

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 657 017**

51 Int. Cl.:

F02D 19/06 (2006.01)

F02D 19/08 (2006.01)

H01M 8/06 (2006.01)

H01M 8/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.06.2012 PCT/US2012/044226**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.01.2013 WO13003363**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.06.2012 E 12803856 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.12.2017 EP 2726188**

54 Título: **Sistemas de motor y métodos de operación de un motor**

30 Prioridad:

30.06.2011 US 201113174706

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

01.03.2018

73 Titular/es:

**LG FUEL CELL SYSTEMS, INC. (100.0%)
6065 Strip Avenue NW
North Canton OH 44720, US**

72 Inventor/es:

SCOTTO, MARK VINCENT

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 657 017 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistemas de motor y métodos de operación de un motor

Derechos gubernamentales sobre la patente

5 Esta invención se ha realizado con ayuda del gobierno según DE-FC26-08NT01911, concedida por el Departamento de Energía. El gobierno posee ciertos derechos sobre esta invención.

Campo de la invención

La presente invención se refiere a motores y, más particularmente, a motores suministrados con combustible reformado, y a métodos para la operación de tales motores.

Antecedentes

10 Los sistemas de motor que usan eficazmente combustible reformado siguen siendo un área de interés. Algunos sistemas existentes tienen diversas deficiencias, inconvenientes y desventajas respecto a ciertas aplicaciones. Por consiguiente, sigue habiendo una necesidad de contribuciones adicionales en esta área de la tecnología.

15 El documento US 4.108.114 describe un reformador de combustible para llevar a cabo una reacción de reformado de combustible que da un combustible gaseoso que contiene como componentes combustibles al menos uno de hidrógeno y CO, por oxidación parcial del combustible sin usar ningún catalizador, en donde el reformador comprende una única cámara de reacción, un pistón, un intercambiador de calor, un medio fluido y un medio de inyección de combustible.

20 El documento US 3.963.000 describe un sistema para la preparación de una mezcla de combustible para alimentar a un motor, que comprende medios para preparar una primera mezcla gaseosa de un combustible orgánico, oxígeno y agua, una cámara de reacción con un catalizador capaz de convertir la primera mezcla en una segunda mezcla gaseosa de hidrógeno y CO a temperaturas elevadas, medios para calentar el catalizador, y un compresor alternativo que tiene al menos una cámara de trabajo definida por encima de un pistón y que está provista de una válvula de admisión y una válvula de descarga.

25 El documento JP 2001050118 describe una válvula de inyección de combustible con un equipo de reformado de combustible de un motor de combustión interna.

El documento US 4.676.805 describe un método de operación de un generador de gas de oxidación parcial no catalítico para la producción de gas de síntesis, gas reductor o gas combustible.

30 El documento US 2007/0269691 describe un reformador que comprende una unidad de suministro de oxígeno que convierte un combustible de reformado que contiene hidrógeno en un gas de reformado que comprende principalmente hidrógeno, una unidad de la reacción de combustión, que calienta la unidad de la reacción de reformado; y una unidad de suministro de oxígeno, que suministra un gas que tiene una razón en volumen de oxígeno mayor que la razón en volumen de oxígeno del aire, a la unidad de la reacción de combustión.

35 El documento WO 2011/029024 A1 describe un generador de gas reductor para poner en marcha y parar una celda de combustible, que comprende una fuente de oxidante estructurada para suministrar un oxidante de bajo contenido de oxígeno, una entrada de combustible, una cámara de combinación, un reactor catalítico y una salida de gas reductor.

Compendio

40 En la reivindicación 1 se define un método de operación de un motor según la presente invención. En la reivindicación 9 se define un sistema de motor según la presente invención. En las reivindicaciones dependientes se definen los elementos preferidos.

Breve descripción de los dibujos

La descripción en la presente memoria hace referencia a los dibujos adjuntos, en donde los números de referencia similares se refieren a partes similares a través de las diversas vistas, y en donde:

45 La FIG. 1 representa esquemáticamente un sistema de celda de combustible según una realización útil para comprender la presente invención.

La FIG. 2 representa esquemáticamente el sistema de celda de combustible de la FIG. 1 en mayor detalle, incluyendo un generador de gas reductor según una realización útil para comprender la presente invención.

Las FIGS. 3A-3D son un diagrama de flujo que representa un método para poner en marcha y parar una celda de combustible usando un generador de gas reductor según una realización útil para comprender la presente invención.

La FIG. 4 es un gráfico que representa los parámetros de conversión catalítica en un reactor catalítico de un generador de gas reductor según una realización de la presente invención.

La FIG. 5 ilustra el contenido de compuestos inflamables en un gas reformado representado frente al porcentaje de oxígeno a una conversión constante de metano.

5 La FIG. 6 ilustra esquemáticamente algunos aspectos de un ejemplo no limitante de un sistema de oxidante según una realización de la presente invención.

La FIG. 7 ilustra esquemáticamente algunos aspectos de un ejemplo no limitante de un generador de gas reductor según una realización de la presente invención.

10 La FIG. 8 ilustra esquemáticamente algunos aspectos de un ejemplo no limitante de un sistema de motor según una realización de la presente invención.

Descripción detallada

Con fines de promover una comprensión de los principios de la invención, se hará referencia ahora a las realizaciones ilustradas en los dibujos, y se usará un lenguaje específico para describir las mismas. No obstante, debe entenderse que no se pretende limitar el alcance de la invención mediante la ilustración y descripción de ciertas realizaciones de la invención. Haciendo referencia ahora a las figuras y, en particular, a la FIG. 1, se representa un esquema de un sistema 10 de celda de combustible según una realización útil para comprender la presente invención. El sistema 10 de celda de combustible incluye uno o más de una celda 12 de combustible, e incluye un generador 14 de gas reductor. El sistema 10 de celda de combustible está configurado para proporcionar energía a una carga 16 eléctrica, por ejemplo, mediante el cableado 18 eléctrico. En la presente realización, la celda 12 de combustible es una celda de combustible de óxido sólido (SOFC), aunque se entenderá que la presente invención es igualmente aplicable a otros tipos de celdas de combustible, tales como celdas de combustible alcalinas, celdas de combustible de carbonato fundido (MCFC), celdas de combustible de ácido fosfórico (PAFC) y celdas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM). En la presente realización, el sistema 10 de celda de combustible es adecuado, pero sin que ello pretenda ser limitante, para su uso en un sistema híbrido de turbina de celda de combustible, donde se emplean corrientes de alimentación de alta presión.

