



Señora

Edna Marcela Ramírez Orozco

Directora de Nuevas Creaciones

Superintendencia de Industria y Comercio

E. S. D.

Referencia: Solicitud de PCT Patente de Invención denominada **MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA COMO REACTOR QUÍMICO PARA PRODUCIR GAS DE SÍNTESIS A PARTIR DE SUMINISTROS DE HIDROCARBURO.**

Asunto: Respuesta al Requerimiento No. 561 de 14 de enero de 2022.

Expediente No. NC2020/0002404

Juan Carlos Cuesta Quintero, mayor de edad, identificado como aparece al pie de mí firma, obrando en mi calidad de apoderado de **RESEARCH TRIANGLE INSTITUTE**, doy respuesta al Oficio No. 561 de 14 de enero de 2022, bajo los siguientes términos:

1. De la solicitud de patente

1.1. Reivindicaciones

Como se sugiere en el Oficio, se emplean verbos en infinitivo cuando se definen las etapas o pasos de los métodos; por ejemplo, se reemplazan expresiones como “*el aumento*”, “*el ajuste*”, “*el mantenimiento*”, etc. por aumentar, ajustar, mantener respectivamente.

Respecto a los términos: “*al menos*” (**reivindicaciones 3 y 32**) y “*uno o más*” (**reivindicaciones 1 y 13**), supuestamente son imprecisos, por lo cual, no permiten distinguir la invención del estado de la técnica, respetuosamente se indica que sí definen características de la invención de manera que permite distinguirla del estado de la técnica.

La **reivindicación 3** define “*las condiciones iniciales antes de arrancar el motor (100) como al menos una de entre la presión del combustible predeterminada, el regulador (210) parcialmente abierto, un primer valor predeterminado del tiempo de encendido y una carga acoplada al motor (100)*”, es decir, que las condiciones antes de arrancar el motor pueden ser una o más de las mencionadas; si el estado de la técnica divulga condiciones iniciales antes de arrancar el motor



como las definidas en la reivindicación 3, tal característica será conocida, en caso contrario, será nueva.

La **reivindicación 31 (anterior 32)** define *“el gas de escape comprende una combinación de al menos dos de entre hidrógeno (H₂), monóxido de carbono (CO), nitrógeno (N₂), vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y componentes traza”*; es decir, que el gas de escape comprende al menos dos de los componentes definidos en la reivindicación; si el estado de la técnica divulga un gas de escape como el definido en la reivindicación, la reivindicación no será nueva.

La **reivindicación 1** define *“ajustar, mientras se aumenta la proporción de equivalencia de combustible-aire, uno o más de entre un regulador (210), un tiempo de encendido, una carga acoplada al motor (100), una presión del combustible, la potencia de un sobrealimentador (215) que actúa sobre el gas entrante o parte del gas entrante, la potencia de un precalentador (220, 235) que actúa sobre el gas entrante mientras se mantiene una proporción de equivalencia de combustible-aire de entre 1,6 a 2,4”*; es decir, que

La **reivindicación 13** define *“modificar uno o más de entre la presión del combustible, el regulador (210) y la carga del motor (100)”*; es decir, que se modifica uno o más de los elementos definidos en la reivindicación; por tanto, si el estado de la técnica divulga modificar uno o más de dichos elementos, la reivindicación no será nueva.

En el Oficio se indica que las anteriores **reivindicaciones 33, 34 y 35** mencionan en su preámbulo un sistema reformador de gas, pero que tal sistema no está definido por elementos que caractericen a un sistema, por lo que se sugiere eliminar tales reivindicaciones.

La **reivindicación 32 (anterior 33)** define un sistema reformador de gas caracterizado porque realiza el método definido en cualquiera de las reivindicaciones anteriores. En consecuencia, el sistema reformador de gas definido en la reivindicación 32, es el que realiza el método que cumple las características de las reivindicaciones anteriores y no otro sistema reformador de gas que realiza un método diferente del definido en dichas reivindicaciones. Así, respetuosamente se indica que el sistema reformador de gas definido en la reivindicación 32 está perfectamente definido y permite comparar tal sistema con los del estado de la técnica para determinar si es nuevo o no.

La **reivindicación 33 (anterior 34)** dependiente de la reivindicación 32, define que el sistema reformador de gas produce un gas de síntesis. Es decir, que está añadiendo a las características definidas en la reivindicación 32 que el sistema produce un gas de síntesis. De nuevo, la forma en que está definido el sistema en esta reivindicación, permite compararlo con los sistemas del estado de la técnica para determinar si es nuevo o no.



La **reivindicación 34 (anterior 35)** dependiente de la reivindicación 33, define que el gas de síntesis comprende hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO). Es decir, que está añadiendo a las características definidas en la reivindicación 33 que el gas de síntesis comprende hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO). De nuevo, la forma en que está definido el sistema en esta reivindicación, permite compararlo con los sistemas del estado de la técnica para determinar si es nuevo o no.

A la vista de lo indicado, las **reivindicaciones 32 a 34 (anteriores 33 a 35)**, definen un sistema mediante características que permiten compararlo con los sistemas del estado de la técnica para determinar si es nuevo y tiene nivel inventivo.

Conforme a lo indicado en el Oficio, se ha incorporado la característica de que *“para el arranque del motor puede ajustarse la presión del combustible a un calibre de 0 Pa”* de la **reivindicación 6** en el capítulo descriptivo. Conforme se indica en el Oficio, dicha modificación no supone ampliación de materia, puesto que las reivindicaciones presentadas inicialmente mencionan tal ajuste.

En el Oficio se requería hacer la conversión al Sistema Internacional de Unidades en las **reivindicaciones 6, 23 y 24**. Tales reivindicaciones ya incluían los valores en el Sistema Internacional de Unidades y entre paréntesis en otras unidades habituales; no obstante, para mayor claridad, se eliminan las otras unidades habituales que estaban entre paréntesis.

En el Oficio, se indica que la **reivindicación 35 (anterior 36)** no es clara porque menciona que *“el motor de combustión interna (100) funciona con una proporción de equivalencia de gas combustible-aire de entre 1,6 y 2,4”*, lo cual no es una característica técnica estructural de un sistema. Por tanto, se requiere el retiro de esta referencia a la proporción combustible/aire con la que, eventualmente, trabajaría el sistema reivindicado.

No obstante, respetuosamente se señala que uno de los problemas resueltos por la invención se refiere al descubrimiento de que el funcionamiento de un motor de combustión interna con una proporción de equivalencia combustible-aire de aproximadamente 1,6 a 2,4 permite su uso como generador de gas de síntesis. En consecuencia, una vez que el experto dispone de esta información, existen varias formas de ajustar el motor de combustión interna para conseguir esta relación y precisamente una de las características técnicas que definen el sistema de la **reivindicación 36** es la de que el motor de combustión interna (100) funciona con una relación de equivalencia combustible-aire de entre 1,6 y 2,4. Por tanto, la característica cuestionada sí se trata de una característica técnica del sistema: si el sistema no funciona bajo las condiciones definidas, no funciona como un generador de gas de síntesis; en otras palabras, si el sistema no tiene la característica cuestionada, no se trata del sistema de la invención. En consecuencia, la característica cuestionada sí se trata de una característica técnica que permite definir de forma clara el sistema que se protege en la reivindicación.



1.2. Descripción

De manera análoga a lo indicado respecto a las **reivindicaciones 6, 23 y 24**, ya se incluían los valores en el Sistema Internacional de Unidades y entre paréntesis en otras unidades habituales, como bar y pulgadas de H₂O; no obstante, para mayor claridad, se eliminan las otras unidades habituales que estaban entre paréntesis.

2. Examen de patentabilidad.

2.1. Nivel inventivo de la reivindicación 1

El examinador afirma que "la diferencia entre la invención definida en la **reivindicación 1** y el método divulgado de D3 consiste en la etapa de mantener una proporción de equivalencia combustible/aire entre 1,6 a 2,4". A continuación, el examinador argumenta que " la etapa de mantener una proporción de equivalencia combustible/aire entre 1,6 a 2,4 es que el motor de combustión interno funcione con ricas de abundancia de combustible ya está divulgado en D4".

Respetuosamente, el solicitante considera que esto me parece una lectura incorrecta de D4. En concreto, la sección 2.2 de D4 parece describir varias cantidades de "exceso de aire" que se requieren para diferentes tipos de combustible. Por el contrario, la invención reivindicada se refiere a condiciones "ricas en combustible" (es decir, exceso de combustible), siendo el exceso de combustible tal que la relación combustible:aire está entre 1,6 y 2,4. Por lo tanto, D4 es una enseñanza específica contra la relación combustible:aire de la **reivindicación 1**.

Esta diferencia hace que el motor de combustión interna en el método de la invención oxide parcialmente los hidrocarburos para la producción de syngas, gas de síntesis (en lugar de la oxidación completa que es el objeto de D4). Así pues, el problema técnico objetivo es doble, (i) identificar que un motor de combustión interna puede utilizarse como generador de syngas, gas de síntesis, y (ii) cómo conseguir este efecto, es decir, cómo utilizar un motor de combustión interna como generador de syngas, gas de síntesis.

La invención de la **reivindicación 1** resuelve el problema anterior proporcionando un método de funcionamiento de un motor de combustión interna para producir gas de síntesis mediante el mantenimiento de una relación de equivalencia específica entre combustible y aire, es decir, entre 1,6 y 2,4. Esta relación de equivalencia proporciona el rango óptimo para el funcionamiento del proceso y la obtención de un valioso gas de síntesis.

El límite superior de la relación de 2,4 de la **reivindicación 1** se seleccionó porque se observó que el aumento de la relación de equivalencia combustible:aire en el gas de alimentación más allá de este límite daba lugar a una menor conversión del combustible (como se muestra en la



figura 9). Por encima de una relación de 2,4, la conversión del gas de síntesis disminuía y el sistema se volvía inoperante, lo que dificultaba la obtención de datos fiables. Se observó un aumento de la producción de hollín, pero las dificultades operativas con los fallos de encendido impidieron cuantificar la cantidad.

El límite inferior de 1,6 de la **reivindicación 1** se eligió basándose en la composición del gas producido por el motor. La relación H_2/CO es una característica importante del gas de síntesis resultante, especialmente cuando se utiliza en la producción de productos químicos o de hidrógeno. Una mayor relación H_2/CO en el gas de síntesis producido significa que se necesita menos procesamiento adicional.

Cuando se utiliza el motor como generador de gas de síntesis con una relación de equivalencia combustible-aire baja, es decir, inferior a 1,6, la composición del gas de síntesis producido es menor (como se muestra en la figura 8). Cuando la relación de equivalencia es de 1,6, el gas producido tiene una relación H_2/CO de 1,2. Por debajo de este nivel, se puede producir una cantidad significativa de CO_2 y agua, lo que reduce el valor del gas de síntesis como materia prima en otros procesos. Por lo tanto, se seleccionó el límite inferior de 1,6 para cubrir el rango observado para producir un gas de síntesis práctico y utilizable.

En ninguno de los documentos citados se menciona el problema de cómo utilizar un motor de combustión interna como generador de gas de síntesis, y mucho menos se indica cómo podría hacerse. Por lo tanto, a partir del documento D3, el experto tendría que identificar primero este problema y luego determinar cómo resolverlo, sin que el documento D4 le diera ninguna pista sobre cómo hacerlo. Las reivindicaciones, por tanto, implican nivel inventivo sobre el estado de la técnica citado.

En concreto, D4 divulga (véase la página 4, párrafo 2)

*“Sin embargo, en la práctica se halla que no es posible obtener combustión completa, suministrando el aire teórico requerido. Así pues, **es necesario alimentar aire en exceso** a la reacción (factor λ), dependiendo del tipo de combustible:*

- *Para combustibles sólidos: 40 a 150% de exceso de aire (λ 1,4 – 2,5)*
- *Para combustibles líquidos: 25 a 60% de exceso de aire (λ 1,25 – 1,6)*
- *Para gases: 10 a 40% de exceso de aire (λ 1,1 – 1,4). ”*

Además de que D4 establece claramente **que la alimentación de exceso de aire es necesaria** para diferentes tipos de combustible mientras que la invención reivindicada se refiere a condiciones "ricas en combustible" (es decir, exceso de combustible), los valores numéricos también corroboran que D4 dirige al experto en la materia en una dirección diferente a la de la presente invención:



D4 lambda **1,25-1,6**

La presente invención **1,6 a 2,4**.

2.2. Nivel inventivo de la reivindicación 1

La **reivindicación 22** se ha modificado añadiendo a la reivindicación 22 "donde la proporción de equivalencia de gas combustible-aire operativa es de entre 1,6 a 2,4". En consecuencia, la anterior reivindicación 27 se ha suprimido (la anterior reivindicación 27 incluía la característica en cuestión de la proporción 1,6 a 2,4) y se han reenumerado las siguientes reivindicaciones y dependencias.

2.3. Nivel inventivo de la reivindicación 1

Respecto a la **reivindicación 35 (anterior 36)**, en el apartado anterior donde se trataba esta reivindicación, ya se incluyen argumentos defendiendo el nivel inventivo de la reivindicación.

- 3.** En consecuencia, le pedimos amablemente al examinador que conceda la patente para la presente invención, por lo que queda evidenciado que la invención cumple con los requisitos de patentabilidad definidos en la Decisión 486 de 2000.

Cordialmente,

Juan Carlos Cuesta Quintero.

C.C. 79.339.809 de Bogotá

T.P. 43.273 del C.S. de la J.

Anexos:

- Comprobante de pago por modificación voluntaria al capítulo reivindicatorio.
- Capítulo reivindicatorio modificado en control de cambios.
- Capítulo reivindicatorio modificado en limpio.
- Descripción modificada en control de cambios.
- Descripción modificada en limpio.

**MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA COMO REACTOR QUÍMICO PARA
PRODUCIR GAS DE SÍNTESIS A PARTIR DE SUMINISTROS DE
HIDROCARBURO**

5 SOLICITUDES RELACIONADAS

La presente solicitud reivindica el beneficio de la solicitud de patente provisional de EE.UU. con n.º de serie 62/565.844, presentada el 29 de septiembre de 2017, titulada "INTERNAL COMBUSTION ENGINE AS A CHEMICAL REACTOR TO PRODUCE SYNTHESIS GAS FROM
10 HYDROCARBON FEEDS", cuyo contenido se incorpora en el presente documento por referencia en su totalidad.

INVESTIGACIÓN O DESARROLLO PATROCINADOS POR EL GOBIERNO

La presente invención se realizó con el apoyo del gobierno en virtud de la subvención n.º DE-AR0000506 otorgada por el Departamento de Energía de EE.
15 UU. El gobierno posee ciertos derechos sobre la presente invención.

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere, en general, a la producción de gas de síntesis, en particular, usando un motor de combustión interna como generador de gas de síntesis.

