es un diagrama de bloques de un ejemplo de motor de turbina de gas con un dispositivo de combustión de combustible líquido o gas licuado para su uso con el mismo, el cual no forma parte de la presente invención;

La Figura 4 muestra un diagrama de flujo de un método para el uso de combustibles líquidos o gases licuados con un motor de turbina de gas de la presente invención;

40 La Figura 5(a) es un diagrama de bloques de un ejemplo de motor de turbina de gas con un dispositivo de combustión de combustible líquido o gas licuado para su uso con el mismo, de conformidad con la presente invención;

45 Las Figuras 5(b), 5(c), 5(d) y 5(e) son diagramas de bloques de diferentes configuraciones de cámaras de combustión del motor de turbina de gas de la Figura 5(a); las Figuras 5(d) y 5(e) no forman parte de la invención; y

50 En la Figura 6 se muestra un diagrama de flujo de un método para el uso de combustibles líquidos o gases licuados con un motor de turbina de gas, de conformidad con una realización de la presente invención.

### Descripción detallada

Se describirá la presente invención haciendo referencia a realizaciones preferidas de los sistemas de combustión. Se expondrán los detalles específicos, como por ejemplo los tipos de combustibles y contenidos de oxígeno de corrientes de gas, con el fin de proporcionar una comprensión exhaustiva de la presente invención. Se entenderá que las realizaciones preferidas descritas en el presente no deberían limitar la invención.

Asimismo, para facilitar la comprensión, se describirán algunos pasos como pasos independientes; sin embargo, estos pasos no deben ser interpretados como necesariamente distintos ni que su rendimiento depende del orden en que se lleven a cabo.

Como se usa en el presente, el término "vaporización" se entenderá como algo distinto a "gasificación". La gasificación es un término en la técnica que se refiere a un proceso mediante el cual un combustible no gaseoso, como por ejemplo el carbón, se convierte en un combustible gaseoso mediante la reacción parcial (por ejemplo, el quemado) del combustible no gaseoso con el aire ambiente o una corriente de gas enriquecida con oxígeno. Por el contrario, durante el proceso de vaporización, de conformidad con la presente invención, se suprime sustancialmente la reacción del combustible líquido debido a la presencia de una corriente de gas con contenido de oxígeno reducido con respecto al aire ambiente.

Se estima que la invención es especialmente aplicable a dispositivos de combustión pobres, premezclados y prevaporizados, y por lo tanto en el presente será estudiada principalmente en ese contexto.

En la Figura 1(a) se muestra un diagrama de bloques de un sistema de combustión que incluye una cámara de combustión típica (5) (también denominada en el presente indistintamente un "dispositivo de combustión") para su uso con combustibles líquidos o gases licuados para una cámara de combustión, como por ejemplo (pero no limitado a) un motor de turbina o un motor de encendido por chispa o de encendido por compresión. Como se muestra en la Figura 1(a), una unidad de vaporización de gas licuado/combustible líquido (1) está conectada a la cámara de combustión (5). Se proporciona un flujo (8) de combustible vaporizado con oxígeno reducido a la cámara de combustión (5) desde la unidad de vaporización (1). También se introduce en la cámara de combustión (5) una corriente de gas oxigenado (9), como por ejemplo una fuente de aire. En una realización, la cámara de combustión (5) incluye elementos para mezclar adecuadamente el flujo de combustible vaporizado (8) y el flujo de la corriente de gas oxigenado (9).

La unidad de vaporización (1) incluye una fuente de corriente de gas con oxígeno reducido (2), una fuente de combustible líquido/gas licuado (3) (que también se denomina en este documento indistintamente "combustible líquido" y/o "combustible licuado"), y una unidad vaporizadora (4). La unidad de vaporización de combustible líquido/gas licuado (4) mezcla y vaporiza las corrientes de suministro (6 y 7) de la fuente de combustible líquido/gas licuado (3) y la fuente de corriente de gas con oxígeno reducido (2), respectivamente. Se pueden utilizar muchos métodos diferentes para vaporizar la corriente de combustible líquido (6) y la corriente de gas con oxígeno reducido (2). El orden en el que se produce la mezcla y la vaporización no es importante. En algunas realizaciones, la mezcla y la vaporización ocurren simultáneamente, por ejemplo cuando la corriente con oxígeno reducido se precalienta a una temperatura suficiente para vaporizar el combustible líquido. En otras realizaciones, la corriente de combustible