El generador 14 de gas reductor de la presente realización está configurado para generar un gas reductor que tiene un contenido de combustibles (que son principalmente hidrógeno - H₂ y monóxido de carbono - CO) que puede variar dentro de un intervalo composicional de un contenido de combustibles de aproximadamente 3% a un contenido de combustibles de aproximadamente 45%. En otras realizaciones, pueden emplearse diferentes intervalos composicionales, por ejemplo, un intervalo de un contenido de combustibles de aproximadamente 2% a un contenido de combustibles de aproximadamente 50% en algunas realizaciones, y de un contenido de combustibles de aproximadamente 1% a un contenido de combustibles de aproximadamente 60% en otras realizaciones. Como se expone más adelante, el generador 14 de gas reductor de la presente realización está adaptado para producir un gas inicial en forma de un gas reductor que tiene como función principal proteger el ánodo de la celda 12 de combustible de la oxidación durante la puesta en marcha de la celda 12 de combustible, por ejemplo, durante el calentamiento del sistema antes de la generación de energía. Al iniciarse la generación de energía, el gas reductor experimenta una transición.

En la realización de la FIG. 1, se representan diversos elementos, componentes e interrelaciones entre los aspectos de una realización de la presente invención. Haciendo referencia ahora a la FIG. 2, se describen con mayor detalle la celda 12 de combustible y el generador 14 de gas reductor. La celda 12 de combustible incluye al menos cada uno de un ánodo 20, un electrolito 22, un cátodo 24 y un reformador 26. El ánodo 20, el electrolito 22 y el cátodo 24 se consideran parte de la celda 12 de combustible. El reformador 26 es un reformador de vapor interno que recibe vapor como un constituyente de una corriente de producto gaseoso reciclado de la celda de combustible, y calor para su operación a partir de las reacciones electroquímicas de la celda 12 de combustible. El generador 14 de gas reductor no es una parte de la celda 12 de combustible, aunque no obstante está configurado para generar gases para su uso en la puesta en marcha y parada de la celda 12 de combustible.

El ánodo 20 está acoplado eléctricamente a la carga 16 eléctrica mediante el cableado 18 eléctrico, y el cátodo 24 también está acoplado eléctricamente a la carga 16 eléctrica mediante el otro cableado 18 eléctrico. El electrolito 22 está dispuesto entre el ánodo 20 y el cátodo 24. El ánodo 20 y el cátodo 24 son eléctricamente conductores, y son permeables al oxígeno, por ejemplo, a iones oxígeno. El electrolito 22 está configurado para dejar pasar iones oxígeno, y tiene poca o ninguna conductividad eléctrica, por ejemplo, como para evitar el paso de electrones libres del cátodo 24 al ánodo 20.

El reformador 26 está acoplado al ánodo 20, y está configurado para recibir un combustible y un oxidante y reformar la mezcla combustible/oxidante en un gas de síntesis (*syngas*) que consiste principalmente en hidrógeno (H₂), monóxido de carbono (CO), así como otros subproductos de reformador, tales como vapor de agua en forma de vapor, y otros gases, por ejemplo, nitrógeno y dióxido de carbono (CO₂), metano sin reaccionar (CH₄), así como cantidades traza de hidrocarburo sin reaccionar. En la presente realización, el oxidante empleado por la celda 12 de combustible durante las operaciones normales, es decir, en el modo de producción de energía para suministrar

energía eléctrica a la carga 16 eléctrica, es aire, y el combustible es gas natural, aunque se entenderá que pueden emplearse otros oxidantes y/o combustibles.

5 El gas de síntesis se oxida en una reacción electroquímica en el ánodo 20 con los iones oxígeno recibidos desde el cátodo 24 por migración a través del electrolito 22. La reacción electroquímica crea vapor de agua y electricidad en una forma de electrones libres sobre el ánodo que se usan activar la carga 16 eléctrica. Los iones oxígeno se crean mediante una reducción del oxidante del cátodo usando los electrones que vuelven de la carga 16 eléctrica al cátodo 24.

10 Una vez puesta en marcha la celda 12 de combustible, los procesos internos mantienen la temperatura requerida para las operaciones normales de generación de energía. Sin embargo, para poner en marcha la celda de combustible, los componentes principales del sistema de celda de combustible deben calentarse, incluyendo el ánodo 20, el electrolito 22, el cátodo 24 y el reformador 26.

15 Además, algunos componentes de la celda 12 de combustible pueden protegerse del año durante la puesta en marcha, por ejemplo, debido a la oxidación. Por ejemplo, el ánodo 20 puede estar sometido a daño oxidativo en presencia de oxígeno a temperaturas por encima de la ambiente pero por debajo de la temperatura de operación normal de la celda 12 de combustible en ausencia del gas de síntesis. Asimismo, el reformador 26 puede necesitar una química específica, por ejemplo H₂O en forma de vapor además del calor proporcionado durante la puesta en marcha de la celda 12 de combustible, para iniciar las reacciones catalíticas que generan el gas de síntesis. Además, es deseable que la celda 12 de combustible se ponga en marcha de una manera segura, por ejemplo, para evitar que se forme una mezcla de combustible durante el proceso de puesta en marcha. Por lo tanto, puede ser deseable purgar el ánodo 20 con un gas reductor no inflamable durante la puesta en marcha inicial, a medida que aumenta la temperatura del ánodo 20. En un aspecto, una característica del generador 14 de gas reductor es que el gas reductor puede estar suficientemente diluido en los combustibles para evitar la formación potencial de una mezcla inflamable (es decir, potencialmente explosiva) tras el mezclado con aire. Esto puede ser deseable durante la parte de baja temperatura del calentamiento de la celda 12 de combustible, donde cualquier combustible que se mezcle con el aire está por debajo de la temperatura de auto-ignición, y por lo tanto, pueden acumularse potencialmente y formar cantidades peligrosas de gases inflamables potencialmente presurizados dentro de la vasija que contiene la celda 12 de combustible.

20 La potencia del gas reductor para proteger el ánodo 20 de la celda 12 de combustible de la migración del oxígeno puede ser bastante alta, por ejemplo, hasta un contenido de combustibles de 45% en la presente realización, hasta 30 50% en otras realizaciones, y un contenido de combustibles de hasta 60% en otras realizaciones más. Los mecanismos que provocan la migración de oxígeno a través del electrolito 22 al lado del ánodo 20 de la celda 12 de combustible a menudo son dependientes de la temperatura, e incluyen permeación de oxígeno a través del electrolito 22 o transferencia de oxígeno inducida por corrientes de cortocircuito. Asimismo, los mecanismos de filtración física pueden empeorar con la temperatura a medida que los materiales se expanden diferencialmente. Por lo tanto, la capacidad del generador 14 de gas reductor para aumentar el contenido de combustibles a altas 35 temperaturas de la celda 12 de combustible durante la puesta en marcha puede ser particularmente útil para proteger el ánodo 20 del daño por oxidación.