20 ANTECEDENTES

Muchos procesos y operaciones producen corrientes gaseosas de hidrocarburos ligeros. A menudo, estas corrientes gaseosas están a baja presión y pueden comprender además varios contaminantes. Por lo tanto, las corrientes gaseosas pueden tener poco valor intrínseco, y el coste de eliminar los
25 contaminantes y de comprimir el gas (tal como aumentar la presión para permitir

la introducción en una tubería de transmisión de gas natural) puede ser prohibitivamente alto. Dadas estas limitaciones, las corrientes gaseosas se suelen eliminar mediante quema, incineración o ventilación.

Recientemente, ha aumentado el interés en hacer un uso más productivo de estas corrientes de hidrocarburos de baja calidad. Una de dichas áreas consiste en usar la corriente de hidrocarburos como gas entrante en la producción de gas de síntesis. El gas de síntesis puede producirse a partir de la combustión parcial de materias primas orgánicas (hidrocarburos ligeros, carbón, coque de petróleo, biomasa, aceite) y se compone principalmente de hidrógeno (H_2) y monóxido de carbono (CO). El gas de síntesis suele contener contaminantes (que incluyen H_2S , COS) dependiendo de la materia prima de partida. Muchos procesos de producción de gas de síntesis utilizan reformadores basados en catalizadores para oxidar parcialmente las materias primas orgánicas. Aunque los catalizadores son útiles para aumentar la velocidad de reacción y reducir la temperatura de reacción, muchos catalizadores están hechos de materiales caros, están sujetos a envenenamiento por los compuestos de azufre presentes en la corriente de gas y la obstrucción por hollín y otras partículas.

El gas de síntesis es el material de partida para la producción de varios productos químicos. El gas de síntesis también se puede usar para la producción de energía en una turbina de gas o un generador basado en un motor. El gas de síntesis también se puede usar para producir H_2 , convirtiendo el CO y el vapor de agua en H_2 y dióxido de carbono (CO_2) a través del proceso de desplazamiento gas-agua (WGS, Water-Gas-Shift). La proporción del H_2 con respecto al CO del gas del proceso normalmente debe ajustarse

cuidadosamente para satisfacer la demanda de las aplicaciones aguas abajo.

Recientemente, la patente de EE.UU. n.º 9.169.773 (Bromberg *et al.*) desvelaba un sistema de fabricación de combustible líquido-reformador que utilizaba un motor para generar un gas rico en hidrógeno. Los sistemas
5 desvelados funcionan a una proporción de aire/combustible, proporción de equivalencia, de $2,5 < \phi < 4,0$. También desvelan que, para un reformador eficaz basado en el motor, se puede usar encendido por compresión de carga homogénea (HCCI, Homogenous Charge Compression Ignition), encendido por compresión de premezcla (PCI, Pre-mixed Compression Ignition) parcial o
10 encendido por compresión controlada por reacción (RCCI, Reaction Controlled Compression Ignition). Informan que "tanto en las llamas de los quemadores como en los cálculos de los cilindros, las proporciones de equivalencia más bajas dan lugar a una mayor energía liberada en la conversión, máximo más alto en las temperaturas del cilindro, menor selectividad hacia el hidrógeno y CO [...]"

15 La patente de EE.UU. n.º 2.391.687 (Eastman *et al.*) desvela un motor para la generación de gas de síntesis que funciona con un 90 % o más de O₂ puro y tiene una proporción de equivalencia de 2,8-4,0.

SUMARIO

Para abordar los problemas anteriores, en su totalidad o en parte, y/u otros
20 problemas que puedan haber sido observados por los expertos en la materia, la presente divulgación proporciona métodos, procesos, sistemas, aparatos, instrumentos y/o dispositivos, como se describe a modo de ejemplo en las implementaciones establecidas a continuación.

De acuerdo con una realización, un método para usar un motor de
25 combustión interna en condiciones ricas en combustible incluye: el arranque del

motor usando un gas entrante que tiene una proporción de equivalencia de combustible-aire inicial; el aumento gradual de la proporción de equivalencia de combustible-aire para generar un gas entrante rico en combustible; mientras se aumenta la proporción de equivalencia de combustible-aire, el ajuste de uno o
5 más de entre un regulador, un tiempo de encendido, una carga acoplada al motor, una presión del combustible, la potencia de un sobrealimentador que actúa sobre el gas entrante y la potencia de un precalentador que actúa sobre el gas entrante para mantener una proporción de equivalencia combustible-aire de aproximadamente 1,6 a 2,4. En una realización, se mantiene una velocidad del
10 motor entre aproximadamente 1.000 y 2.000 revoluciones por minuto (rpm) y una temperatura de un gas de escape inferior a aproximadamente 900 °C.

De acuerdo con otra realización, un método para hacer funcionar un motor de combustión interna en condiciones ricas en combustible incluye: el mantenimiento de un conjunto inicial de condiciones tras el arranque del motor
15 para una contrapresión de escape, una presión del colector de admisión, una velocidad del motor, un tiempo de encendido, una proporción de equivalencia de gas combustible-aire y una temperatura de entrada de gas combustible; el aumento de la temperatura de entrada del gas combustible mientras se mantiene la proporción de equivalencia de gas combustible-aire y el control del contenido
20 de metano y oxígeno de un gas de escape del motor; y ajuste del tiempo de encendido en respuesta al contenido controlado de metano y oxígeno.

De acuerdo con otra realización, se configura un sistema reformador de gas para realizar cualquiera de los métodos descritos en el presente documento.

De acuerdo con otra realización, un sistema reformador de gas incluye:
25 un motor de combustión interna que comprende una entrada de gas combustible,

una salida de gas de escape, una pluralidad de cilindros, un sistema de temporización del encendido, un regulador, un precalentador de gas combustible y un sobrealimentador, en donde el motor de combustión interna está configurado para funcionar con una proporción de equivalencia de gas combustible-aire de entre aproximadamente 1,6 y 2,4.

Otros dispositivos, aparatos, sistemas, métodos, características y ventajas de la invención serán o se harán evidentes para un experto en la materia al examinar las siguientes figuras y descripción detallada. Se pretende que todos esos sistemas, métodos, características y ventajas adicionales se incluyan en la presente descripción, pertenezcan al alcance de la invención y estén protegidos por las reivindicaciones adjuntas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La invención se puede entender mejor haciendo referencia a las siguientes figuras. Los componentes de las figuras no están necesariamente a escala, en su lugar, se pone énfasis en ilustrar los principios de la invención. En las figuras, los mismos números de referencia designan las partes correspondientes de las diferentes vistas.

La Figura 1 es una vista esquemática en sección transversal de un cilindro ilustrativo de un motor de combustión interna de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 2 es una vista esquemática de un sistema para producir gas de síntesis usando un motor de combustión interna de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 3 es una vista esquemática de un sistema para producir gas de síntesis usando un motor de combustión interna de acuerdo con algunas

realizaciones.

La Figura 4 es una vista esquemática de un sistema para producir gas de síntesis usando un motor de combustión interna de acuerdo con algunas realizaciones.

5 La Figura 5 es un diagrama de flujo ilustrativo de un método para arrancar un motor en condiciones ricas en combustible de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 6 es un diagrama de flujo ilustrativo de un método para hacer funcionar un motor en condiciones ricas en combustible de acuerdo con algunas
10 realizaciones.

La Figura 7 es un gráfico de la temperatura de admisión de combustible-aire para distintas proporciones de equivalencia de combustible-aire de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 8 es un gráfico de las proporciones de H_2 con respecto al CO para distintas proporciones de equivalencia de combustible-aire de acuerdo con
15 algunas realizaciones.

La Figura 9 es un gráfico de conversión fraccionada de gas natural para distintas proporciones de equivalencia de combustible-aire de acuerdo con algunas realizaciones.

20 **DESCRIPCIÓN DETALLADA**

Como se usa en el presente documento, la expresión "gas de síntesis" se refiere a gas de síntesis. En el contexto de la presente divulgación, el gas de síntesis es una mezcla de al menos monóxido de carbono (CO) y gas de hidrógeno diatómico (H_2). Dependiendo de la realización, el gas de síntesis
25 también puede incluir otros componentes tales como, por ejemplo, agua, aire,

gas de nitrógeno diatómico (N_2), gas de oxígeno diatómico (O_2), dióxido de carbono (CO_2), compuestos de azufre (por ejemplo, sulfuro de hidrógeno (H_2S), sulfuro de carbonilo (COS), óxidos de azufre (SO_x), etc.), compuestos de nitrógeno (por ejemplo, óxidos de nitrógeno (NO_x), etc.), carbonilos metálicos, 5 hidrocarburos (por ejemplo, metano (CH_4)), amoníaco (NH_3), cloruros (por ejemplo, cloruro de hidrógeno (HCl)), cianuro de hidrógeno (HCN), trazas de metales y metaloides (por ejemplo, mercurio (Hg), arsénico (As), selenio (Se), cadmio (Cd), etc.) y sus compuestos, material particulado (MP), etc.

Como se usa en el presente documento, la expresión "hidrocarburo 10 inferior" se refiere a hidrocarburos de bajo peso molecular, incluyendo, pero sin limitación, metano, etano, propano y butano.

Como se usa en el presente documento, el término "carga" puede significar un calentador eléctrico, dinamómetro, baño de agua, etc. Al aumentar o disminuir la carga, el motor puede funcionar a velocidad constante a medida 15 que varían las condiciones de entrada. También se puede variar la carga para modificar la temperatura dentro del motor o las proporciones de los componentes de salida.

Como se usa en el presente documento, la expresión "gas natural" se refiere a una mezcla de gases de hidrocarburos (HC) que consiste 20 principalmente en metano y cantidades menores de alcanos superiores. Dependiendo de la realización, el gas natural puede incluir además especies que no sean HC , tales como una o más de las mencionadas anteriormente, así como disulfuro de carbono (CS_2) y/u otros disulfuros, y mercaptanos (tioles) tales como metanotiol (CH_3SH) y etanotiol (C_2H_5SH), y tiofenos tales como tiofeno (C_4H_4S) 25 y otros compuestos organosulfurados.

La presente divulgación proporciona métodos para utilizar un motor de combustión interna como generador de gas de síntesis. Además, el proceso puede usarse junto con la producción de metanol, así como otros procesos de producción química. Los métodos desvelados pueden hacer uso de una amplia
5 variedad de fuentes de hidrocarburos dispersas por todo el mundo. Por ejemplo, los pozos de producción de petróleo y gas natural se encuentran en muchas áreas remotas de EE. UU., y cada pozo individual, compresor, dispositivo neumático y recipiente de almacenamiento del pozo pueden producir una corriente de emisión de hidrocarburos. Debido al pequeño volumen, a la baja
10 presión y a los posibles contaminantes de estas corrientes de hidrocarburos, a menudo, se someten a combustión o se ventilan. La compresión y purificación de estas corrientes dispares para su recolección en una tubería de transmisión de gas natural pueden ser prohibitivamente costosas. Los métodos de la presente divulgación pueden utilizar motores de combustión interna producidos
15 en masa que funcionan en condiciones específicas para oxidar parcialmente estos hidrocarburos y producir gas de síntesis que puede tener un valor superior y hacer que la extracción del gas de síntesis sea económicamente viable.

Los motores de combustión interna se han desarrollado y utilizado durante décadas para producir energía normalmente para la propulsión de vehículos, la
20 conducción de dispositivos mecánicos o la generación de electricidad. En cada uno de estos usos, el enfoque ha estado en la combustión eficiente y completa de un combustible para aumentar al máximo la potencia producida. Sin embargo, los motores de combustión interna tienen características de interés para otras aplicaciones. Se pueden usar características tales como la distribución del calor
25 del sistema de refrigeración y radiadores para controlar la temperatura del motor,

la capacidad de crear altas presiones en el cilindro, la función de tiempos de residencia cortos en el cilindro y el control de las presiones de las válvulas en procesos para conversiones químicas donde el motor serviría como reactor químico. En la presente solicitud, el enfoque se centra en controlar los

5 parámetros del motor para aumentar al máximo la conversión química deseada en lugar de la generación de energía. En algunos casos, la reacción química puede crear energía. Como alternativa, se puede añadir energía girando externamente el eje en otros casos. Cualquier reacción química que tenga lugar en un tiempo de residencia corto y que aproveche las características

10 enumeradas anteriormente podría adaptarse al uso del motor como reactor químico. En el presente documento, se describe una de dichas aplicaciones para la conversión de hidrocarburos ligeros a gas de síntesis.

La FIG. 1 ilustra una vista esquemática en sección transversal de un cilindro 105 de un motor de combustión interna 100 de acuerdo con diversas

15 realizaciones. El motor 100 puede comprender además una cámara de combustión 110 dentro del cilindro 105. Un pistón 115 puede colocarse dentro del cilindro 105 y moverse hacia arriba y hacia abajo en el cilindro 105, definiendo así un volumen variable de la cámara de combustión 110. La cámara de combustión 110 está en su volumen mínimo cuando el pistón 115 está en su

20 posición más alta del cilindro 105 (denominada punto muerto superior (PMS)), y en su volumen máximo cuando el pistón 115 está en su posición más baja del cilindro 105 (denominada punto muerto inferior (PMI)). El pistón 115 puede estar acoplado a un cigüeñal 120 por una biela 125. El motor 100 puede comprender además un cabezal 130 acoplada a la parte superior de los cilindros 105. El

25 cabezal 130 puede alojar una o más válvulas de admisión 135 y una o más

válvulas de escape 140. Cada válvula de admisión 135 puede servir para abrir o cerrar un orificio de entrada 145, mientras que cada válvula de escape 140 puede servir para abrir o cerrar un orificio de escape 150. El orificio de entrada 145 puede estar en comunicación fluida con la cámara de combustión 110 para
5 permitir que una mezcla de combustible y oxidante (denominada carga) fluya hacia la cámara de combustión 110. El orificio de escape 150 también puede estar en comunicación fluida con la cámara de combustión 110 para permitir que los gases de escape fluyan fuera de la cámara de combustión 110. El cabezal 130 también puede comprender una o más bujías 155 que pueden extenderse
10 al menos parcialmente en la cámara de combustión 110 y proporcionar una fuente de encendido para la carga.

Aunque no se muestra en la Fig. 1, el motor 100 puede comprender además un precalentador para aumentar la temperatura de uno o ambos de entre el combustible y el oxidante antes de entrar por el orificio de entrada 145, y un
15 sobrealimentador para aumentar la presión de uno o ambos de entre el combustible y el oxidante antes de entrar por el orificio de entrada 145. El precalentador puede comprender un intercambiador de calor para extraer una parte del calor, por ejemplo, de los gases de escape del motor 100. Como alternativa, el precalentador puede obtener energía térmica mediante otros
20 procesos conocidos en la técnica, tales como los calentadores eléctricos, combustión de un combustible secundario o eliminación del calor de otro proceso. El sobrealimentador puede comprender una turbina para extraer energía de los gases de escape del motor 100. Como alternativa, el sobrealimentador puede ser alimentado por otros procesos conocidos en la
25 técnica, tales como un motor eléctrico o la eliminación de energía de otro

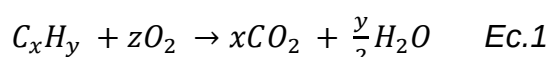
proceso.