líquido (6) es vaporizada parcial o completamente, por ejemplo mediante el calentamiento del combustible líquido antes de la mezcla con la corriente de gas con oxígeno reducido (7). En algunas realizaciones, la corriente de gas con oxígeno reducido (7) es presurizada y/o calentada antes de la mezcla y la vaporización. La corriente de combustible vaporizado (8), que ha sido acondicionada para evitar la autoignición mediante la mezcla con la corriente con oxígeno reducido, es alimentada a continuación a la cámara de combustión (5) para su uso en el proceso de combustión.

- 5 En algunas realizaciones, la corriente de combustible vaporizado (8) está a una temperatura lo suficientemente elevada como para que la temperatura de la corriente de combustible vaporizado (8) se mantenga por encima del punto de rocío durante el tránsito a la cámara de combustión (5). En otras realizaciones, la temperatura de la corriente de combustible vaporizado (8) puede descender por debajo del punto de rocío si la distancia que la corriente de combustible vaporizado (8) debe recorrer para alcanzar la cámara de combustión (5) es lo suficientemente corta como para que no haya tiempo suficiente para que se produzcan cantidades significativas de condensación. En otras realizaciones adicionales, la corriente de combustible vaporizado (8) se calienta entre el vaporizador (4) y la cámara de combustión (5).
- 10 20 La fuente de corriente de gas con oxígeno reducido (2) produce una corriente de gas con un contenido de oxígeno que está reducido en relación con el aire ambiente, que normalmente se considera contiene aproximadamente un 21% de O<sub>2</sub>. En algunas realizaciones de la invención, la corriente de gas con oxígeno reducido posee un contenido de oxígeno por debajo del índice límite de oxígeno. El índice límite de oxígeno (ILO) es la concentración de oxígeno en el medio ambiente local por debajo de la cual un material no permitirá la combustión y varía según los diferentes tipos de combustibles líquidos. El ILO se encuentra típicamente entre aproximadamente el 10% y el 14%, y es de aproximadamente un 13% para muchos combustibles de hidrocarburos superiores. Cuanto más se reduzca el contenido de oxígeno de la corriente de gas de la fuente 2, más se suprimirá la autoignición. No obstante, se requiere más trabajo (es decir, energía) para producir una corriente de gas con un contenido más bajo de oxígeno. Este trabajo reducirá la eficacia general del sistema. Por lo tanto, en algunas realizaciones, el contenido de oxígeno de la fuente de la corriente (2) es lo suficientemente bajo como para suprimir la autoignición en la cantidad necesaria, que puede estar por encima o por debajo del ILO. En otras realizaciones de la invención, la fuente de corriente de gas con oxígeno reducido (2) no contiene oxígeno. En algunas de estas realizaciones, el gas suministrado por la fuente de corriente de gas con oxígeno reducido (2) es inerte; en otras realizaciones adicionales, el gas de la fuente (2) contiene hidrocarburos (por ejemplo, metano y/o hidrocarburos superiores).
- 15 30 35 40 45 La cantidad de reducción del contenido de oxígeno en la corriente de gas de la fuente (2) necesaria para suprimir de manera suficiente la autoignición dependerá de la aplicación específica y, en particular, de factores como la calidad del combustible, el programa de mezcla/vaporización, la distancia que la corriente de gas vaporizado debe recorrer para alcanzar la cámara de combustión, el calor de la corriente de gas vaporizado a medida que sale del vaporizador, el calor al que se somete la mezcla de corriente de gas con oxígeno reducido/combustible en la cámara de combustión con anterioridad a la combustión y la distancia desde la zona de premezcla hasta la zona de combustión en la cámara de combustión.