40 Desde una perspectiva de seguridad, puede ser posible pasar a una mayor potencia reductora a mayores temperaturas durante la puesta en marcha de la celda 12 de combustible, puesto que la posibilidad de mezclar el gas reductor con un volumen presurizado de aire para formar una mezcla de combustible en o cerca de la celda 12 de combustible se reduce si el gas reductor está por encima de la temperatura de auto-ignición, porque el gas reductor tendería a quemarse inmediatamente tras el mezclado con aire. Además, esto puede evitar la acumulación de una mezcla inflamable que puede deflagrar potencialmente si la mezcla entrar en contacto repentino con una fuente de ignición, puesto que cualquiera de estas mezclas tendería a quemarse inmediatamente cuando está por encima de la temperatura de auto-ignición, en lugar de acumularse una gran cantidad de la mezcla.

45 Por lo tanto, en algunas realizaciones, puede ser deseable hacer funcionar el generador 14 de gas reductor de una manera mediante la cual el gas reductor se reduce débilmente inicialmente y bastante por debajo del límite de inflamabilidad, por ejemplo, un contenido de combustibles de 3% en la presente realización, aunque pueden emplearse otros valores, por ejemplo, un contenido de combustibles de 2% en algunas realizaciones y un contenido de combustibles de 1% o menor en otras realizaciones. En otras realizaciones más, el contenido de combustibles puede ser mayor que 3%. El contenido de combustibles puede cambiarse posteriormente a una condición fuertemente reductora (es decir, mayores combustibles) (mayor potencia reductora) cuando las condiciones de temperatura en la celda 12 de combustible, por ejemplo, el ánodo 20, son suficientemente altas para asegurar que el gas reductor está bastante por encima de su límite de inflamabilidad inferior. Por ejemplo, la condición fuertemente reductora puede ser hasta un contenido de combustibles de 45% en la presente realización, hasta un contenido de combustibles de 50% en otras realizaciones, y hasta un contenido de combustibles de 60% o mayor en aún otras realizaciones, dependiendo de las condiciones en la celda 12 de combustible. El aumento del aporte de energía al sistema con un gas reductor más fuerte puede compensarse disminuyendo el flujo de combustible al Quemador de Gas Residual de la central eléctrica de celda de combustible para las plantas así equipadas.

60

Por consiguiente, las realizaciones útiles para comprender la presente invención pueden emplear el generador 14 de gas reductor para generar un gas de purga para purgar la celda 12 de combustible de oxidantes, en particular, el cátodo 24, así como para generar un gas seguro, es decir, un gas reductor débil que tiene un nivel de combustibles relativamente bajo.

5 Además, las realizaciones útiles para comprender la presente invención pueden emplear también el generador 14 de gas reductor para producir un gas reductor de potencia reductora variable. La composición de gas reductor proporcionada por el generador 14 de gas reductor puede estar configurada también para contener un vapor adecuado para iniciar la operación del reformador 26 interno cuando se inicia el flujo de corriente de combustible normal de la celda 12 de combustible, por ejemplo, gas natural. Por consiguiente, el gas reductor suministrado a la
10 celda 12 de combustible desde el generador 14 de gas reductor puede considerarse un gas de transición a medida que aumenta la producción de la energía por la celda 12 de combustible. Además, el generador 14 de gas reductor de la presente realización puede ser capaz de una puesta en marcha rápida, por ejemplo, para proteger el ánodo 20 en el caso de acontecimientos de parada de emergencia de la celda 12 de combustible, por ejemplo, manteniendo ciertos elementos del generador 14 de gas reductor a temperaturas elevadas para acelerar el inicio de las
15 reacciones catalíticas que producen el gas reductor.

En la presente realización, como se ilustra en la FIG. 2, el generador 14 de gas reductor incluye un sistema 28 de combustible, un sistema 30 de oxidante, una cámara 32 de combinación, y un reactor 34 catalítico que tiene un catalizador 36. En la presente realización, las salidas del sistema 28 de combustible y el sistema 30 de oxidante se combinan en la cámara 32 de combinación y se dirigen a la celda 12 de combustible a través del reactor 34 catalítico
20 para proporcionar selectivamente gas de purga, gas seguro, y gas reductor de potencia variable al ánodo 20 y al reformador 26.

En la realización representada en la FIG. 2, se representan diversos elementos, componentes e interrelaciones entre los aspectos de una realización de la presente invención.

En cualquier caso, en la realización de la FIG. 2, el sistema 28 de combustible incluye una entrada 38 de combustible, un regulador 40 de presión, un adsorbente 42 de captura de azufre, un controlador 44 de flujo de combustible, y una válvula 46 de control de combustible de posición/salida variable. La entrada 38 de combustible está configurada para recibir un combustible de hidrocarburo, por ejemplo, gas natural, y sirve como una fuente del combustible de hidrocarburo usado por el generador 14 de gas reductor. El regulador 40 de presión está acoplado de forma fluida a la entrada 38 de combustible, y regula la presión del combustible de hidrocarburo. El adsorbente 42
30 de captura de azufre está acoplado de forma fluida al regulador 40 de presión, y está configurado para capturar el azufre de la corriente de combustible recibida desde el regulador 40 de presión. El controlador 44 de flujo de combustible y la válvula 46 de control de combustible están acoplados a la salida de adsorbente 42 de captura de azufre, y están configurados para controlar la cantidad de combustible suministrado a la cámara 32 de combinación.