En determinadas realizaciones no limitantes, el motor 100 puede adaptarse a funcionar usando un proceso de 4 tiempos. El proceso de 4 tiempos puede comenzar, por ejemplo, con el pistón 115 en el PMS y luego empezar a
5 moverse hacia abajo. La válvula de admisión 135 se mueve hacia abajo, colocando así el orificio de entrada 145 en comunicación fluida con la cámara de combustión 110. El pistón 115 se mueve hacia abajo permitiendo que la carga entre en la cámara de combustión 110. Cuando el pistón 115 alcanza el PMI, la válvula de admisión 135 se cierra. El pistón 115 luego se mueve hacia arriba,
10 comprimiendo la carga. Cuando el pistón 115 se acerca al PMS, la bujía 155 genera una chispa que enciende la carga. En diferentes realizaciones, como se analiza más adelante, la chispa puede generarse antes de que el pistón 115 alcance el PMS. Mientras la carga se quema, la presión dentro de la cámara de combustión 110 aumenta y fuerza al pistón 115 hacia abajo. Cuando el pistón
15 115 alcanza el PMI, la válvula de escape 140 se mueve hacia abajo, colocando así el orificio de escape 150 en comunicación fluida con la cámara de combustión 110. A medida que el pistón 115 se mueve hacia el PMS, los gases de combustión de la carga quemada se expulsan por el orificio de escape 150. Cuando el pistón 115 alcanza el PMS, la válvula de escape 140 se cierra y el
20 ciclo se repite.

Aunque, en el presente documento, no se describen los detalles de cada proceso, el motor 100 en diferentes realizaciones puede configurarse para funcionar de acuerdo con un proceso de 2 tiempos, un proceso de 5 tiempos, un proceso de 6 tiempos, un proceso de encendido por compresión (por ejemplo,
25 diésel), un motor a reacción, una turbina, un motor rotativo o cualquier otro tipo

de motor conocido en la técnica. La presente divulgación se centra en un proceso de 4 tiempos debido a su frecuencia y su disponibilidad inmediata, pero no debe inferirse ninguna limitación en el alcance de la divulgación.

Por lo general, los hidrocarburos y el oxígeno son el combustible y el oxidante, respectivamente, que se queman en el motor 100. La ecuación química estequiométrica general para la combustión de un hidrocarburo en oxígeno está dada por la Ecuación 1:

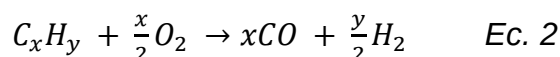


Así pues, para la combustión completa estequiométrica, todo el hidrocarburo y el oxígeno reaccionan para formar dióxido de carbono y agua. Así pues, para la combustión completa estequiométrica, se requiere una cierta proporción del combustible con respecto al aire. Una medida de cómo se compara la proporción real del combustible con respecto al aire con la proporción estequiométrica del combustible con respecto al aire es la proporción de equivalencia (indicada como ϕ). La proporción de equivalencia se calcula dividiendo la proporción real del combustible con respecto al aire entre la proporción estequiométrica del combustible con respecto al aire. Los valores de la proporción de equivalencia superiores a 1 indican condiciones ricas en combustible.

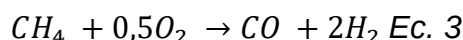
Un motor 100 que funciona de acuerdo con la combustión completa estequiométrica normalmente se hace funcionar para extraer trabajo útil y calor. Sin embargo, diferentes realizaciones pueden comprender hacer funcionar el motor 100 en condiciones distintas a las estequiométricas para utilizar el motor 100 como reactor químico. Ciertas realizaciones pueden utilizar condiciones ricas en combustible (es decir, menos de la cantidad estequiométrica de oxígeno

para quemar todo el hidrocarburo) para oxidar parcialmente el hidrocarburo. Sin pretender limitarse a un mecanismo de acción específico, en algunas condiciones, el motor 100 puede funcionar como un reformador para producir gas de síntesis que comprende hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO) de

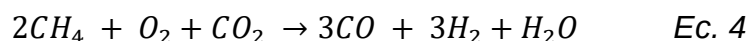
5 acuerdo con la reacción química dada por la Ecuación 2:



Si el hidrocarburo es metano (CH₄), entonces la reacción de oxidación parcial está dada por la Ecuación 3:



10 Además, posiblemente se prevean otras reacciones tales como la combustión completa (Ecuación 1), reacciones de reforma tales como las Ecuaciones 4 y 5 (mostradas para el metano) y otras reacciones de reforma y combustión conocidas.



15 $4CH_4 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4CO + 10H_2 \quad Ec. 5$

La FIG. 2 es un diagrama esquemático de un proceso 200 de acuerdo con diferentes realizaciones en el que el motor de combustión 100 puede utilizarse como un reactor químico para producir, por ejemplo, gas de síntesis. Como se ha analizado anteriormente, la carga al motor 100 puede comprender un oxidante y un combustible. El oxidante puede comprender aire, aire enriquecido o un gas que contenga suficiente oxígeno. El oxidante puede pasar a través de un filtro 205 para la retirada de partículas y otros contaminantes sólidos, así como contaminantes líquidos o gaseosos tales como el agua. El flujo del oxidante puede ser controlado por un regulador 210. El regulador 210 puede comprender cualquier dispositivo de regulación de flujo conocido en la técnica, y puede

20

25

controlarse manual o electrónicamente. La presión del oxidante puede aumentarse mediante un sobrealimentador 215. El sobrealimentador 215 actúa como un compresor para aumentar la presión, permitiendo así que se administre más oxígeno a cada cilindro 105 del motor 100. El sobrealimentador 215 puede ser accionado por un motor eléctrico, o puede ser alimentado de otra manera, tal como utilizando la energía residual de la corriente de escape del motor 100 u otra corriente del proceso. El oxidante también puede pasar a través de un calentador 220 para aumentar la temperatura del oxidante antes de entrar al motor 100. El calentador 220 puede utilizar bobinas de calentamiento alimentadas eléctricamente, o un intercambiador de calor que extraiga la energía de una corriente del proceso, tal como la corriente de escape del motor 100 (véase, por ejemplo, la FIG. 4). El combustible también puede pasar a través de un filtro 225 para la retirada de los contaminantes sólidos, líquidos o gaseosos, y a través de un regulador de flujo 230. La temperatura de la corriente de combustible puede aumentarse mediante un calentador 235 que funcione de manera similar al calentador 220 del oxidante. Un mezclador 240 puede mezclar el oxidante y el combustible en una proporción deseada para formar la carga administrada a cada cilindro 105 del motor 100. El motor 100 puede oxidar parcialmente la carga como se ha descrito anteriormente, produciendo gas de síntesis en la corriente de escape. El funcionamiento del motor 100 también puede producir energía mecánica y calor.

En diferentes realizaciones, el proceso 200 puede comprender además una unidad central de procesamiento (no mostrada). La unidad central de procesamiento puede estar en comunicación con y ser capaz de activar y controlar uno o más de los componentes individuales del proceso 200. La unidad

central de procesamiento puede ser capaz de almacenar y ejecutar un código informático para iniciar el funcionamiento del proceso 200 en respuesta a las condiciones operativas controladas del motor 100 y al análisis del gas de síntesis producido por el motor 100. Por ejemplo, se puede controlar la proporción del H₂ con respecto al CO en la corriente de escape del motor 100, y la unidad central de procesamiento puede ajustar uno o más de los componentes individuales del proceso 200 en respuesta a la proporción controlada del H₂ con respecto al CO. Además, la unidad central de procesamiento puede ajustar uno o más de los componentes individuales del proceso 200 en respuesta a los parámetros controlados del motor 100, tales como la temperatura de combustión en uno o más cilindros 105, la presión de entrada, la presión de escape, y similares.

La FIG. 3 es un diagrama esquemático de un proceso 300 de acuerdo con diferentes realizaciones en el que un motor de combustión 100 puede utilizarse como un reactor químico para producir, por ejemplo, gas de síntesis. La FIG. 3 ilustra que el motor 100 puede estar acoplado a un generador 305 para convertir la energía mecánica producida por el motor 100 en energía eléctrica. La energía eléctrica puede usarse para alimentar el calentador 220 del oxidante, el calentador de gas 235, o con cualquier otro fin.

La FIG. 4 es un diagrama esquemático de un proceso 400 de acuerdo con diferentes realizaciones en el que un motor de combustión 100 puede utilizarse como un reactor químico para producir, por ejemplo, gas de síntesis. En el proceso 400, se puede utilizar el calor residual del gas de síntesis para calentar el oxidante y el combustible. El calentador 220 del oxidante y el calentador 235 del combustible pueden comprender intercambiadores de calor para transferir calor del gas de síntesis al oxidante y las corrientes de combustible. Los

intercambiadores de calor pueden ser de cualquier tipo conocido en la técnica, tal como de carcasa y tubo, de placa y carcasa, y aleta de placa, y pueden funcionar en, por ejemplo, una configuración de flujo paralelo, de contraflujo o de flujo cruzado.

5 Los motores 100 que funcionan en condiciones ricas en combustible pueden ser susceptibles a una combustión anómala conocida como detonación o golpeteo. El golpeteo se produce cuando un bolsillo de la carga se enciende fuera de un frente de llama creado por la chispa, y puede hacer que la presión dentro del cilindro 105 se eleve más allá de los límites del diseño. Este aumento
10 de presión tiene el potencial de agujerear el pistón 115 o el cabezal 130, conduciendo a un fallo catastrófico del motor 100.

Diferentes realizaciones comprenden métodos para arrancar el motor 100 para que llegue a funcionar en condiciones ricas en combustible y funcionar posteriormente en condiciones de estado estacionario sin (o con un mínimo de)
15 golpeteo. La FIG. 5 ilustra un diagrama de flujo general de diferentes realizaciones de un método 500 para arrancar el motor 100 para que llegue a funcionar en condiciones ricas en combustible. El motor 100 puede arrancarse usando un gas entrante que tenga una proporción de equivalencia de combustible-aire inicial en la etapa 505. La proporción de equivalencia de
20 combustible-aire puede aumentarse gradualmente en la etapa 510 para generar un gas entrante rico en combustible. En la etapa 515, se pueden ajustar uno o más de los siguientes mientras se aumenta la proporción de equivalencia de combustible-aire para mantener una velocidad del motor de entre aproximadamente 1.000 y 2.000 rpm y una temperatura de un gas de escape
25 inferior a aproximadamente 900 °C: el regulador 210, un tiempo de encendido,

una carga acoplada al motor 100, una presión del combustible, la potencia del sobrealimentador 215 que actúa sobre el gas entrante y la potencia del precalentador 220, 235 que actúa sobre el gas entrante.

Antes del arranque del motor 100, se pueden establecer las condiciones operativas iniciales de modo que la presión del combustible sea un valor normalmente inferior al de la presión ambiente [\(para el arranque del motor puede ajustarse la presión del combustible a un calibre de 0 Pa\)](#), el regulador 210 se abre parcialmente hasta un valor predeterminado, normalmente, inferior al 50 %, se establece el tiempo de encendido en un primer valor predeterminado, y se acopla la carga al motor 100. En diferentes realizaciones, el tiempo de encendido determina cuándo es generada una chispa por la bujía 155, y se mide con respecto a una posición de rotación del cigüeñal 120 cuando el pistón 115 está en el PMS. El tiempo de encendido, en general, puede avanzarse para generar la chispa antes de que el pistón 115 alcance el PMS. El avance del tiempo de encendido permite que la combustión (o la cantidad deseada de combustión parcial) de la carga se complete cerca del punto donde el pistón 115 alcanza el PMS. El tiempo de encendido normalmente se expresa como los grados de movimiento rotacional del cigüeñal 120 antes de que el pistón 115 alcance el PMS, o simplemente como los grados antes del punto muerto superior (APMS). En diferentes realizaciones, el primer valor del tiempo de encendido predeterminado puede ser de aproximadamente 8 grados APMS, o de aproximadamente 5 a aproximadamente 15 grados APMS. En otras realizaciones, el primer valor predeterminado del tiempo de encendido puede ser de hasta aproximadamente 30 grados APMS.

Tras iniciarse el arranque del motor 100 y permitir que el motor 100 gire

durante un corto período de tiempo hasta que el motor se enciende, normalmente, se puede aumentar la presión del combustible hasta casi la presión ambiente para permitir que el motor 100 funcione por sí solo. Se debe controlar la velocidad del motor tras el arranque. El tiempo de encendido puede

5 avanzar gradualmente hasta un segundo valor predeterminado mientras se añade carga para mantener la velocidad del motor entre aproximadamente 1.000 y 2.000 rpm. El segundo valor del tiempo de encendido predeterminado puede ser de aproximadamente 16 grados APMS. En otras realizaciones, el segundo valor del tiempo de encendido predeterminado puede variar de

10 aproximadamente 8 grados a aproximadamente 28 grados APMS, preferentemente, entre aproximadamente 10 y aproximadamente 20 grados APMS.

Como se ha analizado anteriormente, el sobrealimentador 215 puede ser alimentado en ciertas realizaciones por un motor eléctrico. En dichas

15 realizaciones, el sobrealimentador 215 puede ser alimentado inicialmente, y luego se puede aumentar gradualmente la potencia mientras aumenta gradualmente la presión del combustible para mantener la velocidad del motor entre aproximadamente 1.000 a 2.000 rpm. En diferentes realizaciones, el sobrealimentador 215 puede alimentarse inicialmente a un valor predeterminado

20 inicial, normalmente, una configuración que suministra aire similar a la aspiración natural del motor, y aumentarse gradualmente hasta un segundo valor predeterminado en incrementos que son de aproximadamente el 10 % al 15 % del intervalo entre esas configuraciones. En diferentes realizaciones, la presión del combustible puede aumentarse gradualmente en aproximadamente 24,9 Pa

25 ~~(0,1 pulgadas de H₂O)~~, aunque se pueden usar incrementos mayores.

El regulador 210 puede aumentarse gradualmente desde el ajuste inicial usando incrementos que crecen del 1 % al 10 % hasta que se alcanza una posición final del regulador de aproximadamente el 90 % de apertura. Mientras aumenta el regulador 210, se puede aumentar la presión del combustible para
5 mantener la velocidad del motor entre aproximadamente 1.000 y 2.000 rpm. Si el rendimiento del motor 100 cae rápidamente mientras se añade presión del combustible, entonces la mezcla de combustible y aire puede ser demasiado rica. En esta situación, se puede disminuir la presión del combustible y usarse la carga para controlar la velocidad del motor. También se puede controlar la
10 temperatura de los gases de escape, y debería mantenerse a menos de 900 °C modificando una o más de entre la presión del combustible, el regulador 210 y la carga del motor.