Como se ha mencionado anteriormente, la cámara de combustión (5) de la Figura 1(a) puede ser una cámara de combustión premezclada, como se muestra en la Figura 1(b). Las cámaras de combustión premezclada contienen típicamente una zona de premezcla (5b-1), una zona de combustión primaria (5b-2), una zona intermedia (5b-3) y una zona

5 de dilución (5b-4). En una cámara de combustión premezclada, la corriente de gas combustible vaporizado con oxígeno reducido (8) se alimenta a la zona de premezcla (5b-1), en donde se premezcla con una corriente de gas oxigenado (9a) (por ejemplo, aire). La corriente de gas oxigenado (9a) se alimenta típicamente a algunas o todas las otras zonas (5b-2, 5b-3 y 5b-4). En un dispositivo de combustión RQL (*rich-quench-lean*),  
10 la corriente de gas combustible vaporizado con oxígeno reducido (8) también se alimenta a la zona intermedia (5b-3). Alternativamente, la cámara de combustión (5) de la Figura 1(a) puede ser una cámara de combustión de difusión, como se muestra en la Figura 1(c), que incluye una zona de combustión primaria (5c-1), una zona intermedia (5c-2) y una zona de dilución (5c-3). En una cámara de combustión de difusión normal, se alimenta la corriente de gas combustible vaporizado con oxígeno reducido (8) a la zona  
15 de combustión primaria (5c-1), en donde se combusciona en presencia de la corriente de gas oxigenado (9a).

En la Figura 2 se muestra un diagrama de flujo de un método de operación de un sistema 20 de vaporización de combustible líquido/gas con oxígeno reducido, de conformidad con una realización ejemplar de la presente invención. Se suministran una corriente de gas con oxígeno reducido y una alimentación de una fuente de combustible líquido a la unidad de vaporización de combustible, líquido en el paso 10. La unidad de vaporización de combustible líquido mezcla y vaporiza las corrientes de suministro en el paso 11. La

25 energía de vaporización puede ser suministrada por la corriente de gas con oxígeno reducido o por otra fuente de energía. A continuación la corriente de combustible vaporizado, que ha sido acondicionada para evitar la autoignición mediante la mezcla con la corriente con oxígeno reducido, es alimentada a una cámara de combustión en el paso 12. La cámara de combustión usa el combustible líquido preparado/la corriente de gas con oxígeno reducido con una fuente de oxígeno para crear una mezcla de combustible en el paso 13.

En la Figura 3 se muestra otro sistema de combustión. El sistema de combustión de la 35 Figura 3 incluye un motor de turbina de gas convencional (14) que posee un compresor de aire (15) (conectado a un suministro de aire de combustión, el cual no se muestra en la Figura 3), una cámara de combustión (5) (la cual, como se ha mencionado anteriormente, puede ser una cámara de combustión premezclada o de difusión), una turbina (16) y una chimenea (17) para la liberación de emisiones. Se puede acoplar el

40 motor de turbina (14) a cualquier dispositivo, por ejemplo, a un generador (18) u otra salida, como por ejemplo hélices de un buque naval. En esta realización, se utiliza una parte de la corriente de escape (20) de la chimenea (17) para suministrar la corriente de gas con oxígeno reducido a una unidad de vaporización de combustible líquido/gas licuado (21). La unidad de vaporización de combustible líquido/gas licuado (21) está conectada al motor de turbina de gas convencional (14). La unidad de vaporización (21) 45 incluye un compresor (19) para presurizar la corriente de escape de la chimenea (20), un vaporizador de combustible (4) y una fuente de combustible líquido/gas licuado (3), los cuales pueden estar contenidos dentro de la unidad (21) o, alternativamente, ser independientes y estar conectados a la unidad (21).

50 En la Figura 4 se muestra un diagrama de flujo de operación de un sistema de vaporización de combustible líquido/gas con oxígeno reducido para su uso con una

turbina, de conformidad con una realización de la presente invención. La corriente de escape de la turbina, que posee un contenido reducido de oxígeno, es alimentada a un compresor en el paso 25. El compresor presuriza la corriente de escape de gases de la turbina en el paso 26. La salida del compresor de la corriente con oxígeno reducido y la corriente de combustible líquido resultantes son alimentadas al vaporizador de combustible líquido en el paso 27. La salida del compresor se mezcla con la corriente de combustible líquido con el fin de vaporizar el combustible líquido en el paso 28. La corriente de combustible líquido vaporizado con oxígeno reducido es alimentada a continuación a la cámara de combustión de la turbina de gas en el paso 29.