El sistema 30 de oxidante funciona como una fuente de oxidante para el generador 14 de gas reductor, e incluye una admisión 48 de aire, un compresor 50 de aire como una fuente de aire presurizado, un regulador 52 de presión, un generador 54 de nitrógeno que tiene una membrana 56 de separación de nitrógeno, una válvula 58 de control de aire de posición/salida variable, un controlador 60 del flujo de aire, una válvula 62 de control de oxidante de posición/salida variable, un controlador 64 de flujo de oxidante y un sensor 66 de oxígeno.
35

La admisión 48 de aire puede ser cualquier estructura o abertura capaz de proporcionar aire, y está acoplada de forma fluida al compresor 50 de aire, que comprime el aire ambiente recibido desde la atmósfera. El regulador 52 de presión está acoplado de forma fluida al compresor 50 de aire, y regula la presión de aire suministrada al generador 14 de gas reductor. La válvula 58 de control de aire es parte de un sistema de carga de aire estructurado para añadir variablemente aire al gas rico en nitrógeno recibido desde el generador 54 de nitrógeno para producir un oxidante que tiene un contenido variable de O₂.
40

El contenido de O₂ puede ser detectado por el sensor 66 de oxígeno, que puede ser usado por el sistema de control del generador 14 de gas reductor para variar el contenido de O₂ del oxidante suministrado a la cámara 32 de combinación. Por ejemplo, en condiciones de operación normales, el contenido de O₂ está controlado basándose en una temperatura de control, por ejemplo, la temperatura del catalizador 36 en la presente realización, aunque pueden usarse otras temperaturas en otras realizaciones, por ejemplo, la temperatura del gas reductor producido por el generador 14 de gas reductor. Sin embargo, durante la puesta en marcha del generador 14 de gas reductor, el sensor 66 de oxígeno puede usarse para proporcionar realimentación hasta que la temperatura está disponible como una realimentación. La cantidad o flujo del oxidante que tiene un contenido de O₂ variable está controlada por la válvula 62 de control de oxidante y el controlador 64 de flujo de oxidante.
50

El generador 54 de nitrógeno está configurado para generar una corriente rica en nitrógeno, que puede usarse como un gas de purga, y que puede combinarse también con aire para formar una corriente de oxidante de bajo contenido de oxígeno (O₂), por ejemplo, una corriente de aire diluido con nitrógeno, usada por el generador 14 de gas reductor para formar un gas reductor. La pureza de la corriente rica en nitrógeno puede variar según las necesidades de la aplicación particular, por ejemplo, y puede consistir esencialmente en nitrógeno. Alternativamente, se considera que en otras realizaciones, pueden emplearse otros gases en lugar de o además de nitrógeno, tales como argón o helio,
55

para su uso como un gas de purga y/o como un constituyente de una corriente de oxidante de bajo contenido de O₂, por ejemplo, como un diluyente (diluidor) de aire. Como se usa en la presente memoria, "oxidante de bajo contenido de O₂" significa que el contenido de oxígeno de la corriente de oxidante es menor que el del aire atmosférico en las mismas condiciones de presión y temperatura.

5 El generador 54 de nitrógeno y la válvula 58 de control de aire se acoplan de forma fluida en paralelo al regulador 52 de presión, y reciben aire presurizado del compresor 50 de aire para usarlo en las operaciones del generador 14 de gas reductor. El generador 54 de nitrógeno tiene una salida 54A, por ejemplo, una abertura o pasaje estructurado para descargar los productos del generador 54 de nitrógeno. El generador 54 de nitrógeno está estructurado para recibir aire de la admisión 48 de aire, extraer oxígeno (O₂) del aire, y descargar el resto en forma de un gas rico en nitrógeno desde la salida. El O₂ extraído se descarga del generador 54 de nitrógeno a la atmósfera en la presente
10 realización, aunque se entenderá que en otras realizaciones, el O₂ extraído puede emplearse para otros fines relacionados con la celda 12 de combustible y/o el generador 14 de gas reductor, por ejemplo, como parte de una corriente de oxidante.

15 La membrana 56 de separación de nitrógeno del generador 54 de nitrógeno está configurada para separar el oxígeno del aire recibido de la admisión 48 de aire, y proporciona la corriente rica en nitrógeno, que después se combina con el aire suministrado mediante la válvula 58 de control de aire para producir el oxidante de bajo contenido de O₂, que se suministra a la válvula 62 de control de oxidante. La válvula 62 de control de oxidante está acoplada de forma fluida a las salidas tanto del generador 54 de nitrógeno como de la válvula 58 de control de aire. El sensor 66 de oxígeno, que puede estar en forma de un analizador de O₂, está acoplado de forma fluida aguas
20 abajo a la válvula 62 de control de oxidante, y proporciona una señal de control mediante la línea 68 de control que acopla comunicativamente el sensor 66 de oxígeno con el controlador 60 del flujo de aire. El controlador 60 del flujo de aire proporciona señales de control a la válvula 58 de control de aire para controlar la cantidad de aire añadida a la corriente rica en nitrógeno, basándose en la entrada de control desde el sensor 66 de oxígeno.

25 La cámara 32 de combinación está en comunicación fluida con la salida de generador 54 de nitrógeno y la entrada 38 de combustible, y está estructurada para recibir y combinar el combustible de hidrocarburo y el gas rico en nitrógeno y descarga una mezcla de alimentación que contiene tanto el combustible y el oxidante que incluye el gas rico en nitrógeno al reactor 34 catalítico. El reactor 34 catalítico está estructurado para recibir la mezcla de alimentación y convertir catalíticamente la mezcla de alimentación en un gas reductor. La forma de la cámara 32 de combinación es una sencilla conexión de fontanería que une la corriente de oxidante con la corriente de combustible
30 en la presente realización, aunque puede emplearse cualquier disposición que esté estructurada para combinar una corriente de oxidante con una corriente de combustible sin alejarse del alcance de la presente invención. Por ejemplo, puede emplearse una cámara de mezclado especializada que tiene paletas agitadoras para mezclar las corrientes.

35 El generador 14 de gas reductor incluye una válvula 69 de control de puesta en marcha que tiene un elemento 70 de válvula y un elemento 72 de válvula; y un calentador 74 de la mezcla de alimentación, que puede usarse para iniciar el proceso de generación de gas reductor. En una forma, los elementos 70 y 72 de válvula son parte de un elemento de válvula combinado. Las entradas de los elementos 70 y 72 de válvula están acopladas de forma fluida a la cámara 32 de combinación corriente abajo de la misma. La salida del elemento 70 de válvula está acoplada de forma fluida al reactor 34 catalítico para proporcionar la mezcla de alimentación al catalizador 36 del reactor 34
40 catalítico. La salida del elemento 72 de válvula está acoplada de forma fluida a la entrada del calentador 74 de la mezcla de alimentación. En una forma, la válvula 69 de control de puesta en marcha es una válvula de tres vías que hace funcionar los elementos 70 y 72 de válvula para dirigir el flujo que entra en la válvula 69 hacia el reactor 34 catalítico directamente o mediante el calentador 74 de la mezcla de alimentación. Se considera alternativamente que pueden emplearse otras disposiciones de válvula, tal como un par de válvulas de control de puesta en marcha
45 individuales en lugar de la válvula 69 de control de puesta en marcha con los elementos 70 y 72 de válvula.