Los precalentadores 220, 235 pueden alimentarse inicialmente de manera que los precalentadores 220, 235 mantengan la temperatura de la carga a
15 aproximadamente 200 °C antes de entrar por el orificio de entrada 145. El tiempo de encendido puede entonces avanzar más allá del APMS. Como se conoce en la técnica, el tiempo de encendido óptimo y el proceso específico para avanzar el tiempo de encendido dependerán de muchos factores que incluyen, entre
20 otros, las condiciones del combustible (temperatura, presión, presencia de contaminantes, etc.), el tiempo de inyección de combustible, el tipo y el estado del sistema de encendido, la velocidad del motor, la carga del motor y el tipo específico de motor usado. Se puede aumentar la potencia aplicada al sobrealimentador 215 gradualmente para aumentar la velocidad de alimentación del aire. A medida que aumenta la potencia del sobrealimentador y los
25 precalentadores 220, 235 se calientan, se puede mantener la velocidad del motor

entre aproximadamente 1.000 y 2000 rpm ajustando la presión del combustible y la carga. Una vez que se alcanza el rendimiento deseado del motor, se pueden interrumpir los aumentos de potencia del sobrealimentador.

Una vez que los precalentadores 220, 235 alcanzan aproximadamente
5 200 °C, se puede aumentar la temperatura del precalentador en incrementos predeterminados, normalmente no superiores al 15 % de la configuración para evitar sobrepasar la temperatura establecida. Como se conoce en la técnica, el uso de sistemas de control automatizados puede permitir mayores incrementos de la temperatura sin aumentar el riesgo de sobrepasar la temperatura
10 establecida. Se puede ajustar la presión del combustible para mantener la velocidad del motor entre aproximadamente 1.000 y 2.000 rpm mientras se aumenta la temperatura del precalentador. Una vez que se obtiene la proporción de equivalencia de combustible-aire deseada, se pueden interrumpir los aumentos adicionales de la temperatura del precalentador. En diferentes
15 realizaciones, la proporción de equivalencia de combustible-aire deseada puede ser de aproximadamente 1,6 a 2,4.

Si el motor 100 pierde estabilidad repentinamente mientras aumenta la temperatura del precalentador, una temperatura operativa dentro del cilindro 105 puede ser demasiado alta para la proporción del combustible con respecto al aire
20 en ese momento a la presión del colector de ese momento. En esta situación, se puede apagar la fuente de alimentación de los precalentadores 220, 235 hasta que se recupere la estabilidad, y luego se puede volver a encender la fuente de alimentación de los precalentadores 220, 235, y se puede reanudar el aumento de la temperatura de los precalentadores y de la presión del combustible.

25 Si bien el aire se suele usar para suministrar el oxidante en la carga, se

puede usar aire enriquecido (por ejemplo, hasta aproximadamente el 35 por ciento en volumen de O_2) en diferentes realizaciones. El uso de aire enriquecido puede aumentar el rendimiento del motor, reducir los costes aguas abajo por unidad de rendimiento y mejorar la extracción de productos líquidos y la actividad del catalizador. También se puede usar aire humidificado o adición de vapor a la alimentación de gas. El aumento de la humedad o la adición de vapor adicional aumenta la concentración de vapor de agua en el cilindro, lo que permite mayores rendimientos de hidrógeno a través de reacciones de reforma con vapor como se describe en la Ec. 5 anterior.

Si bien el metano se usa en el presente documento para describir el combustible predominante, se puede usar varias composiciones de combustible de hidrocarburos en distintas realizaciones. El funcionamiento del sistema, en muchos casos, utilizará metano tomado de tuberías de gas natural, gas asociado de pozos petrolíferos, corrientes de gas residual que normalmente se quemarían, corrientes de biogás y otras corrientes de hidrocarburos ligeros gaseosos. El gas natural de la tubería está compuesto principalmente de metano, pero tendrá niveles de etano entre el 1 y 6 %, y trazas de otros hidrocarburos, dióxido de carbono, nitrógeno y otras moléculas. De manera análoga, el gas asociado procedente de los pozos petrolíferos tendrá altas concentraciones de etano e hidrocarburos superiores, normalmente, denominados líquidos de gas natural, tales como propano, butano, pentano y hexano. En algunos casos, los líquidos de gas natural se extraen antes de que el gas natural restante se recoja por la tubería, se utilice o se queme. El funcionamiento del motor para producir gas de síntesis podría realizarse con este combustible con o sin la eliminación de los líquidos de gas natural al adaptar los parámetros operativos para mantener la

conversión y evitar la producción de hollín. Otra corriente de combustible para el motor podría ser la corriente de gas de diferentes procesos químicos, de fabricación o industriales, o sistemas de almacenamiento, ya sea como desechos o subproductos, y dichos combustibles pueden tener varios hidrocarburos ligeros. Cuando estas corrientes tienen una concentración de combustible lo suficientemente alta (dependiendo de la composición del combustible) o se pueden tratar para alcanzar dichas concentraciones, se prevé que estas sean posibles fuentes de combustible para la producción de gas de síntesis para utilizar estas corrientes. Además, existen muchas fuentes de biogás que se pueden usar como combustible para la producción de gas de síntesis utilizando un motor. Para los fines de la presente invención, el biogás se define como la corriente gaseosa producida por la degradación de los materiales de biomasa que contienen predominantemente metano y dióxido de carbono con otros componentes traza conocidos en el campo del biogás. Son ejemplos de fuentes de biogás los vertederos, los sitios para el tratamiento de desechos animales y las plantas de tratamiento de aguas residuales. En los usos del biogás, puede ser necesario un tratamiento previo para eliminar algo de dióxido de carbono (dependiendo de la concentración) del combustible a fin de hacer que el motor funcione eficazmente, aunque no se requiere la eliminación completa para el funcionamiento del motor. El funcionamiento del motor es generalmente tolerante a la presencia de dióxido de carbono. Como se describe en la composición del gas natural, el etano normalmente se encuentra en las corrientes de gas natural. Otras realizaciones pueden usar más etano como combustible o mezclado con gas natural como combustible. La adición de hidrógeno a la corriente de combustible también puede proporcionar beneficios

en algunas realizaciones con diferentes composiciones de combustible. Este hidrógeno podría obtenerse de fuentes externas o reciclarse del funcionamiento del motor o de procesos aguas abajo. Una realización sería reciclar el hidrógeno eliminado selectivamente del gas de escape del motor o reciclar una fracción del escape del motor.

Una vez que se logra el arranque del motor 100 para alcanzar condiciones ricas en combustible (tal como mediante la implementación, por ejemplo, del método descrito anteriormente en referencia a la FIG. 5), la FIG. 6 ilustra otro diagrama de flujo general de diferentes realizaciones de un método 600 para el funcionamiento continuo del motor 100 en condiciones ricas en combustible. En la etapa 605, se puede mantener un conjunto inicial de condiciones operativas tras el arranque del motor 100 para una contrapresión de escape, una presión del colector de admisión, la velocidad del motor, el tiempo de encendido, la proporción de equivalencia de gas combustible-aire y la temperatura de entrada del gas combustible. La temperatura de entrada del gas combustible puede aumentarse en la etapa 610 aumentando la potencia al precalentador mientras se mantiene la proporción de equivalencia de combustible-aire. Se puede controlar un contenido de metano y oxígeno (suponiendo que el metano es el hidrocarburo del combustible) del gas de escape. El tiempo de encendido puede ajustarse en la etapa 615 en respuesta al contenido de metano y oxígeno controlado.

En diferentes realizaciones, la contrapresión de escape operativa inicial puede estar entre aproximadamente la presión ambiente y 500 kPa (~~5 bares~~) absolutos, la presión del colector de admisión operativa inicial puede estar entre aproximadamente la presión ambiente y 200 kPa (~~2 bares~~) absolutos, la

velocidad operativa inicial del motor puede estar entre aproximadamente 1000-2000 rpm, el tiempo de encendido operativo inicial puede estar entre aproximadamente 25 y 35 grados APMS, la proporción de equivalencia de combustible-aire operativa inicial puede estar entre aproximadamente 1,6 y 2,4, y la temperatura inicial del gas combustible puede estar entre aproximadamente 200 °C y 270 °C. La FIG. 7 ilustra intervalos aproximados de temperatura de gas combustible para proporciones de equivalencia de combustible-aire que varían de 1 a 2.

En diferentes realizaciones, el ajuste del tiempo de encendido en respuesta al metano y oxígeno controlados comprende controlar el deslizamiento del metano y del oxígeno (es decir, metano y oxígeno sin reaccionar que pasan a través del motor 100). Si el contenido de metano del gas de escape o el contenido de oxígeno del gas de escape superan los niveles aceptables, se puede avanzar el tiempo de encendido para reducir el deslizamiento. Se puede controlar la temperatura de los gases de escape mientras se avanza el tiempo de encendido para que la temperatura del gas de escape permanezca dentro del intervalo especificado en la FIG. 7. En diferentes realizaciones, en lugar de avanzar el tiempo de encendido de todos los cilindros 105 del motor 100 por igual, se puede ajustar el tiempo de encendido individualmente para cada cilindro 105 de manera que la variabilidad de la temperatura del gas de escape de cada cilindro 105 individual esté dentro de un intervalo de aproximadamente 75 °C.

En las condiciones operativas en estado esencialmente estacionario, la FIG. 8 ilustra la proporción esperada del H₂ con respecto al CO en el gas de escape para una proporción de equivalencia de combustible-aire dada. Así pues, el motor 100 puede ajustarse para producir una proporción deseada del H₂ con

respecto al CO según sea necesario para los procesos de aguas abajo. La FIG. 9 ilustra la conversión fraccionada del gas natural como combustible para el motor 100 para una proporción de equivalencia de combustible-aire dada. De acuerdo con diferentes realizaciones, se puede usar la FIG. 8 para determinar la proporción de equivalencia de combustible-aire necesaria para producir una proporción deseada del H₂ con respecto al CO, y luego se puede usar la FIG. 9 para determinar la conversión fraccionada esperada del combustible que se puede producir en la proporción de equivalencia de combustible-aire seleccionada.

10 EJEMPLO

Se configuró un sistema de motor para producir gas de síntesis con gas natural procedente del gaseoducto local de gas natural. Se configuró un motor de 8 cilindros encendido por chispa, de 8,8 l, disponible en el mercado en un sistema para producir gas de síntesis en condiciones ricas en combustible. Se tomó aire del entorno circundante y se usó un sobrealimentador para aumentar la presión hasta una presión del colector de admisión de casi 200 kPa (2 bares). El gas natural se suministró desde la tubería de servicios públicos que cumple con las especificaciones normales de EE. UU. para el gas natural de gaseoducto. La composición típica a lo largo de las series descritas fue del 95 % en volumen de metano (CH₄), 4 % en volumen de etano (C₂H₆), 1 % en volumen de dióxido de carbono (CO₂) y componentes traza sin medir. Las mezclas de aire y gas natural se calentaron por encima de 200 °C antes de la mezcla. Entonces se proporcionó la alimentación mixta a los cilindros del motor a través del colector de admisión. Con la ayuda del encendido por chispa, la alimentación se convirtió en gas de síntesis en el cilindro. El motor funcionó a una velocidad de 1.500 rpm

y las temperaturas de los gases de escape se mantuvieron por debajo de 900 °C. El gas de síntesis producido se recogió a través del colector de escape y se mantuvo a una presión de entre 400 y 500 kPa (~~4 y 5 bares~~) mediante el uso de la regulación de la presión aguas abajo.

- 5 La Tabla 1 presenta la composición del gas de síntesis (media de cuatro series) de este ejemplo con el funcionamiento del motor 100 de acuerdo con la presente divulgación.

Tabla 1. Composición del gas de síntesis

Componente del gas de síntesis	Porcentaje en volumen (seco)
H ₂	22,3
CO	14,5
O ₂	0,15
CO ₂	2,9
CH ₄	1,3
N ₂	58,9

- 10 El ejemplo anterior es solo para fines ilustrativos y no restringe la invención a los procesos usados en el ejemplo.

- 15 En general, los términos tales como "comunicarse" y las expresiones tales como "en comunicación con" (por ejemplo, un primer componente "se comunica con" o "está en comunicación con" un segundo componente) se usan en el presente documento para indicar una relación estructural, funcional, mecánica, eléctrica, de señalización, óptica, magnética, electromagnética, iónica o fluídica entre dos o más componentes o elementos. Como tal, el hecho de que se diga que un componente se comunica con un segundo componente no pretende excluir la posibilidad de que componentes adicionales puedan estar presentes

entre y/o asociados o conectados operativamente con, el primer y el segundo componente.

Se entenderá que diferentes aspectos o detalles de la invención pueden cambiarse sin apartarse del alcance de la invención. Además, la descripción anterior es solo con fines ilustrativos, y no con fines de limitación: la invención

5 está definida por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir un gas de síntesis en un motor de combustión interna (100) en condiciones ricas en combustible, caracterizado porque
5 comprende:
 - arrancar el motor (100) usando un gas entrante que tiene una proporción de equivalencia de combustible-aire inicial;
 - aumentar gradualmente la proporción de equivalencia de combustible-aire para generar un gas entrante rico en combustible; y
 - 10 ajustar, mientras se aumenta la proporción de equivalencia de combustible-aire, uno o más de entre un regulador (210), un tiempo de encendido, una carga acoplada al motor (100), una presión del combustible, la potencia de un sobrealimentador (215) que actúa sobre el gas entrante o parte del gas entrante, la potencia de un precalentador (220, 235) que actúa sobre el
15 gas entrante mientras se mantiene una proporción de equivalencia de combustible-aire de entre 1,6 a 2,4.
2. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque el gas entrante
20 comprende compuestos de hidrocarburo y una corriente que contiene oxígeno.
3. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque comprende además establecer las condiciones iniciales antes de arrancar el motor (100) como al menos una de entre la presión del combustible predeterminada, el regulador (210) parcialmente abierto, un primer valor predeterminado del tiempo
25 de encendido y una carga acoplada al motor (100).

4. El método de la reivindicación 3, caracterizado porque ~~el~~ajustare ~~del~~ regulador (210) parcialmente abierto comprende ~~el~~ajustare ~~del~~ regulador (210) en un ajuste predeterminado por debajo del 50 %.

5

5. El método de la reivindicación 3, caracterizado porque ~~el~~ajustare ~~del~~ primer valor predeterminado del tiempo de encendido comprende ajustar el tiempo de encendido de entre 5 a 12 grados antes del punto muerto superior (APMS).

10

6. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque el arranque del motor 100 comprende ajustar la presión del combustible a un calibre de 0 Pa (~~0 pulgadas de H₂O~~) y permitir que arranque el motor (100).