10 En algunas realizaciones preferidas, el motor de turbina (14) es un dispositivo existente de premezcla pobre, configurado para funcionar con gas natural, y el combustible líquido (3) es un combustible líquido de hidrocarburos superiores. Además del problema anteriormente mencionado de la autoignición, surge un segundo problema en relación con el uso de combustibles de hidrocarburos superiores en los dispositivos de combustión configurados para funcionar con gas natural; debido a que los combustibles de hidrocarburos superiores tienen un contenido de energía superior al del gas natural, la distribución de gas combustible y el sistema de dosificación de un motor configurado para funcionar con gas natural normalmente requerirían modificaciones para funcionar con un gas combustible de hidrocarburos superiores. Sin embargo, en realizaciones preferidas, la unidad de vaporización de gas (21) está configurada para suministrar un gas combustible vaporizado con oxígeno reducido al motor de turbina (14) de tal manera que no sea necesaria ninguna modificación al sistema de distribución de gas combustible del motor (14). Esto se logra mediante la mezcla de una cantidad de gas con oxígeno reducido con el combustible vaporizado de tal forma que el contenido de energía del gas combustible vaporizado con oxígeno reducido del vaporizador (4) es equivalente a gas natural. Esto se puede hacer sobre una base volumétrica o de masa, dependiendo del método de dosificación de combustible utilizado por el motor (14). En otras realizaciones, el contenido de energía del gas combustible con oxígeno reducido es superior o inferior al contenido de energía del gas natural, y el sistema de distribución de combustible está configurado para funcionar con un gas con contenido de energía superior o inferior.

35 A modo de ejemplo, el valor de calentamiento de un gas combustible es aproximadamente proporcional al número de átomos de carbono en la molécula de gas. Por consiguiente, el pentano ( $C_5H_{12}$ ) posee aproximadamente 5 veces el valor de calentamiento del componente principal del gas natural, el metano ( $CH_4$ ). Si se utilizara pentano licuado como combustible líquido en el sistema de la Figura 3, el vaporizador (4) estaría configurado para generar una corriente de gas combustible que comprende una parte de gas de pentano vaporizado y cuatro partes de gas con oxígeno reducido para su uso con un motor (14) que tiene un sistema de distribución de gas combustible configurado para la dosificación del metano sobre una base volumétrica.

40 En la Figura 5a se ilustra un sistema de combustión de conformidad con la presente invención que incluye un motor de turbina de gas (14) que tiene un compresor (15), una cámara de combustión (5), una turbina (16) y una chimenea (17) para la liberación de emisiones. Se puede acoplar la turbina (16), por ejemplo, a un generador (18) o a cualquier otro dispositivo, como por ejemplo las hélices de un buque militar. Se puede conectar una unidad de vaporización de combustible líquido/gas licuado (31) de una realización de la presente invención al motor de turbina de gas (14). En la realización mostrada en la Figura 5a, la unidad (31) incluye un separador de aire (32), un compresor auxiliar (33), un segundo compresor (34), un vaporizador de combustible (4) y una fuente

de combustible líquido/gas licuado (3), que pueden estar contenidos dentro de la unidad (31) o, alternativamente, separados de la unidad (31) y conectados a la misma.