50 El calentador 74 de la mezcla de alimentación incluye un cuerpo 76 calefactor y una bobina 78 de flujo dispuesta adyacente al cuerpo 76 calefactor. La salida del calentador 74 de la mezcla de alimentación está acoplada de forma fluida al reactor 34 catalítico para proporcionar mezcla de alimentación calentada al catalizador 36 del reactor 34 catalítico. En el modo de operación normal, los elementos 70 y 72 de válvula dirigen toda la mezcla de alimentación directamente al reactor 34 catalítico. En el modo de puesta en marcha, la mezcla de alimentación se dirige a través del calentador 74 de la mezcla de alimentación. En una forma, toda la mezcla de alimentación se dirige a través del calentador 74 de la mezcla de alimentación, aunque en otras realizaciones, pueden calentarse cantidades más pequeñas.

55 El calentador 74 de la mezcla de alimentación está configurado para "encender" el catalizador 36 del reactor 34 catalítico (iniciar la reacción catalítica entre combustible y oxidante) calentando la mezcla de alimentación, que después se suministra al reactor 34 catalítico. En una forma, la mezcla de alimentación se calienta mediante el calentador 74 de la mezcla de alimentación a una temperatura de precalentamiento por encima de la temperatura de apagado del catalizador de la mezcla de alimentación (la temperatura de apagado del catalizador es la temperatura a la que se inician las reacciones sobre el catalizador, por ejemplo, el catalizador 36). Una vez que el catalizador 36
60 está encendido, las reacciones exotérmicas que tienen lugar en el catalizador 36 mantienen la temperatura del reactor 34 catalítico a un nivel controlado, como se expone más adelante. Asimismo, una vez encendido el

catalizador 36 puede que este ya no sea necesario para calentar la mezcla de alimentación, en cuyo caso los elementos 70 y 72 de válvula están situados para dirigir toda la mezcla de alimentación directamente al reactor 34 catalítico, circunvalando el calentador 74 de la mezcla de alimentación.

5 Para proporcionar un rápido suministro de gas reductor en el caso de una parada repentina de la celda 12 de combustible, el cuerpo 76 calefactor está configurado para mantener continuamente una temperatura suficiente para encender el catalizador 36 durante las operaciones normales de producción de energía de la celda 12 de combustible. Esto es, mientras la celda 12 de combustible está en el modo de operación de producción de energía para suministrar energía a la carga 16 eléctrica, que es el modo de operación normal para la celda 12 de combustible, el cuerpo 76 calefactor mantiene una temperatura de precalentamiento suficiente para calentar la
10 mezcla de alimentación para poder encender rápidamente el catalizador para la puesta en marcha del generador 14 de gas reductor, de manera que el gas reductor pueda suministrarse a la celda 12 de combustible durante la parada.

Además, se disponen uno o más calentadores 80 de catalizador adyacentes al reactor 34 catalítico, y se configuran para calentar el catalizador 36 y mantener el catalizador 36 a una temperatura de precalentamiento que está en o por encima de la temperatura de apagado del catalizador para la mezcla de alimentación suministrada al reactor 34 catalítico. Esta temperatura de precalentamiento se mantiene durante las operaciones normales de la celda 12 de combustible en el modo de producción de energía en el caso de una necesidad repentina de gas reductor, por ejemplo, en el caso de que sea necesario parar la celda 12 de combustible.
15

En otras realizaciones, se considera alternativamente que puede usarse otro calentador 82 en lugar de o además de los calentadores 74 y 80, por ejemplo, un calentador 82 situado adyacente al reactor 34 catalítico en el lado aguas arriba. Tal disposición puede emplearse para suministrar calor más directamente al catalizador 36 para iniciar la reacción catalítica de la mezcla de alimentación en una parte aguas arriba del reactor 34 catalítico.
20

En la presente realización, los calentadores 74, 80 y 82 son calentadores eléctricos, aunque se considera alternativamente que en otras realizaciones, pueden emplearse calentadores de combustión indirecta además de o en lugar de los calentadores eléctricos. Asimismo, aunque la presente realización emplea tanto el calentador 74 de la mezcla de alimentación como los calentadores 80 para encender rápidamente la mezcla de alimentación sobre el catalizador, se considera alternativamente que en otras realizaciones, puede emplearse únicamente uno de estos calentadores, o puede emplearse un mayor número de calentadores, sin alejarse del alcance de la presente invención.
25

Un sensor 84 de control de temperatura está situado adyacente al catalizador 36 del reactor 34 catalítico, y está estructurado para medir la temperatura del catalizador 36. En una forma, el sensor 84 de control de temperatura está estructurado para proporcionar una señal que indica la temperatura de una parte del catalizador 36 mediante una línea 92 de detección que acopla comunicativamente el controlador 60 del flujo de aire con el sensor 84 de control de temperatura. La temperatura de control es una temperatura empleada por el sistema 96 de control para regular la salida del generador 14 de gas reductor. El controlador 60 del flujo de aire está configurado para dirigir las operaciones de la válvula 58 de control de aire basándose en la señal recibida desde el sensor 84 de control de temperatura, junto con la señal recibida desde el sensor 66 de oxígeno. En otra forma, pueden detectarse otras temperaturas para fines de controlar el generador 14 de gas reductor. Por ejemplo, en una realización de este tipo, la temperatura del gas reductor producido por el generador 14 de gas reductor, por ejemplo, como el producido por el reactor 34 catalítico, puede medirse y usarse como una realimentación de la temperatura de control para dirigir las operaciones de la válvula 58 de control de aire.
30
35
40

Un sensor 86 de detección de combustibles del gas reductor, que en la presente realización está en forma de un sensor de hidrógeno (H_2) o analizador de H_2 , está configurado para determinar la cantidad de uno o más combustibles, por ejemplo, porcentaje molar, presente en la salida de gas reductor por el reactor 34 catalítico. En otras realizaciones, el sensor 86 de detección de combustibles del gas reductor puede estar en forma de un sensor o analizador de monóxido de carbono (CO) además de o en lugar del sensor/analizador de H_2 . En cualquier caso, una línea de control 94 acopla comunicativamente el controlador 44 de flujo de combustible y el sensor 86 de detección de combustibles del gas reductor. El sensor 86 de detección de combustibles del gas reductor está configurado para suministrar una señal que refleja el contenido de combustibles del gas reductor al controlador 44 de flujo de combustible. El controlador 44 de flujo de combustible está configurado para controlar la cantidad de combustible suministrado a la cámara 32 de combinación.
45
50