15

7. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque se mantiene una velocidad del motor (100) entre 1.000 y 2.000 revoluciones por minuto (rpm) y una temperatura de un gas de escape inferior a 900 °C.

20

8. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque ~~el~~ajustare ~~del~~ tiempo de encendido comprende avanzar el tiempo de encendido hasta un segundo valor predeterminado mientras se aumenta la carga del motor 100 para mantener la velocidad del motor (100) entre 1.000 y 2.000 rpm.

25

9. El método de la reivindicación 8, caracterizado porque el segundo valor predeterminado del tiempo de encendido está entre 8 grados APMS y 28 grados

APMS.

10. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque ~~el ajuste de~~ la potencia del sobrealimentador (215) comprende alimentar inicialmente el sobrealimentador (215).

11. El método de la reivindicación 10, caracterizado porque comprende además aumentar la potencia del sobrealimentador (215) mientras se aumenta la presión del combustible para mantener la velocidad del motor (100) entre 1.000 y 2.000 rpm.

12. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque ~~el ajuste del~~ regulador (210) comprende aumentar el regulador (210) mientras se aumenta la presión del combustible y la carga del motor (100) para mantener la velocidad del motor (100) entre 1.000 y 2.000 rpm.

13. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque comprende además controlar la temperatura del gas de escape y modificar uno o más de entre la presión del combustible, el regulador (210) y la carga del motor (100) para mantener la temperatura del gas de escape por debajo de 900°C.

14. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque ~~el ajuste de~~ la potencia del precalentador (220, 235) comprende alimentar inicialmente el precalentador (220, 235).

15. El método de la reivindicación 14, caracterizado porque comprende además ajustar el precalentador (220, 235) a una temperatura inicial y aumentar la presión del combustible a medida que aumenta la temperatura del precalentador (220, 235) mientras se mantiene la velocidad del motor (100) entre
5 1.000 y 2.000 rpm.

16. El método de la reivindicación 15, caracterizado porque la temperatura inicial del precalentador (220, 235) es de 200 °C.

10 17. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque comprende además ajustar el tiempo de encendido a un tercer valor predeterminado.

18. El método de la reivindicación 17, caracterizado porque el tercer valor predeterminado del tiempo de encendido es de entre 20 a 30 grados APMS.

15

19. El método de la reivindicación 11, caracterizado porque comprende además aumentar la potencia del sobrealimentador (215) mientras se ajusta la presión del combustible y la carga del motor (100) para mantener la velocidad del motor (100) entre 1.000 y 2.000 rpm hasta que se alcanza el rendimiento
20 volumétrico deseado del motor (100).

20. El método de la reivindicación 15, caracterizado porque comprende además, cuando el precalentador (220, 235) alcanza la temperatura inicial, aumentar la temperatura del precalentador (220, 235) mientras se ajusta la
25 presión del combustible para mantener la velocidad del motor (100) entre 1.000

y 2.000 rpm hasta que la equivalencia de combustible-aire alcance un valor de entre 1,6 a 2,4.

21. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque la proporción de equivalencia de combustible-aire inicial del gas combustible es de 1.

22. Un método para hacer funcionar un motor de combustión interna (100) en condiciones ricas en combustible, caracterizado porque comprende:

~~el~~ mantenimiento ~~de~~ un conjunto de condiciones operativas de mantenimiento tras el arranque del motor (100) para una contrapresión de escape, una presión del colector de admisión, una velocidad del motor (100), un tiempo de encendido, una proporción de equivalencia de gas combustible-aire y una temperatura de entrada de gas combustible;

~~el~~ aumentar ~~de~~ la temperatura de entrada del gas combustible mientras se mantiene la proporción de equivalencia de gas combustible-aire y el control del contenido de metano y oxígeno de un gas de escape del motor (100); y

~~el~~ ajustar ~~el~~ tiempo de encendido en respuesta al contenido controlado de metano y oxígeno donde la proporción de equivalencia de gas combustible-aire operativa es de entre 1,6 a 2,4.

20

23. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque la contrapresión de escape operativa inicial es de entre la presión ambiente y 500 kPa (~~5 bares~~) absolutos.

24. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque la presión del

colector de admisión operativa está entre la presión ambiente y 200 kPa
 (2 bares) absolutos.

25. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque la velocidad
 5 operativa inicial del motor (100) está entre 1.000 y 2.000 revoluciones por minuto
 (rpm).

26. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque el tiempo de
 encendido operativo inicial está entre 25 y 35 grados antes del punto muerto
 10 superior (APMS).

~~27. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque la proporción de
 equivalencia de gas combustible-aire operativa es de entre 1,6 a 2,4.~~

15 ~~28~~27. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque la temperatura de
 entrada de gas combustible operativa inicial está entre 200 °C y 270 °C.

~~29~~28. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque ~~el~~ajustare del
 tiempo de encendido en respuesta al contenido controlado de metano y oxígeno
 20 comprende avanzar el tiempo de encendido si el contenido controlado de metano
 u oxígeno aumenta más allá de los niveles aceptables.

~~30~~29. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque comprende
 además controlar la temperatura del gas de escape de cada cilindro (105) del
 25 motor (100).

[3130](#). El método de la reivindicación [3029](#), caracterizado porque comprende además ajustar individualmente un tiempo de encendido de cada cilindro (105) para reducir la variabilidad en la temperatura del gas de escape de cada cilindro (105) dentro de un intervalo de 75 °C.

[3231](#). El método de la reivindicación 22, caracterizado porque el gas de escape comprende una combinación de al menos dos de entre hidrógeno (H₂), monóxido de carbono (CO), nitrógeno (N₂), vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y componentes traza.

[3332](#). Un sistema reformador de gas caracterizado porque realiza el método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

[3433](#). El sistema reformador de gas de la reivindicación [3332](#), caracterizado porque el sistema reformador de gas produce un gas de síntesis.

[3534](#). El sistema reformador de gas de la reivindicación [3433](#), caracterizado porque el gas de síntesis comprende hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO).

[3635](#). Un sistema reformador de gas, que tiene:
un motor de combustión interna (100) que tiene una entrada (145) de gas combustible, una salida (150) de gas de escape, una pluralidad de cilindros (105), un sistema de temporización del encendido, un regulador (210), un

precalentador (220, 235) de gas combustible y un sobrealimentador (215);

caracterizado porque el motor de combustión interna (100) funciona con una proporción de equivalencia de gas combustible-aire de entre 1,6 y 2,4.

5 [3736](#). El sistema reformador de gas de la reivindicación [3635](#), caracterizado porque el motor de combustión interna (100) ajusta individualmente una proporción de equivalencia de gas combustible-aire, una temperatura de entrada del gas combustible, una presión del colector de entrada, un tiempo de encendido, una velocidad del motor (100), una presión del colector de escape y
10 una temperatura del gas de escape.

[3837](#). El sistema reformador de gas de la reivindicación [3635](#), caracterizado porque el motor de combustión interna (100) produce un gas de escape que comprende hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO).

**MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA COMO REACTOR QUÍMICO PARA
PRODUCIR GAS DE SÍNTESIS A PARTIR DE SUMINISTROS DE
HIDROCARBURO**

5 SOLICITUDES RELACIONADAS

La presente solicitud reivindica el beneficio de la solicitud de patente provisional de EE.UU. con n.º de serie 62/565.844, presentada el 29 de septiembre de 2017, titulada "INTERNAL COMBUSTION ENGINE AS A CHEMICAL REACTOR TO PRODUCE SYNTHESIS GAS FROM
10 HYDROCARBON FEEDS", cuyo contenido se incorpora en el presente documento por referencia en su totalidad.

INVESTIGACIÓN O DESARROLLO PATROCINADOS POR EL GOBIERNO

La presente invención se realizó con el apoyo del gobierno en virtud de la subvención n.º DE-AR0000506 otorgada por el Departamento de Energía de EE.
15 UU. El gobierno posee ciertos derechos sobre la presente invención.

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere, en general, a la producción de gas de síntesis, en particular, usando un motor de combustión interna como generador de gas de síntesis.

20 ANTECEDENTES

Muchos procesos y operaciones producen corrientes gaseosas de hidrocarburos ligeros. A menudo, estas corrientes gaseosas están a baja presión y pueden comprender además varios contaminantes. Por lo tanto, las corrientes gaseosas pueden tener poco valor intrínseco, y el coste de eliminar los
25 contaminantes y de comprimir el gas (tal como aumentar la presión para permitir

la introducción en una tubería de transmisión de gas natural) puede ser prohibitivamente alto. Dadas estas limitaciones, las corrientes gaseosas se suelen eliminar mediante quema, incineración o ventilación.

Recientemente, ha aumentado el interés en hacer un uso más productivo de estas corrientes de hidrocarburos de baja calidad. Una de dichas áreas consiste en usar la corriente de hidrocarburos como gas entrante en la producción de gas de síntesis. El gas de síntesis puede producirse a partir de la combustión parcial de materias primas orgánicas (hidrocarburos ligeros, carbón, coque de petróleo, biomasa, aceite) y se compone principalmente de hidrógeno (H_2) y monóxido de carbono (CO). El gas de síntesis suele contener contaminantes (que incluyen H_2S , COS) dependiendo de la materia prima de partida. Muchos procesos de producción de gas de síntesis utilizan reformadores basados en catalizadores para oxidar parcialmente las materias primas orgánicas. Aunque los catalizadores son útiles para aumentar la velocidad de reacción y reducir la temperatura de reacción, muchos catalizadores están hechos de materiales caros, están sujetos a envenenamiento por los compuestos de azufre presentes en la corriente de gas y la obstrucción por hollín y otras partículas.

El gas de síntesis es el material de partida para la producción de varios productos químicos. El gas de síntesis también se puede usar para la producción de energía en una turbina de gas o un generador basado en un motor. El gas de síntesis también se puede usar para producir H_2 , convirtiendo el CO y el vapor de agua en H_2 y dióxido de carbono (CO_2) a través del proceso de desplazamiento gas-agua (WGS, Water-Gas-Shift). La proporción del H_2 con respecto al CO del gas del proceso normalmente debe ajustarse

cuidadosamente para satisfacer la demanda de las aplicaciones aguas abajo.

Recientemente, la patente de EE.UU. n.º 9.169.773 (Bromberg *et al.*) desvelaba un sistema de fabricación de combustible líquido-reformador que utilizaba un motor para generar un gas rico en hidrógeno. Los sistemas desvelados funcionan a una proporción de aire/combustible, proporción de equivalencia, de $2,5 < \phi < 4,0$. También desvelan que, para un reformador eficaz basado en el motor, se puede usar encendido por compresión de carga homogénea (HCCI, Homogenous Charge Compression Ignition), encendido por compresión de premezcla (PCI, Pre-mixed Compression Ignition) parcial o encendido por compresión controlada por reacción (RCCI, Reaction Controlled Compression Ignition). Informan que "tanto en las llamas de los quemadores como en los cálculos de los cilindros, las proporciones de equivalencia más bajas dan lugar a una mayor energía liberada en la conversión, máximo más alto en las temperaturas del cilindro, menor selectividad hacia el hidrógeno y CO [...]"

La patente de EE.UU. n.º 2.391.687 (Eastman *et al.*) desvela un motor para la generación de gas de síntesis que funciona con un 90 % o más de O₂ puro y tiene una proporción de equivalencia de 2,8-4,0.

SUMARIO

Para abordar los problemas anteriores, en su totalidad o en parte, y/u otros problemas que puedan haber sido observados por los expertos en la materia, la presente divulgación proporciona métodos, procesos, sistemas, aparatos, instrumentos y/o dispositivos, como se describe a modo de ejemplo en las implementaciones establecidas a continuación.

De acuerdo con una realización, un método para usar un motor de combustión interna en condiciones ricas en combustible incluye: el arranque del

motor usando un gas entrante que tiene una proporción de equivalencia de combustible-aire inicial; el aumento gradual de la proporción de equivalencia de combustible-aire para generar un gas entrante rico en combustible; mientras se aumenta la proporción de equivalencia de combustible-aire, el ajuste de uno o
5 más de entre un regulador, un tiempo de encendido, una carga acoplada al motor, una presión del combustible, la potencia de un sobrealimentador que actúa sobre el gas entrante y la potencia de un precalentador que actúa sobre el gas entrante para mantener una proporción de equivalencia combustible-aire de aproximadamente 1,6 a 2,4. En una realización, se mantiene una velocidad del
10 motor entre aproximadamente 1.000 y 2.000 revoluciones por minuto (rpm) y una temperatura de un gas de escape inferior a aproximadamente 900 °C.

De acuerdo con otra realización, un método para hacer funcionar un motor de combustión interna en condiciones ricas en combustible incluye: el mantenimiento de un conjunto inicial de condiciones tras el arranque del motor
15 para una contrapresión de escape, una presión del colector de admisión, una velocidad del motor, un tiempo de encendido, una proporción de equivalencia de gas combustible-aire y una temperatura de entrada de gas combustible; el aumento de la temperatura de entrada del gas combustible mientras se mantiene la proporción de equivalencia de gas combustible-aire y el control del contenido
20 de metano y oxígeno de un gas de escape del motor; y ajuste del tiempo de encendido en respuesta al contenido controlado de metano y oxígeno.

De acuerdo con otra realización, se configura un sistema reformador de gas para realizar cualquiera de los métodos descritos en el presente documento.

De acuerdo con otra realización, un sistema reformador de gas incluye:
25 un motor de combustión interna que comprende una entrada de gas combustible,

una salida de gas de escape, una pluralidad de cilindros, un sistema de temporización del encendido, un regulador, un precalentador de gas combustible y un sobrealimentador, en donde el motor de combustión interna está configurado para funcionar con una proporción de equivalencia de gas combustible-aire de entre aproximadamente 1,6 y 2,4.

Otros dispositivos, aparatos, sistemas, métodos, características y ventajas de la invención serán o se harán evidentes para un experto en la materia al examinar las siguientes figuras y descripción detallada. Se pretende que todos esos sistemas, métodos, características y ventajas adicionales se incluyan en la presente descripción, pertenezcan al alcance de la invención y estén protegidos por las reivindicaciones adjuntas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La invención se puede entender mejor haciendo referencia a las siguientes figuras. Los componentes de las figuras no están necesariamente a escala, en su lugar, se pone énfasis en ilustrar los principios de la invención. En las figuras, los mismos números de referencia designan las partes correspondientes de las diferentes vistas.

La Figura 1 es una vista esquemática en sección transversal de un cilindro ilustrativo de un motor de combustión interna de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 2 es una vista esquemática de un sistema para producir gas de síntesis usando un motor de combustión interna de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 3 es una vista esquemática de un sistema para producir gas de síntesis usando un motor de combustión interna de acuerdo con algunas

realizaciones.

La Figura 4 es una vista esquemática de un sistema para producir gas de síntesis usando un motor de combustión interna de acuerdo con algunas realizaciones.