- 5 El separador de aire (32) recibe una corriente de aire comprimido desde el compresor (15) del motor (14) (o una corriente de aire comprimido desde otra fuente) y genera una corriente de gas enriquecida con oxígeno (41) y una corriente de gas con oxígeno reducido (42), que normalmente contiene una cantidad elevada de nitrógeno con respecto al aire. En la técnica se conocen una amplia gama de separadores de aire. En algunas 10 realizaciones, la unidad de separación de aire produce las corrientes enriquecidas con oxígeno y con oxígeno reducido (41 y 42) utilizando un proceso que se conoce como adsorción. En dichas realizaciones, la corriente de aire puede ser comprimida a una presión de tres atmósferas para facilitar la separación.
- 15 En la Figura 5a, se comprime la corriente enriquecida con oxígeno (41) y la corriente de gas comprimida enriquecida con oxígeno (43) se inyecta en la cámara de combustión (5). Se alimenta la corriente con oxígeno reducido (42) al compresor auxiliar (33), donde se presuriza. A continuación, la corriente de gas comprimida con oxígeno reducido (45) se alimenta a la unidad de vaporización de combustible líquido/gas licuado (4). La unidad de 20 vaporización de combustible líquido/gas licuado (4) mezcla la alimentación de combustible líquido/gas licuado (6) de una fuente de combustible líquido/gas licuado (3) con la corriente comprimida con oxígeno reducido (45) a una temperatura elevada para evaporar el combustible líquido/gas licuado. La relación en la que se mezclan la corriente comprimida con oxígeno reducido (45) y la alimentación de gas (6) depende del combustible líquido (3) y de la configuración del motor (14). Como se ha mencionado 25 anteriormente, se puede seleccionar la relación para permitir que un motor (14) que está configurado para la combustión de gas natural sea utilizado con un combustible líquido de hidrocarburos superiores (3) sin necesidad de modificar el sistema de distribución de combustible del motor (14). A continuación se alimenta el combustible de vaporización/la corriente con oxígeno reducido (8) a la cámara de combustión (5).
- 30 En la Figura 6 se muestra un diagrama de flujo de un método de operación de un sistema de vaporización de combustible líquido/gas licuado para su uso con una turbina, de conformidad con una realización de la presente invención. Como se muestra en la Figura 6, se toma aire comprimido del compresor de aire del motor de la turbina de gas en una 35 fase/presión apropiadas para su uso en la unidad de separación de aire en el paso 51. La unidad de separación de aire recibe la corriente de aire comprimido y crea una corriente enriquecida con oxígeno y una corriente con oxígeno reducido en el paso 52. En una realización, se alimenta la corriente enriquecida con oxígeno a un primer compresor auxiliar en el paso 53, el primer compresor auxiliar presuriza la corriente enriquecida con oxígeno en el paso 54, y a continuación se inyecta la corriente enriquecida con oxígeno a presión en la cámara de combustión en el paso 55. En la invención, se inyecta la 40 corriente de combustible enriquecida con oxígeno en la cámara de combustión (5) aguas abajo del frente de llama (por ejemplo, una zona intermedia o zona de dilución de una cámara de combustión, como por ejemplo una cámara de combustión premezclada, como se muestra en las Figuras 5(b) y 5(c), respectivamente, o una cámara de combustión de difusión) para reducir la cantidad de contaminantes emitidos por el motor (14). En otros ejemplos que no forman parte de la invención, se mezcla la corriente de combustible enriquecida con oxígeno con el aire de combustión procedente del compresor (15) que se alimenta a la zona de combustión primaria de la cámara de combustión (5), como se muestra en la Figura 5(d) (cámara de combustión premezclada) 45 y la Figura 5(e) (cámara de combustión de difusión). Esto amplía el rango de operación 50

de la cámara de combustión, lo que permite que se produzca la combustión en una relación de equivalencia inferior (es decir, una combustión más pobre), lo que puede reducir la emisión de contaminantes, como por ejemplo NO<sub>x</sub>. En otros ejemplos adicionales que no forman parte de la invención, se mezcla simplemente la corriente de combustible enriquecida con oxígeno con el aire procedente del compresor (15) y se alimenta a todas las zonas de la cámara de combustión.

5 Se alimenta la corriente con oxígeno reducido desde la unidad de separación de aire a un segundo compresor auxiliar en el paso 56, y el segundo compresor auxiliar presuriza la

10 corriente con oxígeno reducido en el paso 57. A continuación se alimentan la corriente comprimida con oxígeno reducido resultante, junto con la corriente de combustible líquido/gas licuado procedente de una fuente de combustible líquido, a la unidad de vaporización de combustible líquido en el paso 58. La unidad de vaporización de

15 combustible líquido mezcla la corriente de combustible líquido/gas licuado alimentada con la corriente comprimida con oxígeno reducido a una temperatura elevada con el fin de evaporar el combustible líquido/gas licuado en el paso 59. En una realización de la

20 presente invención, el grado en el que la corriente con oxígeno reducido y el combustible líquido/gas licuado se mezclan es ajustable a un valor específico de calentamiento y/o a especificaciones de masa o velocidad de flujo volumétrico, según sea apropiado, para diferentes combustibles líquidos/gases licuados. La corriente de combustible/con oxígeno

reducido de vaporización se alimenta a continuación a la cámara de combustión a través

de, por ejemplo, el sistema existente de combustible de gas natural para su uso en la

turbina en el paso 60.