El gas reductor producido por el reactor 34 catalítico se enfría usando un intercambiador 88 de calor. En una forma, el intercambiador 88 de calor es un intercambiador de calor indirecto. En otras realizaciones, pueden emplearse otros tipos de intercambiadores de calor. En una forma, el sensor 86 de detección de combustibles del gas reductor está situado aguas abajo de intercambiador 88 de calor. En otras formas, el sensor 86 de detección de combustibles del gas reductor puede estar situado en otras localizaciones, por ejemplo, aguas arriba del intercambiador 88 de calor o dentro de o montado sobre el intercambiador 88 de calor.
55

La presión de salida del reactor 34 catalítico se mantiene mediante un regulador 90 de contrapresión aguas abajo del intercambiador 88 de calor. El intercambiador 88 de calor mantiene la temperatura del gas reductor aguas abajo del reactor 34 catalítico a un nivel adecuado para evitar dañar el regulador 90 de contrapresión. En una forma, el gas

reductor se enfría a entre 100°C y 150°C usando aire de enfriamiento. En otras realizaciones, pueden usarse otros fluidos adecuados como el disipador de calor, y pueden usarse otras temperaturas. En una forma, puede usarse un bucle de control (no mostrado) para controlar la temperatura del gas reductor que sale del intercambiador 88 de calor variando el flujo de aire de enfriamiento u otro fluido de enfriamiento.

5 La salida del generador 14 de gas reductor está acoplada de forma fluida al reactor 34 catalítico, y está en comunicación fluida con el ánodo 20, por ejemplo, directamente o mediante un reformador 26. La salida del regulador 90 de contrapresión sirve como una salida de gas reductor en la presente realización, y es operativa para dirigir el gas reductor al ánodo 20 y al reformador 26. La "salida de gas reductor" es la salida del generador 14 de gas reductor que descarga el producto del generador 14 de gas reductor en la celda 12 de combustible, y puede ser una o más de cualquier abertura o pasaje estructurado para descargar los productos del generador 14 de gas reductor.

10 El controlador 44 de flujo de combustible, el controlador 60 del flujo de aire y el controlador 64 de flujo de oxidante forman un sistema 96 de control que está estructurado para controlar la temperatura y constitución química de la mezcla de producto suministrada desde el reactor 34 catalítico basándose en las señales producidas por el sensor 66 de oxígeno (durante la puesta en marcha en la presente realización), el sensor 84 de control de temperatura y el sensor 86 de detección de combustibles del gas reductor. En particular, la válvula 58 de control de aire está controlada por el controlador 60 del flujo de aire para regular el contenido de O₂ de la corriente de oxidante suministrada a la cámara 32 de combinación, por ejemplo, la cantidad de O₂ expresada como un porcentaje molar del O₂ en la corriente de oxidante. La válvula 62 de control de oxidante está controlada por el controlador 64 de flujo de oxidante para regular el flujo de la corriente de oxidante formada por gas rico en nitrógeno y aire suministrado a la cámara 32 de combinación. La válvula 46 de control de combustible está controlada por el controlador 44 de flujo de combustible para regular la cantidad de combustible de hidrocarburo suministrado a la cámara 32 de combinación.

15 Por lo tanto, en la presente realización, el sistema 96 de control está configurado para controlar el contenido de oxígeno (O₂) de la corriente de oxidante, y también para controlar la razón oxidante/combustible de la mezcla de alimentación, que está definida por una razón de la cantidad del oxidante en la mezcla de alimentación a la cantidad de combustible de hidrocarburo en la mezcla de alimentación, por ejemplo, el caudal másico de la corriente de oxidante respecto al caudal másico de la corriente de combustible de hidrocarburo. En particular, el contenido de O₂ de la corriente de oxidante suministrada a la cámara 32 de combinación está controlado por la válvula 58 de control de aire mediante la salida del controlador 60 del flujo de aire, basándose en la señal recibida desde el sensor 66 de oxígeno. Además, la razón oxidante/combustible de la mezcla de alimentación suministrada al reactor 34 catalítico está controlada por la válvula 46 de control de combustible y la válvula 62 de control de oxidante bajo la dirección del controlador 44 de flujo de combustible y el controlador 64 de flujo de oxidante, respectivamente. En una forma, el flujo de salida de gas reductor por el generador 14 de gas reductor está controlado por la válvula 62 de control de oxidante, por ejemplo, que incluye una conmutación u otra compensación explicar la cantidad de combustible en la mezcla de alimentación, mientras que la razón oxidante/combustible se controla entonces usando la válvula 46 de control de combustible. En otras realizaciones, pueden emplearse otros esquemas de control.

20 En la presente realización, cada uno del controlador 44 de flujo de combustible, el controlador 60 del flujo de aire y el controlador 64 de flujo de oxidante están basados en microprocesador, y ejecutan instrucciones de programa en forma de software para realizar las acciones descritas en la presente memoria. Sin embargo, se contempla alternativamente que cada uno de estos controladores y las instrucciones de programa correspondiente pueden estar en forma de cualquier combinación de software, firmware y hardware, y pueden reflejar la salida de dispositivos discretos y/o circuitos integrados, que pueden estar co-localizados en una localización particular o distribuidos a través de más de una localización, que incluye cualquier dispositivo digital y/o analógico configurado para conseguir resultados iguales o similares a los de un controlador basado en procesador que ejecuta instrucciones basadas en software o firmware, sin alejarse del alcance de la presente invención. Además, se entenderá que cada uno del controlador 44 de flujo de combustible, el controlador 60 del flujo de aire y el controlador 64 de flujo de oxidante puede ser parte de un único sistema de control integrado, por ejemplo, un microordenador, sin alejarse del alcance de la presente invención.

25 En cualquier caso, el sistema 96 de control está configurado para ejecutar instrucciones de programa tanto para variar el contenido de O₂ de la corriente de oxidante como para variar la razón oxidante/combustible de la mezcla de alimentación mientras se mantiene una temperatura seleccionada del gas reductor para conseguir el contenido seleccionado de combustibles al caudal deseado. El caudal puede variarse, por ejemplo, dependiendo de la aplicación particular o de la fase operacional. El sistema 96 de control varía el contenido de O₂ de la corriente de oxidante y la razón oxidante/combustible de la mezcla de alimentación basada en la salida del sensor 84 de control de temperatura, el sensor 66 de oxígeno y el sensor 86 de detección de combustibles del gas reductor.