5 La Figura 5 es un diagrama de flujo ilustrativo de un método para arrancar un motor en condiciones ricas en combustible de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 6 es un diagrama de flujo ilustrativo de un método para hacer funcionar un motor en condiciones ricas en combustible de acuerdo con algunas
10 realizaciones.

La Figura 7 es un gráfico de la temperatura de admisión de combustible-aire para distintas proporciones de equivalencia de combustible-aire de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 8 es un gráfico de las proporciones de H_2 con respecto al CO para distintas proporciones de equivalencia de combustible-aire de acuerdo con
15 algunas realizaciones.

La Figura 9 es un gráfico de conversión fraccionada de gas natural para distintas proporciones de equivalencia de combustible-aire de acuerdo con algunas realizaciones.

20 **DESCRIPCIÓN DETALLADA**

Como se usa en el presente documento, la expresión "gas de síntesis" se refiere a gas de síntesis. En el contexto de la presente divulgación, el gas de síntesis es una mezcla de al menos monóxido de carbono (CO) y gas de hidrógeno diatómico (H_2). Dependiendo de la realización, el gas de síntesis
25 también puede incluir otros componentes tales como, por ejemplo, agua, aire,

gas de nitrógeno diatómico (N_2), gas de oxígeno diatómico (O_2), dióxido de carbono (CO_2), compuestos de azufre (por ejemplo, sulfuro de hidrógeno (H_2S), sulfuro de carbonilo (COS), óxidos de azufre (SO_x), etc.), compuestos de nitrógeno (por ejemplo, óxidos de nitrógeno (NO_x), etc.), carbonilos metálicos, 5 hidrocarburos (por ejemplo, metano (CH_4)), amoníaco (NH_3), cloruros (por ejemplo, cloruro de hidrógeno (HCl)), cianuro de hidrógeno (HCN), trazas de metales y metaloides (por ejemplo, mercurio (Hg), arsénico (As), selenio (Se), cadmio (Cd), etc.) y sus compuestos, material particulado (MP), etc.

Como se usa en el presente documento, la expresión "hidrocarburo 10 inferior" se refiere a hidrocarburos de bajo peso molecular, incluyendo, pero sin limitación, metano, etano, propano y butano.

Como se usa en el presente documento, el término "carga" puede significar un calentador eléctrico, dinamómetro, baño de agua, etc. Al aumentar o disminuir la carga, el motor puede funcionar a velocidad constante a medida 15 que varían las condiciones de entrada. También se puede variar la carga para modificar la temperatura dentro del motor o las proporciones de los componentes de salida.

Como se usa en el presente documento, la expresión "gas natural" se refiere a una mezcla de gases de hidrocarburos (HC) que consiste 20 principalmente en metano y cantidades menores de alcanos superiores. Dependiendo de la realización, el gas natural puede incluir además especies que no sean HC , tales como una o más de las mencionadas anteriormente, así como disulfuro de carbono (CS_2) y/u otros disulfuros, y mercaptanos (tioles) tales como metanotiol (CH_3SH) y etanotiol (C_2H_5SH), y tiofenos tales como tiofeno (C_4H_4S) 25 y otros compuestos organosulfurados.

La presente divulgación proporciona métodos para utilizar un motor de combustión interna como generador de gas de síntesis. Además, el proceso puede usarse junto con la producción de metanol, así como otros procesos de producción química. Los métodos desvelados pueden hacer uso de una amplia
5 variedad de fuentes de hidrocarburos dispersas por todo el mundo. Por ejemplo, los pozos de producción de petróleo y gas natural se encuentran en muchas áreas remotas de EE. UU., y cada pozo individual, compresor, dispositivo neumático y recipiente de almacenamiento del pozo pueden producir una corriente de emisión de hidrocarburos. Debido al pequeño volumen, a la baja
10 presión y a los posibles contaminantes de estas corrientes de hidrocarburos, a menudo, se someten a combustión o se ventilan. La compresión y purificación de estas corrientes dispares para su recolección en una tubería de transmisión de gas natural pueden ser prohibitivamente costosas. Los métodos de la presente divulgación pueden utilizar motores de combustión interna producidos
15 en masa que funcionan en condiciones específicas para oxidar parcialmente estos hidrocarburos y producir gas de síntesis que puede tener un valor superior y hacer que la extracción del gas de síntesis sea económicamente viable.

Los motores de combustión interna se han desarrollado y utilizado durante décadas para producir energía normalmente para la propulsión de vehículos, la
20 conducción de dispositivos mecánicos o la generación de electricidad. En cada uno de estos usos, el enfoque ha estado en la combustión eficiente y completa de un combustible para aumentar al máximo la potencia producida. Sin embargo, los motores de combustión interna tienen características de interés para otras aplicaciones. Se pueden usar características tales como la distribución del calor
25 del sistema de refrigeración y radiadores para controlar la temperatura del motor,

la capacidad de crear altas presiones en el cilindro, la función de tiempos de residencia cortos en el cilindro y el control de las presiones de las válvulas en procesos para conversiones químicas donde el motor serviría como reactor químico. En la presente solicitud, el enfoque se centra en controlar los
5 parámetros del motor para aumentar al máximo la conversión química deseada en lugar de la generación de energía. En algunos casos, la reacción química puede crear energía. Como alternativa, se puede añadir energía girando externamente el eje en otros casos. Cualquier reacción química que tenga lugar en un tiempo de residencia corto y que aproveche las características
10 enumeradas anteriormente podría adaptarse al uso del motor como reactor químico. En el presente documento, se describe una de dichas aplicaciones para la conversión de hidrocarburos ligeros a gas de síntesis.

La FIG. 1 ilustra una vista esquemática en sección transversal de un cilindro 105 de un motor de combustión interna 100 de acuerdo con diversas
15 realizaciones. El motor 100 puede comprender además una cámara de combustión 110 dentro del cilindro 105. Un pistón 115 puede colocarse dentro del cilindro 105 y moverse hacia arriba y hacia abajo en el cilindro 105, definiendo así un volumen variable de la cámara de combustión 110. La cámara de combustión 110 está en su volumen mínimo cuando el pistón 115 está en su
20 posición más alta del cilindro 105 (denominada punto muerto superior (PMS)), y en su volumen máximo cuando el pistón 115 está en su posición más baja del cilindro 105 (denominada punto muerto inferior (PMI)). El pistón 115 puede estar acoplado a un cigüeñal 120 por una biela 125. El motor 100 puede comprender además un cabezal 130 acoplada a la parte superior de los cilindros 105. El
25 cabezal 130 puede alojar una o más válvulas de admisión 135 y una o más

válvulas de escape 140. Cada válvula de admisión 135 puede servir para abrir o cerrar un orificio de entrada 145, mientras que cada válvula de escape 140 puede servir para abrir o cerrar un orificio de escape 150. El orificio de entrada 145 puede estar en comunicación fluida con la cámara de combustión 110 para
5 permitir que una mezcla de combustible y oxidante (denominada carga) fluya hacia la cámara de combustión 110. El orificio de escape 150 también puede estar en comunicación fluida con la cámara de combustión 110 para permitir que los gases de escape fluyan fuera de la cámara de combustión 110. El cabezal 130 también puede comprender una o más bujías 155 que pueden extenderse
10 al menos parcialmente en la cámara de combustión 110 y proporcionar una fuente de encendido para la carga.

Aunque no se muestra en la Fig. 1, el motor 100 puede comprender además un precalentador para aumentar la temperatura de uno o ambos de entre el combustible y el oxidante antes de entrar por el orificio de entrada 145, y un
15 sobrealimentador para aumentar la presión de uno o ambos de entre el combustible y el oxidante antes de entrar por el orificio de entrada 145. El precalentador puede comprender un intercambiador de calor para extraer una parte del calor, por ejemplo, de los gases de escape del motor 100. Como alternativa, el precalentador puede obtener energía térmica mediante otros
20 procesos conocidos en la técnica, tales como los calentadores eléctricos, combustión de un combustible secundario o eliminación del calor de otro proceso. El sobrealimentador puede comprender una turbina para extraer energía de los gases de escape del motor 100. Como alternativa, el sobrealimentador puede ser alimentado por otros procesos conocidos en la
25 técnica, tales como un motor eléctrico o la eliminación de energía de otro

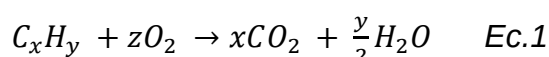
proceso.

En determinadas realizaciones no limitantes, el motor 100 puede adaptarse a funcionar usando un proceso de 4 tiempos. El proceso de 4 tiempos puede comenzar, por ejemplo, con el pistón 115 en el PMS y luego empezar a
5 moverse hacia abajo. La válvula de admisión 135 se mueve hacia abajo, colocando así el orificio de entrada 145 en comunicación fluida con la cámara de combustión 110. El pistón 115 se mueve hacia abajo permitiendo que la carga entre en la cámara de combustión 110. Cuando el pistón 115 alcanza el PMI, la válvula de admisión 135 se cierra. El pistón 115 luego se mueve hacia arriba,
10 comprimiendo la carga. Cuando el pistón 115 se acerca al PMS, la bujía 155 genera una chispa que enciende la carga. En diferentes realizaciones, como se analiza más adelante, la chispa puede generarse antes de que el pistón 115 alcance el PMS. Mientras la carga se quema, la presión dentro de la cámara de combustión 110 aumenta y fuerza al pistón 115 hacia abajo. Cuando el pistón
15 115 alcanza el PMI, la válvula de escape 140 se mueve hacia abajo, colocando así el orificio de escape 150 en comunicación fluida con la cámara de combustión 110. A medida que el pistón 115 se mueve hacia el PMS, los gases de combustión de la carga quemada se expulsan por el orificio de escape 150. Cuando el pistón 115 alcanza el PMS, la válvula de escape 140 se cierra y el
20 ciclo se repite.

Aunque, en el presente documento, no se describen los detalles de cada proceso, el motor 100 en diferentes realizaciones puede configurarse para funcionar de acuerdo con un proceso de 2 tiempos, un proceso de 5 tiempos, un proceso de 6 tiempos, un proceso de encendido por compresión (por ejemplo,
25 diésel), un motor a reacción, una turbina, un motor rotativo o cualquier otro tipo

de motor conocido en la técnica. La presente divulgación se centra en un proceso de 4 tiempos debido a su frecuencia y su disponibilidad inmediata, pero no debe inferirse ninguna limitación en el alcance de la divulgación.

Por lo general, los hidrocarburos y el oxígeno son el combustible y el oxidante, respectivamente, que se queman en el motor 100. La ecuación química estequiométrica general para la combustión de un hidrocarburo en oxígeno está dada por la Ecuación 1:

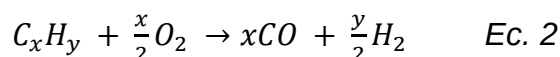


Así pues, para la combustión completa estequiométrica, todo el hidrocarburo y el oxígeno reaccionan para formar dióxido de carbono y agua. Así pues, para la combustión completa estequiométrica, se requiere una cierta proporción del combustible con respecto al aire. Una medida de cómo se compara la proporción real del combustible con respecto al aire con la proporción estequiométrica del combustible con respecto al aire es la proporción de equivalencia (indicada como ϕ). La proporción de equivalencia se calcula dividiendo la proporción real del combustible con respecto al aire entre la proporción estequiométrica del combustible con respecto al aire. Los valores de la proporción de equivalencia superiores a 1 indican condiciones ricas en combustible.

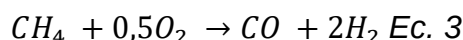
Un motor 100 que funciona de acuerdo con la combustión completa estequiométrica normalmente se hace funcionar para extraer trabajo útil y calor. Sin embargo, diferentes realizaciones pueden comprender hacer funcionar el motor 100 en condiciones distintas a las estequiométricas para utilizar el motor 100 como reactor químico. Ciertas realizaciones pueden utilizar condiciones ricas en combustible (es decir, menos de la cantidad estequiométrica de oxígeno

para quemar todo el hidrocarburo) para oxidar parcialmente el hidrocarburo. Sin pretender limitarse a un mecanismo de acción específico, en algunas condiciones, el motor 100 puede funcionar como un reformador para producir gas de síntesis que comprende hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO) de

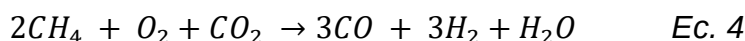
5 acuerdo con la reacción química dada por la Ecuación 2:



Si el hidrocarburo es metano (CH₄), entonces la reacción de oxidación parcial está dada por la Ecuación 3:



10 Además, posiblemente se prevean otras reacciones tales como la combustión completa (Ecuación 1), reacciones de reforma tales como las Ecuaciones 4 y 5 (mostradas para el metano) y otras reacciones de reforma y combustión conocidas.



15 $4CH_4 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4CO + 10H_2 \quad Ec. 5$

La FIG. 2 es un diagrama esquemático de un proceso 200 de acuerdo con diferentes realizaciones en el que el motor de combustión 100 puede utilizarse como un reactor químico para producir, por ejemplo, gas de síntesis. Como se ha analizado anteriormente, la carga al motor 100 puede comprender un oxidante y un combustible. El oxidante puede comprender aire, aire enriquecido o un gas que contenga suficiente oxígeno. El oxidante puede pasar a través de un filtro 205 para la retirada de partículas y otros contaminantes sólidos, así como contaminantes líquidos o gaseosos tales como el agua. El flujo del oxidante puede ser controlado por un regulador 210. El regulador 210 puede comprender cualquier dispositivo de regulación de flujo conocido en la técnica, y puede

20

25

controlarse manual o electrónicamente. La presión del oxidante puede aumentarse mediante un sobrealimentador 215. El sobrealimentador 215 actúa como un compresor para aumentar la presión, permitiendo así que se administre más oxígeno a cada cilindro 105 del motor 100. El sobrealimentador 215 puede ser accionado por un motor eléctrico, o puede ser alimentado de otra manera, tal como utilizando la energía residual de la corriente de escape del motor 100 u otra corriente del proceso. El oxidante también puede pasar a través de un calentador 220 para aumentar la temperatura del oxidante antes de entrar al motor 100. El calentador 220 puede utilizar bobinas de calentamiento alimentadas eléctricamente, o un intercambiador de calor que extraiga la energía de una corriente del proceso, tal como la corriente de escape del motor 100 (véase, por ejemplo, la FIG. 4). El combustible también puede pasar a través de un filtro 225 para la retirada de los contaminantes sólidos, líquidos o gaseosos, y a través de un regulador de flujo 230. La temperatura de la corriente de combustible puede aumentarse mediante un calentador 235 que funcione de manera similar al calentador 220 del oxidante. Un mezclador 240 puede mezclar el oxidante y el combustible en una proporción deseada para formar la carga administrada a cada cilindro 105 del motor 100. El motor 100 puede oxidar parcialmente la carga como se ha descrito anteriormente, produciendo gas de síntesis en la corriente de escape. El funcionamiento del motor 100 también puede producir energía mecánica y calor.