25 Como se ha mencionado anteriormente, algunas realizaciones de la invención están configuradas para producir corrientes de gas combustible con oxígeno reducido a partir de combustibles líquidos que se pueden alimentar a dispositivos de combustión existentes, como por ejemplo motores de turbina de gas que están configurados para combustionar otros combustibles como el gas natural sin necesidad de modificar los

30 dispositivos de combustión existentes. Esto se logra mediante la mezcla del gas combustible con una corriente con oxígeno reducido e inerte con el fin de mantener el contenido de energía del gas combustible igual al del gas natural sobre una base de masa o volumétrica, dependiendo del método de dosificación utilizado por el dispositivo de combustión. En la mayoría de los dispositivos de combustión existentes, la relación

35 entre el gas combustible y el aire de combustión puede ser controlada de tal manera que la mezcla puede ser más o menos pobre. Un beneficio adicional de la presente invención es que se pueden quemar muchos de los combustibles de hidrocarburos superiores vaporizados con oxígeno reducido en una relación de equivalencia inferior (más pobre) que la de metano en condiciones equivalentes (es decir, con la misma temperatura, el

40 mismo suministro de aire de combustión (u otro gas que contiene oxígeno), etc.). Por ejemplo, la relación de equivalencia mínima del metano es normalmente de aproximadamente 0,5 en el aire, mientras que muchos combustibles de hidrocarburos superiores pueden ser combustionados en una relación de equivalencia de aproximadamente 0,45 en el aire. El uso de relaciones de equivalencia inferiores reduce

45 la emisión de contaminantes, como por ejemplo NO<sub>x</sub>. Como se ha mencionado anteriormente, la relación de equivalencia de operación del dispositivo de combustión puede ser incluso inferior en realizaciones en las que el rango de operación se ha ampliado mediante la adición de una corriente enriquecida con oxígeno procedente de un separador de aire a la corriente de aire de combustión.

En otras formas de la invención, se produce un gas combustible con oxígeno reducido con un contenido de energía superior o inferior al del gas natural. En dichas realizaciones, si se utiliza un dispositivo de combustión configurado para funcionar con gas natural, puede ser necesaria la modificación correspondiente del sistema de combustible/distribución/dosificación de dicho dispositivo.

5 Se han descrito ejemplos de realizaciones de la presente invención, de conformidad con las ventajas mencionadas anteriormente. Se apreciará que estos ejemplos son meramente ilustrativos de la invención. Un gran número de variaciones y modificaciones  
10 resultará evidente para los expertos en la técnica.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para la operación de un dispositivo de combustión (5) que comprende los siguientes pasos:

5 la producción de una corriente de combustible gaseoso (8) que es resistente a la autoignición mediante la mezcla de un combustible líquido vaporizado con una corriente de gas inerte (42) que posee un contenido de oxígeno inferior al del aire ambiente, siendo la corriente de gas inerte (42) suministrada por un separador de aire (32), o la vaporización de un combustible líquido (6) mediante el uso de una corriente de gas inerte (42) que posee un contenido de oxígeno inferior al del aire ambiente, siendo la corriente de gas inerte (42) suministrada por el separador de aire (32);

10 15 el premezclado de la corriente de combustible gaseoso (8) con un gas oxigenado (40a) para producir una mezcla de gas en una ubicación aguas arriba de una zona de combustión del dispositivo de combustión (5);

20 25 la combustión de la mezcla de gas en la zona de combustión del dispositivo de combustión (5), de tal forma que se suprime sustancialmente la autoignición de la corriente de combustible gaseoso (8) o de la mezcla de gas aguas arriba de la zona de combustión; y

el suministro de una corriente enriquecida con oxígeno (43) desde el separador de aire (32) al dispositivo de combustión (5) aguas abajo de la zona de combustión.

25 30 2. El método de la reivindicación 1, en el que la corriente de gas inerte (42) posee un contenido de oxígeno por debajo de un índice límite de oxígeno que corresponde al combustible líquido (6) o al combustible líquido vaporizado.

35 3. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que se mezclan el combustible líquido (6) o el combustible líquido vaporizado y la corriente de gas inerte (42) de tal manera que la corriente de combustible gaseoso (8) posee un contenido de energía aproximadamente igual al del gas natural.

40 4. El método de la reivindicación 3, en el que el contenido de energía de la corriente de combustible gaseoso (8) es aproximadamente igual al contenido de energía del gas natural sobre una base volumétrica o sobre una base de masa.