30 El generador 14 de gas reductor puede emplearse durante la puesta en marcha y parada de la celda 12 de combustible, por ejemplo, para proporcionar gas reductor de diversas potencias reductoras, que incluye gas reductor en forma de un gas seguro (no inflamable), y en algunas realizaciones, para proporcionar un gas de purga sin combustibles.

35 El gas reductor se genera combinando la corriente rica en nitrógeno con el aire suministrado mediante la válvula 58

de control de aire para formar la corriente de oxidante, que está regulada por la válvula 62 de control de oxidante y combinada con el combustible de hidrocarburo suministrado mediante la válvula 46 de control de combustible para formar la mezcla de alimentación que se convierte catalíticamente en el reactor 34 catalítico en el gas reductor. Como se expone en la presente memoria, el contenido de O₂ de la corriente de oxidante y la razón de oxidante a combustible de la mezcla de alimentación son variados por el sistema 96 de control tanto para regular la temperatura de control, por ejemplo, en el reactor 34 catalítico, como también para controlar la potencia reductora del gas reductor para conseguir el contenido de combustibles seleccionado al caudal deseado.

El contenido de combustibles puede seleccionarse para proporcionar la configuración química apropiada del gas reductor durante diversas fases en los procesos de puesta en marcha y parada en la celda 12 de combustible. En la presente realización, el sistema 96 de control está estructurado para mantener la temperatura de control, por ejemplo, la temperatura del catalizador 36, mientras se varía el contenido de combustibles. Por ejemplo, la potencia reductora puede variar de débilmente reductor, es decir, una baja potencia reductora, con fines de formar un gas seguro, a una alta potencia reductora que tiene un mayor contenido de combustibles. El contenido de combustibles está principalmente en forma de hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO).

El gas seguro puede suministrarse a la celda 12 de combustible durante el ascenso hasta la temperatura de operación de la celda 12 de combustible. En una forma, el gas reductor puede suministrarse a la celda 12 de combustible en forma de un gas seguro para realizar la transición del reformador 26 al estado de servicio. En otra forma, a medida que aumenta la temperatura de operación de la celda 12 de combustible, por ejemplo, la temperatura del ánodo 20 y el reformador 26, la potencia del gas reductor puede aumentarse aumentando el contenido de combustibles del gas reductor, que puede proteger entonces el ánodo 20 a las mayores temperaturas a las que, de lo contrario, podría ocurrir una cantidad significativa de daño por oxidación, por ejemplo, debido a la migración del oxígeno a través del electrolito 22 u otras fugas. Además, a medida que el ánodo 20 (y/o el reformador 26, en algunas realizaciones) se acerca a las temperaturas de operación normales, el contenido de combustibles del gas reductor puede aumentarse adicionalmente para conseguir niveles de contenido de combustibles similares a los del gas de síntesis que produce el reformador 26 durante las operaciones normales de generación de energía de la celda 12 de combustible, lo que puede ayudar a iniciar las reacciones normales de producción de energía eléctrica del ánodo 20. En realizaciones donde se suministra al reformador 26, esto puede ayudar a iniciar las reacciones catalíticas de operación normales del reformador 26.

Respecto al gas de purga, en algunas realizaciones, puede generarse un gas de purga no combustible por el generador 54 de nitrógeno en forma de una corriente rica en nitrógeno, por ejemplo, que consiste principalmente en nitrógeno, que puede suministrarse a la celda 12 de combustible mediante el regulador 90 de contrapresión, aunque pueden emplearse alternativamente otros esquemas de fontanería para dirigir la salida del generador 54 de nitrógeno a la celda 12 de combustible. En una forma, el gas de purga puede suministrarse a la celda 12 de combustible, por ejemplo, para purgar uno o más del cátodo 24 y/u otros componentes de la celda 12 de combustible, por ejemplo, cuando se desea una puesta en marcha en frío de la celda 12 de combustible. En otra forma, el gas de purga puede suministrarse a la celda 12 de combustible para purgar la celda 12 de combustible antes del mantenimiento. En otra forma más, puede emplearse el generador 54 de nitrógeno y/o un segundo generador de nitrógeno para crear un gas de purga. Por ejemplo, en el caso de una pérdida del suministro principal de aire de la central eléctrica durante una parada de emergencia, puede suministrarse una purga de cátodo rico en nitrógeno al cátodo 24, por ejemplo, usando el generador 54 de nitrógeno y/o un segundo generador de nitrógeno, mientras se usa el generador 54 de nitrógeno para generar el gas reductor suministrado al bucle del ánodo 20. Tales realizaciones pueden usarse para asegurar que residen mezclas no inflamables "seguras" en la vasija de la celda 12 de combustible.

Habiendo descrito así medios ejemplares para variar el contenido de los combustibles del gas reductor producido por el reactor 34 catalítico mientras se mantiene una temperatura de salida constante del gas reductor del reactor 34 catalítico, que incluye medios para variar el contenido de O₂ en el oxidante suministrado a la cámara 32 de combinación y medios para variar la razón oxidante/combustible de la mezcla de alimentación que sale de la cámara 32 de combinación, se describe a continuación una realización ejemplar de un método para generar un gas de purga y un gas reductor para poner en marcha y parar una celda de combustible. La realización ejemplar se describe con respecto a las FIGS. 3A-3D, que forman un diagrama de flujo que tiene bloques de control B100-B146 que representan un método para poner en marcha y parar una celda de combustible. Aunque en la presente memoria se ilustra y describe una secuencia particular de acontecimientos, se entenderá que la presente invención no está limitada a esto, y que pueden emplearse otras secuencias que tienen las mismas o diferentes acciones en menores o mayores cantidades y en el mismo o diferente orden, sin alejarse del alcance de la presente invención.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 3A, en el bloque B100, una orden para poner en marcha la celda 12 de combustible es recibida por el sistema 96 de control, por ejemplo, mediante un operario de la celda 12 de combustible.

En el bloque B102, se engrana un sistema 98 de derivación. El sistema 98 de derivación abre una línea de purga para purgar la salida del generador 14 de gas reductor, y cierra la trayectoria hacia la celda 12 de combustible. La salida del generador de gas reductor se purga hasta que el bucle de control, por ejemplo, el sistema 96 de control, mantiene los parámetros del proceso dentro de sus límites prescritos, punto en el cual el sistema 98 de derivación

cierra la línea de purga y abre la trayectoria hacia la celda 12 de combustible.