En diferentes realizaciones, el proceso 200 puede comprender además una unidad central de procesamiento (no mostrada). La unidad central de procesamiento puede estar en comunicación con y ser capaz de activar y controlar uno o más de los componentes individuales del proceso 200. La unidad

central de procesamiento puede ser capaz de almacenar y ejecutar un código informático para iniciar el funcionamiento del proceso 200 en respuesta a las condiciones operativas controladas del motor 100 y al análisis del gas de síntesis producido por el motor 100. Por ejemplo, se puede controlar la proporción del H₂ con respecto al CO en la corriente de escape del motor 100, y la unidad central de procesamiento puede ajustar uno o más de los componentes individuales del proceso 200 en respuesta a la proporción controlada del H₂ con respecto al CO. Además, la unidad central de procesamiento puede ajustar uno o más de los componentes individuales del proceso 200 en respuesta a los parámetros controlados del motor 100, tales como la temperatura de combustión en uno o más cilindros 105, la presión de entrada, la presión de escape, y similares.

La FIG. 3 es un diagrama esquemático de un proceso 300 de acuerdo con diferentes realizaciones en el que un motor de combustión 100 puede utilizarse como un reactor químico para producir, por ejemplo, gas de síntesis. La FIG. 3 ilustra que el motor 100 puede estar acoplado a un generador 305 para convertir la energía mecánica producida por el motor 100 en energía eléctrica. La energía eléctrica puede usarse para alimentar el calentador 220 del oxidante, el calentador de gas 235, o con cualquier otro fin.

La FIG. 4 es un diagrama esquemático de un proceso 400 de acuerdo con diferentes realizaciones en el que un motor de combustión 100 puede utilizarse como un reactor químico para producir, por ejemplo, gas de síntesis. En el proceso 400, se puede utilizar el calor residual del gas de síntesis para calentar el oxidante y el combustible. El calentador 220 del oxidante y el calentador 235 del combustible pueden comprender intercambiadores de calor para transferir calor del gas de síntesis al oxidante y las corrientes de combustible. Los

intercambiadores de calor pueden ser de cualquier tipo conocido en la técnica, tal como de carcasa y tubo, de placa y carcasa, y aleta de placa, y pueden funcionar en, por ejemplo, una configuración de flujo paralelo, de contraflujo o de flujo cruzado.

5 Los motores 100 que funcionan en condiciones ricas en combustible pueden ser susceptibles a una combustión anómala conocida como detonación o golpeteo. El golpeteo se produce cuando un bolsillo de la carga se enciende fuera de un frente de llama creado por la chispa, y puede hacer que la presión dentro del cilindro 105 se eleve más allá de los límites del diseño. Este aumento
10 de presión tiene el potencial de agujerear el pistón 115 o el cabezal 130, conduciendo a un fallo catastrófico del motor 100.

Diferentes realizaciones comprenden métodos para arrancar el motor 100 para que llegue a funcionar en condiciones ricas en combustible y funcionar posteriormente en condiciones de estado estacionario sin (o con un mínimo de)
15 golpeteo. La FIG. 5 ilustra un diagrama de flujo general de diferentes realizaciones de un método 500 para arrancar el motor 100 para que llegue a funcionar en condiciones ricas en combustible. El motor 100 puede arrancarse usando un gas entrante que tenga una proporción de equivalencia de combustible-aire inicial en la etapa 505. La proporción de equivalencia de
20 combustible-aire puede aumentarse gradualmente en la etapa 510 para generar un gas entrante rico en combustible. En la etapa 515, se pueden ajustar uno o más de los siguientes mientras se aumenta la proporción de equivalencia de combustible-aire para mantener una velocidad del motor de entre aproximadamente 1.000 y 2.000 rpm y una temperatura de un gas de escape
25 inferior a aproximadamente 900 °C: el regulador 210, un tiempo de encendido,

una carga acoplada al motor 100, una presión del combustible, la potencia del sobrealimentador 215 que actúa sobre el gas entrante y la potencia del precalentador 220, 235 que actúa sobre el gas entrante.

Antes del arranque del motor 100, se pueden establecer las condiciones operativas iniciales de modo que la presión del combustible sea un valor normalmente inferior al de la presión ambiente (para el arranque del motor puede ajustarse la presión del combustible a un calibre de 0 Pa), el regulador 210 se abre parcialmente hasta un valor predeterminado, normalmente, inferior al 50 %, se establece el tiempo de encendido en un primer valor predeterminado, y se acopla la carga al motor 100. En diferentes realizaciones, el tiempo de encendido determina cuándo es generada una chispa por la bujía 155, y se mide con respecto a una posición de rotación del cigüeñal 120 cuando el pistón 115 está en el PMS. El tiempo de encendido, en general, puede avanzarse para generar la chispa antes de que el pistón 115 alcance el PMS. El avance del tiempo de encendido permite que la combustión (o la cantidad deseada de combustión parcial) de la carga se complete cerca del punto donde el pistón 115 alcanza el PMS. El tiempo de encendido normalmente se expresa como los grados de movimiento rotacional del cigüeñal 120 antes de que el pistón 115 alcance el PMS, o simplemente como los grados antes del punto muerto superior (APMS). En diferentes realizaciones, el primer valor del tiempo de encendido predeterminado puede ser de aproximadamente 8 grados APMS, o de aproximadamente 5 a aproximadamente 15 grados APMS. En otras realizaciones, el primer valor predeterminado del tiempo de encendido puede ser de hasta aproximadamente 30 grados APMS.

Tras iniciarse el arranque del motor 100 y permitir que el motor 100 gire

durante un corto período de tiempo hasta que el motor se enciende, normalmente, se puede aumentar la presión del combustible hasta casi la presión ambiente para permitir que el motor 100 funcione por sí solo. Se debe controlar la velocidad del motor tras el arranque. El tiempo de encendido puede

5 avanzar gradualmente hasta un segundo valor predeterminado mientras se añade carga para mantener la velocidad del motor entre aproximadamente 1.000 y 2.000 rpm. El segundo valor del tiempo de encendido predeterminado puede ser de aproximadamente 16 grados APMS. En otras realizaciones, el segundo valor del tiempo de encendido predeterminado puede variar de

10 aproximadamente 8 grados a aproximadamente 28 grados APMS, preferentemente, entre aproximadamente 10 y aproximadamente 20 grados APMS.

Como se ha analizado anteriormente, el sobrealimentador 215 puede ser alimentado en ciertas realizaciones por un motor eléctrico. En dichas

15 realizaciones, el sobrealimentador 215 puede ser alimentado inicialmente, y luego se puede aumentar gradualmente la potencia mientras aumenta gradualmente la presión del combustible para mantener la velocidad del motor entre aproximadamente 1.000 a 2.000 rpm. En diferentes realizaciones, el sobrealimentador 215 puede alimentarse inicialmente a un valor predeterminado

20 inicial, normalmente, una configuración que suministra aire similar a la aspiración natural del motor, y aumentarse gradualmente hasta un segundo valor predeterminado en incrementos que son de aproximadamente el 10 % al 15 % del intervalo entre esas configuraciones. En diferentes realizaciones, la presión del combustible puede aumentarse gradualmente en aproximadamente 24,9 Pa,

25 aunque se pueden usar incrementos mayores.

El regulador 210 puede aumentarse gradualmente desde el ajuste inicial usando incrementos que crecen del 1 % al 10 % hasta que se alcanza una posición final del regulador de aproximadamente el 90 % de apertura. Mientras aumenta el regulador 210, se puede aumentar la presión del combustible para
5 mantener la velocidad del motor entre aproximadamente 1.000 y 2.000 rpm. Si el rendimiento del motor 100 cae rápidamente mientras se añade presión del combustible, entonces la mezcla de combustible y aire puede ser demasiado rica. En esta situación, se puede disminuir la presión del combustible y usarse la carga para controlar la velocidad del motor. También se puede controlar la
10 temperatura de los gases de escape, y debería mantenerse a menos de 900 °C modificando una o más de entre la presión del combustible, el regulador 210 y la carga del motor.

Los precalentadores 220, 235 pueden alimentarse inicialmente de manera que los precalentadores 220, 235 mantengan la temperatura de la carga a
15 aproximadamente 200 °C antes de entrar por el orificio de entrada 145. El tiempo de encendido puede entonces avanzar más allá del APMS. Como se conoce en la técnica, el tiempo de encendido óptimo y el proceso específico para avanzar el tiempo de encendido dependerán de muchos factores que incluyen, entre
20 otros, las condiciones del combustible (temperatura, presión, presencia de contaminantes, etc.), el tiempo de inyección de combustible, el tipo y el estado del sistema de encendido, la velocidad del motor, la carga del motor y el tipo específico de motor usado. Se puede aumentar la potencia aplicada al sobrealimentador 215 gradualmente para aumentar la velocidad de alimentación del aire. A medida que aumenta la potencia del sobrealimentador y los
25 precalentadores 220, 235 se calientan, se puede mantener la velocidad del motor

entre aproximadamente 1.000 y 2000 rpm ajustando la presión del combustible y la carga. Una vez que se alcanza el rendimiento deseado del motor, se pueden interrumpir los aumentos de potencia del sobrealimentador.

Una vez que los precalentadores 220, 235 alcanzan aproximadamente
5 200 °C, se puede aumentar la temperatura del precalentador en incrementos predeterminados, normalmente no superiores al 15 % de la configuración para evitar sobrepasar la temperatura establecida. Como se conoce en la técnica, el uso de sistemas de control automatizados puede permitir mayores incrementos de la temperatura sin aumentar el riesgo de sobrepasar la temperatura
10 establecida. Se puede ajustar la presión del combustible para mantener la velocidad del motor entre aproximadamente 1.000 y 2.000 rpm mientras se aumenta la temperatura del precalentador. Una vez que se obtiene la proporción de equivalencia de combustible-aire deseada, se pueden interrumpir los aumentos adicionales de la temperatura del precalentador. En diferentes
15 realizaciones, la proporción de equivalencia de combustible-aire deseada puede ser de aproximadamente 1,6 a 2,4.

Si el motor 100 pierde estabilidad repentinamente mientras aumenta la temperatura del precalentador, una temperatura operativa dentro del cilindro 105 puede ser demasiado alta para la proporción del combustible con respecto al aire
20 en ese momento a la presión del colector de ese momento. En esta situación, se puede apagar la fuente de alimentación de los precalentadores 220, 235 hasta que se recupere la estabilidad, y luego se puede volver a encender la fuente de alimentación de los precalentadores 220, 235, y se puede reanudar el aumento de la temperatura de los precalentadores y de la presión del combustible.

25 Si bien el aire se suele usar para suministrar el oxidante en la carga, se

puede usar aire enriquecido (por ejemplo, hasta aproximadamente el 35 por ciento en volumen de O₂) en diferentes realizaciones. El uso de aire enriquecido puede aumentar el rendimiento del motor, reducir los costes aguas abajo por unidad de rendimiento y mejorar la extracción de productos líquidos y la actividad del catalizador. También se puede usar aire humidificado o adición de vapor a la alimentación de gas. El aumento de la humedad o la adición de vapor adicional aumenta la concentración de vapor de agua en el cilindro, lo que permite mayores rendimientos de hidrógeno a través de reacciones de reforma con vapor como se describe en la Ec. 5 anterior.

Si bien el metano se usa en el presente documento para describir el combustible predominante, se puede usar varias composiciones de combustible de hidrocarburos en distintas realizaciones. El funcionamiento del sistema, en muchos casos, utilizará metano tomado de tuberías de gas natural, gas asociado de pozos petrolíferos, corrientes de gas residual que normalmente se quemarían, corrientes de biogás y otras corrientes de hidrocarburos ligeros gaseosos. El gas natural de la tubería está compuesto principalmente de metano, pero tendrá niveles de etano entre el 1 y 6 %, y trazas de otros hidrocarburos, dióxido de carbono, nitrógeno y otras moléculas. De manera análoga, el gas asociado procedente de los pozos petrolíferos tendrá altas concentraciones de etano e hidrocarburos superiores, normalmente, denominados líquidos de gas natural, tales como propano, butano, pentano y hexano. En algunos casos, los líquidos de gas natural se extraen antes de que el gas natural restante se recoja por la tubería, se utilice o se queme. El funcionamiento del motor para producir gas de síntesis podría realizarse con este combustible con o sin la eliminación de los líquidos de gas natural al adaptar los parámetros operativos para mantener la

conversión y evitar la producción de hollín. Otra corriente de combustible para el motor podría ser la corriente de gas de diferentes procesos químicos, de fabricación o industriales, o sistemas de almacenamiento, ya sea como desechos o subproductos, y dichos combustibles pueden tener varios hidrocarburos ligeros. Cuando estas corrientes tienen una concentración de combustible lo suficientemente alta (dependiendo de la composición del combustible) o se pueden tratar para alcanzar dichas concentraciones, se prevé que estas sean posibles fuentes de combustible para la producción de gas de síntesis para utilizar estas corrientes. Además, existen muchas fuentes de biogás que se pueden usar como combustible para la producción de gas de síntesis utilizando un motor. Para los fines de la presente invención, el biogás se define como la corriente gaseosa producida por la degradación de los materiales de biomasa que contienen predominantemente metano y dióxido de carbono con otros componentes traza conocidos en el campo del biogás. Son ejemplos de fuentes de biogás los vertederos, los sitios para el tratamiento de desechos animales y las plantas de tratamiento de aguas residuales. En los usos del biogás, puede ser necesario un tratamiento previo para eliminar algo de dióxido de carbono (dependiendo de la concentración) del combustible a fin de hacer que el motor funcione eficazmente, aunque no se requiere la eliminación completa para el funcionamiento del motor. El funcionamiento del motor es generalmente tolerante a la presencia de dióxido de carbono. Como se describe en la composición del gas natural, el etano normalmente se encuentra en las corrientes de gas natural. Otras realizaciones pueden usar más etano como combustible o mezclado con gas natural como combustible. La adición de hidrógeno a la corriente de combustible también puede proporcionar beneficios

en algunas realizaciones con diferentes composiciones de combustible. Este hidrógeno podría obtenerse de fuentes externas o reciclarse del funcionamiento del motor o de procesos aguas abajo. Una realización sería reciclar el hidrógeno eliminado selectivamente del gas de escape del motor o reciclar una fracción del escape del motor.