45 5. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que se seleccionan el combustible líquido (6) o el combustible líquido vaporizado de entre un grupo integrado por: gases combustibles o gases combustibles licuados, combustible de gasóleo, gasóleo de calefacción, butano, propano, pentano, gasolina y residuos líquidos inflamables.

6. El método de cualquiera de las reivindicaciones comprendidas entre la 1 y la 5, en el que al menos el 50% en peso de las moléculas de hidrocarburos del combustible líquido (6) poseen al menos dos átomos de carbono.

50 7. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende la alimentación de la corriente de gas inerte (42) a un vaporizador de combustible (4), la alimentación del combustible líquido (6) al vaporizador de combustible, la vaporización del combustible líquido (3) por parte de la unidad vaporizadora (4) y la mezcla de la

corriente de gas inerte (42) y el combustible líquido vaporizado por parte de la unidad vaporizadora (4).

- 5 8. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual la capacidad térmica de la corriente de gas inerte (42) sirve para reducir la temperatura de la llama y, por consiguiente, reducir las emisiones de NO<sub>x</sub>.
- 10 9. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la mezcla de gas tiene una cantidad de oxígeno suficiente para permitir la combustión de la misma.
- 15 10. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la mezcla de gas es una mezcla pobre con una relación de equivalencia inferior a 1.
- 20 11. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además comprende la compresión de la corriente de gas inerte (42).
- 25 12. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el dispositivo de combustión incluye un compresor (15), y en el que el compresor (15) produce una salida de gas comprimido (40).
- 30 13. El método de la reivindicación 12, en el que la salida de gas comprimido (40) es alimentada al separador de aire (32).
- 35 14. El método de la reivindicación 13, en el que se extrae el aire comprimido desde una fase intermedia del compresor y se alimenta al separador de aire (32).
- 40 15. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el separador de aire (32) produce la corriente inerte (42) mediante el uso de adsorción.
- 45 16. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además comprende la compresión de la corriente enriquecida con oxígeno.
- 50 17. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una relación de equivalencia de la mezcla de gas es inferior a una relación de equivalencia mínima en la que el metano podría ser combustionado en condiciones de operación equivalentes.
18. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el dispositivo de combustión está configurado para combustionar gas natural en un modo premezclado y pobre.
19. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el dispositivo de combustión (5) incluye un sistema de dosificación de combustible configurado para el gas natural.
20. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el dispositivo de combustión (5) es (o es parte de) un motor de turbina de gas (14).
21. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el dispositivo de combustión (5) produce una salida de combustión que se alimenta a un dispositivo de salida (16).

22. El método de la reivindicación 23 [sic], en el que el dispositivo de salida (18) comprende una turbina.

23. Un aparato de combustión configurado para implementar el método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, el cual comprende:

5 un vaporizador de combustible (4);

10 medios para proporcionar un flujo (6) de combustible licuado (3) al vaporizador de combustible (4);

15 un separador de aire (32) conectado al vaporizador de combustible (4) para proporcionar una corriente de gas inerte (42) con un contenido de oxígeno inferior al del aire ambiente al vaporizador de combustible (4); y

15 un dispositivo de combustión (5) que posee una zona de combustión y una zona de premezcla aguas arriba, la zona de combustión;

20 en el que el vaporizador de combustible (4) está configurado para producir una corriente de combustible gaseoso (8) que es resistente a la autoignición al mezclar el combustible de líquido vaporizado con la corriente de gas inerte (42), o al vaporizar un flujo (6) de combustible líquido (3) usando la corriente de gas inerte (42);

25 y en el que el aparato está configurado de tal manera que, durante su uso:

25 la corriente de combustible gaseoso (8) se alimenta a la zona de premezcla del dispositivo de combustión (5) y se premezcla con un gas oxigenado (40a) para producir una mezcla de gas aguas arriba de la zona de combustión del dispositivo de combustión (5);

30 la mezcla de gas es combustionada en la zona de combustión del dispositivo de combustión (5), de forma que se suprime sustancialmente la autoignición de la corriente de combustible gaseoso (8) o de la mezcla de gas aguas arriba de la zona de combustión; y

35 se suministra una corriente enriquecida con oxígeno (43) desde el separador de aire (32) al dispositivo de combustión (5) aguas abajo de la zona de combustión.