Una vez que se logra el arranque del motor 100 para alcanzar condiciones ricas en combustible (tal como mediante la implementación, por ejemplo, del método descrito anteriormente en referencia a la FIG. 5), la FIG. 6 ilustra otro diagrama de flujo general de diferentes realizaciones de un método 600 para el funcionamiento continuo del motor 100 en condiciones ricas en combustible. En la etapa 605, se puede mantener un conjunto inicial de condiciones operativas tras el arranque del motor 100 para una contrapresión de escape, una presión del colector de admisión, la velocidad del motor, el tiempo de encendido, la proporción de equivalencia de gas combustible-aire y la temperatura de entrada del gas combustible. La temperatura de entrada del gas combustible puede aumentarse en la etapa 610 aumentando la potencia al precalentador mientras se mantiene la proporción de equivalencia de combustible-aire. Se puede controlar un contenido de metano y oxígeno (suponiendo que el metano es el hidrocarburo del combustible) del gas de escape. El tiempo de encendido puede ajustarse en la etapa 615 en respuesta al contenido de metano y oxígeno controlado.

En diferentes realizaciones, la contrapresión de escape operativa inicial puede estar entre aproximadamente la presión ambiente y 500 kPa absolutos, la presión del colector de admisión operativa inicial puede estar entre aproximadamente la presión ambiente y 200 kPa absolutos, la velocidad

operativa inicial del motor puede estar entre aproximadamente 1000-2000 rpm, el tiempo de encendido operativo inicial puede estar entre aproximadamente 25 y 35 grados APMS, la proporción de equivalencia de combustible-aire operativa inicial puede estar entre aproximadamente 1,6 y 2,4, y la temperatura inicial del gas combustible puede estar entre aproximadamente 200 °C y 270 °C. La FIG. 7 ilustra intervalos aproximados de temperatura de gas combustible para proporciones de equivalencia de combustible-aire que varían de 1 a 2.

En diferentes realizaciones, el ajuste del tiempo de encendido en respuesta al metano y oxígeno controlados comprende controlar el deslizamiento del metano y del oxígeno (es decir, metano y oxígeno sin reaccionar que pasan a través del motor 100). Si el contenido de metano del gas de escape o el contenido de oxígeno del gas de escape superan los niveles aceptables, se puede avanzar el tiempo de encendido para reducir el deslizamiento. Se puede controlar la temperatura de los gases de escape mientras se avanza el tiempo de encendido para que la temperatura del gas de escape permanezca dentro del intervalo especificado en la FIG. 7. En diferentes realizaciones, en lugar de avanzar el tiempo de encendido de todos los cilindros 105 del motor 100 por igual, se puede ajustar el tiempo de encendido individualmente para cada cilindro 105 de manera que la variabilidad de la temperatura del gas de escape de cada cilindro 105 individual esté dentro de un intervalo de aproximadamente 75 °C.

En las condiciones operativas en estado esencialmente estacionario, la FIG. 8 ilustra la proporción esperada del H₂ con respecto al CO en el gas de escape para una proporción de equivalencia de combustible-aire dada. Así pues, el motor 100 puede ajustarse para producir una proporción deseada del H₂ con respecto al CO según sea necesario para los procesos de aguas abajo. La FIG.

9 ilustra la conversión fraccionada del gas natural como combustible para el motor 100 para una proporción de equivalencia de combustible-aire dada. De acuerdo con diferentes realizaciones, se puede usar la FIG. 8 para determinar la proporción de equivalencia de combustible-aire necesaria para producir una proporción deseada del H_2 con respecto al CO , y luego se puede usar la FIG. 9 para determinar la conversión fraccionada esperada del combustible que se puede producir en la proporción de equivalencia de combustible-aire seleccionada.

EJEMPLO

10 Se configuró un sistema de motor para producir gas de síntesis con gas natural procedente del gaseoducto local de gas natural. Se configuró un motor de 8 cilindros encendido por chispa, de 8,8 l, disponible en el mercado en un sistema para producir gas de síntesis en condiciones ricas en combustible. Se tomó aire del entorno circundante y se usó un sobrealimentador para aumentar la presión hasta una presión del colector de admisión de casi 200 kPa. El gas natural se suministró desde la tubería de servicios públicos que cumple con las especificaciones normales de EE. UU. para el gas natural de gaseoducto. La composición típica a lo largo de las series descritas fue del 95 % en volumen de metano (CH_4), 4 % en volumen de etano (C_2H_6), 1 % en volumen de dióxido de carbono (CO_2) y componentes traza sin medir. Las mezclas de aire y gas natural se calentaron por encima de 200 °C antes de la mezcla. Entonces se proporcionó la alimentación mixta a los cilindros del motor a través del colector de admisión. Con la ayuda del encendido por chispa, la alimentación se convirtió en gas de síntesis en el cilindro. El motor funcionó a una velocidad de 1.500 rpm y las temperaturas de los gases de escape se mantuvieron por debajo de 900 °C. El

gas de síntesis producido se recogió a través del colector de escape y se mantuvo a una presión de entre 400 y 500 kPa mediante el uso de la regulación de la presión aguas abajo.

La Tabla 1 presenta la composición del gas de síntesis (media de cuatro series) de este ejemplo con el funcionamiento del motor 100 de acuerdo con la presente divulgación.

Tabla 1. Composición del gas de síntesis

Componente del gas de síntesis	Porcentaje en volumen (seco)
H ₂	22,3
CO	14,5
O ₂	0,15
CO ₂	2,9
CH ₄	1,3
N ₂	58,9

El ejemplo anterior es solo para fines ilustrativos y no restringe la invención a los procesos usados en el ejemplo.

En general, los términos tales como "comunicarse" y las expresiones tales como "en comunicación con" (por ejemplo, un primer componente "se comunica con" o "está en comunicación con" un segundo componente) se usan en el presente documento para indicar una relación estructural, funcional, mecánica, eléctrica, de señalización, óptica, magnética, electromagnética, iónica o fluídica entre dos o más componentes o elementos. Como tal, el hecho de que se diga que un componente se comunica con un segundo componente no pretende excluir la posibilidad de que componentes adicionales puedan estar presentes entre y/o asociados o conectados operativamente con, el primer y el segundo

componente.

Se entenderá que diferentes aspectos o detalles de la invención pueden cambiarse sin apartarse del alcance de la invención. Además, la descripción anterior es solo con fines ilustrativos, y no con fines de limitación: la invención

5 está definida por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir un gas de síntesis en un motor de combustión interna (100) en condiciones ricas en combustible, caracterizado porque
5 comprende:
 - arrancar el motor (100) usando un gas entrante que tiene una proporción de equivalencia de combustible-aire inicial;
 - aumentar gradualmente la proporción de equivalencia de combustible-aire para generar un gas entrante rico en combustible; y
 - 10 ajustar, mientras se aumenta la proporción de equivalencia de combustible-aire, uno o más de entre un regulador (210), un tiempo de encendido, una carga acoplada al motor (100), una presión del combustible, la potencia de un sobrealimentador (215) que actúa sobre el gas entrante o parte del gas entrante, la potencia de un precalentador (220, 235) que actúa sobre el
15 gas entrante mientras se mantiene una proporción de equivalencia de combustible-aire de entre 1,6 a 2,4.
2. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque el gas entrante
20 comprende compuestos de hidrocarburo y una corriente que contiene oxígeno.
3. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque comprende además establecer las condiciones iniciales antes de arrancar el motor (100) como al menos una de entre la presión del combustible predeterminada, el regulador (210) parcialmente abierto, un primer valor predeterminado del tiempo
25 de encendido y una carga acoplada al motor (100).

4. El método de la reivindicación 3, caracterizado porque ajustar el regulador (210) parcialmente abierto comprende ajustar el regulador (210) en un ajuste predeterminado por debajo del 50 %.

5

5. El método de la reivindicación 3, caracterizado porque ajustar el primer valor predeterminado del tiempo de encendido comprende ajustar el tiempo de encendido de entre 5 a 12 grados antes del punto muerto superior (APMS).

10 6. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque el arranque del motor 100 comprende ajustar la presión del combustible a un calibre de 0 Pa y permitir que arranque el motor (100).

15 7. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque se mantiene una velocidad del motor (100) entre 1.000 y 2.000 revoluciones por minuto (rpm) y una temperatura de un gas de escape inferior a 900 °C.

8. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque ajustar el tiempo de encendido comprende avanzar el tiempo de encendido hasta un segundo
20 valor predeterminado mientras se aumenta la carga del motor 100 para mantener la velocidad del motor (100) entre 1.000 y 2.000 rpm.

9. El método de la reivindicación 8, caracterizado porque el segundo valor predeterminado del tiempo de encendido está entre 8 grados APMS y 28 grados
25 APMS.

10. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque ajustar la potencia del sobrealimentador (215) comprende alimentar inicialmente el sobrealimentador (215).

5

11. El método de la reivindicación 10, caracterizado porque comprende además aumentar la potencia del sobrealimentador (215) mientras se aumenta la presión del combustible para mantener la velocidad del motor (100) entre 1.000 y 2.000 rpm.

10

12. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque ajustar el regulador (210) comprende aumentar el regulador (210) mientras se aumenta la presión del combustible y la carga del motor (100) para mantener la velocidad del motor (100) entre 1.000 y 2.000 rpm.

15

13. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque comprende además controlar la temperatura del gas de escape y modificar uno o más de entre la presión del combustible, el regulador (210) y la carga del motor (100) para mantener la temperatura del gas de escape por debajo de 900°C.

20

14. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque ajustar la potencia del precalentador (220, 235) comprende alimentar inicialmente el precalentador (220, 235).

25 15. El método de la reivindicación 14, caracterizado porque comprende

además ajustar el precalentador (220, 235) a una temperatura inicial y aumentar la presión del combustible a medida que aumenta la temperatura del precalentador (220, 235) mientras se mantiene la velocidad del motor (100) entre 1.000 y 2.000 rpm.

5

16. El método de la reivindicación 15, caracterizado porque la temperatura inicial del precalentador (220, 235) es de 200 °C.

17. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque comprende
10 además ajustar el tiempo de encendido a un tercer valor predeterminado.

18. El método de la reivindicación 17, caracterizado porque el tercer valor predeterminado del tiempo de encendido es de entre 20 a 30 grados APMS.

15 19. El método de la reivindicación 11, caracterizado porque comprende además aumentar la potencia del sobrealimentador (215) mientras se ajusta la presión del combustible y la carga del motor (100) para mantener la velocidad del motor (100) entre 1.000 y 2.000 rpm hasta que se alcanza el rendimiento volumétrico deseado del motor (100).

20

20. El método de la reivindicación 15, caracterizado porque comprende además, cuando el precalentador (220, 235) alcanza la temperatura inicial, aumentar la temperatura del precalentador (220, 235) mientras se ajusta la presión del combustible para mantener la velocidad del motor (100) entre 1.000
25 y 2.000 rpm hasta que la equivalencia de combustible-aire alcance un valor de

entre 1,6 a 2,4.

21. El método de la reivindicación 1, caracterizado porque la proporción de equivalencia de combustible-aire inicial del gas combustible es de 1.

5

22. Un método para hacer funcionar un motor de combustión interna (100) en condiciones ricas en combustible, caracterizado porque comprende:

mantener un conjunto de condiciones operativas de mantenimiento tras el arranque del motor (100) para una contrapresión de escape, una presión del colector de admisión, una velocidad del motor (100), un tiempo de encendido, una proporción de equivalencia de gas combustible-aire y una temperatura de entrada de gas combustible;

aumentar la temperatura de entrada del gas combustible mientras se mantiene la proporción de equivalencia de gas combustible-aire y el control del contenido de metano y oxígeno de un gas de escape del motor (100); y

ajustar el tiempo de encendido en respuesta al contenido controlado de metano y oxígeno donde la proporción de equivalencia de gas combustible-aire operativa es de entre 1,6 a 2,4.

23. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque la contrapresión de escape operativa inicial es de entre la presión ambiente y 500 kPa absolutos.

24. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque la presión del colector de admisión operativa está entre la presión ambiente y 200 kPa absolutos.

25. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque la velocidad operativa inicial del motor (100) está entre 1.000 y 2.000 revoluciones por minuto (rpm).

5

26. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque el tiempo de encendido operativo inicial está entre 25 y 35 grados antes del punto muerto superior (APMS).

10 27. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque la temperatura de entrada de gas combustible operativa inicial está entre 200 °C y 270 °C.

28. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque ajustar el tiempo de encendido en respuesta al contenido controlado de metano y oxígeno
15 comprende avanzar el tiempo de encendido si el contenido controlado de metano u oxígeno aumenta más allá de los niveles aceptables.

29. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque comprende además controlar la temperatura del gas de escape de cada cilindro (105) del
20 motor (100).

30. El método de la reivindicación 29, caracterizado porque comprende además ajustar individualmente un tiempo de encendido de cada cilindro (105) para reducir la variabilidad en la temperatura del gas de escape de cada cilindro
25 (105) dentro de un intervalo de 75 °C.

31. El método de la reivindicación 22, caracterizado porque el gas de escape comprende una combinación de al menos dos de entre hidrógeno (H_2), monóxido de carbono (CO), nitrógeno (N_2), vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2) y componentes traza.
32. Un sistema reformador de gas caracterizado porque realiza el método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
33. El sistema reformador de gas de la reivindicación 32, caracterizado porque el sistema reformador de gas produce un gas de síntesis.
34. El sistema reformador de gas de la reivindicación 33, caracterizado porque el gas de síntesis comprende hidrógeno (H_2) y monóxido de carbono (CO).
35. Un sistema reformador de gas, que tiene:
un motor de combustión interna (100) que tiene una entrada (145) de gas combustible, una salida (150) de gas de escape, una pluralidad de cilindros (105), un sistema de temporización del encendido, un regulador (210), un precalentador (220, 235) de gas combustible y un sobrealimentador (215);
caracterizado porque el motor de combustión interna (100) funciona con una proporción de equivalencia de gas combustible-aire de entre 1,6 y 2,4.
36. El sistema reformador de gas de la reivindicación 35, caracterizado

porque el motor de combustión interna (100) ajusta individualmente una proporción de equivalencia de gas combustible-aire, una temperatura de entrada del gas combustible, una presión del colector de entrada, un tiempo de encendido, una velocidad del motor (100), una presión del colector de escape y
5 una temperatura del gas de escape.

37. El sistema reformador de gas de la reivindicación 35, caracterizado porque el motor de combustión interna (100) produce un gas de escape que comprende hidrógeno (H_2) y monóxido de carbono (CO).
10



SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT: 800.176.089-2

COMPROBANTE DE RECAUDO SISTEMA SIPI

Radicado: NC2020/0002404
Recibo: 22-30780
Fecha: 12/04/2022

JUAN CARLOS CUESTA QUINTERO
CC: 79.339.809
Pago PSE No: 659900
CUS: 1409856861

Patente PCT

MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA COMO REACTOR QUÍMICO PARA PRODUCIR GAS DE SÍNTESIS A PARTIR DE SUMINISTROS DE HIDROCARBURO

Detalle del pago

Id.	Rentístico	Concepto y Servicio	Cant.	Val. Unit.	Subtotal
1	50005-01-03	Modificaciones / Correcciones al registro Patente PCT (DESCUENTO INTERNET)	1	\$ 176,000	\$ 176,000
TOTAL					\$ 176,000