En el bloque B104, se suministra aire al generador 14 de gas reductor, por ejemplo, mediante la admisión 48 de aire, iniciando la operación del compresor 50 de aire.

5 En el bloque B106, el compresor 50 de aire comprime el aire recibido desde la admisión 48 de aire. En una forma, el aire se comprime a una presión en un intervalo de 5 bar absoluto a 14 bar absoluto. En otras realizaciones, la presión del aire comprimido puede caer dentro de un intervalo diferente, por ejemplo, en un intervalo de 2 bar absoluto a 25 bar absoluto en algunas realizaciones, y en otras realizaciones, de 1 bar absoluto a 30 bar absoluto. La presión suministrada por el compresor 50 de aire puede variar, por ejemplo, dependiendo de las características de la membrana 56 de separación de nitrógeno y el generador 54 de nitrógeno.

10 En el bloque B108, se genera la corriente de gas rico en nitrógeno en el generador 54 de nitrógeno del generador 14 de gas reductor suministrando el aire comprimido a la membrana 56 de separación de nitrógeno. El O₂ eliminado del aire por la membrana 56 de separación de nitrógeno como un subproducto del proceso de generación de nitrógeno se dirige al exterior, por ejemplo, para su uso en cualquier otro sitio, o simplemente se purga, mientras que la corriente rica en nitrógeno resultante se dirige hacia la válvula 62 de control de oxidante. En la presente realización, 15 la corriente rica en nitrógeno contiene oxígeno, aunque a niveles menores que los del aire ambiente. En otras realizaciones, la corriente de nitrógeno puede consistir esencialmente en nitrógeno (por ejemplo, <1% O₂).

20 En el bloque B110, se añade aire comprimido a la corriente rica en nitrógeno de una manera controlada por la válvula 58 de control de aire bajo la dirección del controlador 60 del flujo de aire, para formar una corriente de oxidante de bajo contenido de oxígeno (O₂), es decir, una corriente de oxidante que tiene menos O₂ que el aire atmosférico ambiente.

En el bloque B112, se inicia un flujo de combustible de hidrocarburo hacia el generador 14 de gas reductor por la válvula 46 de control de combustible bajo la dirección del controlador 44 de flujo de combustible. El flujo de combustible puede ajustarse inicialmente a un valor por defecto anticipado para conseguir el contenido de combustibles deseado del gas reductor y la temperatura de control, y puede ajustarse posteriormente.

25 En el bloque B114, la corriente de oxidante se combina con la corriente de combustible de hidrocarburo en la cámara 32 de combinación para formar la mezcla de alimentación que tiene una razón oxidante/combustible, por ejemplo, definida por una razón del caudal másico de la corriente de oxidante en la mezcla de alimentación al caudal másico de la corriente de combustible de hidrocarburo en la mezcla de alimentación.

30 Haciendo referencia ahora a la FIG. 3B, en el bloque B116, se hacen funcionar dispositivos de calentamiento a una temperatura en o por encima de la temperatura de apagado del catalizador de la mezcla de alimentación, y el calor producido por los dispositivos de calentamiento se suministra a la mezcla de alimentación. En una forma, los dispositivos de calentamiento se conectan inmediatamente después de recibir la orden de poner en marcha la celda 12 de combustible, por ejemplo, inmediatamente después del bloque B100. En otras realizaciones, los dispositivos de calentamiento pueden conectarse en otros momentos adecuados para la aplicación, por ejemplo, dependiendo 35 de cuánto tiempo tarden los calentadores en alcanzar la temperatura deseada. En la presente realización, los dispositivos de calentamiento son el calentador 74 de la mezcla de alimentación y el calentador 80, aunque en otras realizaciones, puede emplearse únicamente un calentador o puede emplearse una pluralidad de calentadores en lugar de o además de uno o ambos del calentador 74 de la mezcla de alimentación y el calentador 80. Los tipos o formas de los calentadores usados en otras realizaciones pueden variar con las necesidades de la aplicación.

40 El cuerpo 76 calefactor y la bobina 78 de flujo se mantienen en o por encima de la temperatura de apagado del catalizador de la mezcla de alimentación. El calor del cuerpo 76 calefactor y la bobina 78 de flujo se suministra a la mezcla de alimentación desviando la mezcla de alimentación a través del calentador 74 de la mezcla de alimentación, en particular, la bobina 78 de flujo. En una forma, toda la mezcla de alimentación se desvía a través del calentador 74 de la mezcla de alimentación. En otra forma, una parte de la mezcla de alimentación se desvía a través del calentador 74 de la mezcla de alimentación. La mezcla de alimentación se desvía a la bobina 78 de flujo controlando la salida de la válvula 69 de control de puesta en marcha para hacer funcionar los elementos 70 y 72 de 45 válvula. La mezcla de alimentación calentada resultante se dirige al catalizador 36 del reactor 34 catalítico para ayudar a iniciar las reacciones catalíticas que producen el gas reductor. Una vez que se han iniciado las reacciones catalíticas en el reactor 34 catalítico, la válvula de tres vías 69 de control de puesta en marcha se re-orienta para dirigir la mezcla de alimentación directamente al reactor 34 catalítico, circunvalando el calentador 74 de la mezcla de alimentación. Aunque la presente solicitud se describe usando un calentador 74 de la mezcla de alimentación con el cuerpo 76 de calentamiento y la bobina 78 de flujo, se entenderá que pueden emplearse otros tipos de calentadores 50 en realizaciones que utilizan un calentador de mezcla de flujo.

55 El calentador 80 de la presente realización está en forma de un calentador de banda eléctrica, y mantiene el catalizador 36 en o por encima de la temperatura de apagado del catalizador de la mezcla de alimentación, promoviendo de esta manera el encendido rápido (y por tanto, el re-encendido) del catalizador 36. Se entenderá que pueden emplearse otros tipos de calentadores sin alejarse del alcance de la presente invención.

En otras realizaciones, el calentador 82 puede emplearse para calentar el catalizador 36 en o cerca de la localización donde la mezcla de alimentación se suministra al catalizador 36 para iniciar las reacciones catalíticas. En otras diversas realizaciones, pueden usarse uno o más calentadores 82 en lugar de o además de los calentadores 74 y 80.

5 En el bloque B118, la mezcla de alimentación calentada se dirige al catalizador 36, donde se inician las reacciones catalíticas. En una forma, las reacciones catalíticas se inician basándose en el calor recibido desde el calentador 74 de la mezcla de alimentación. En otras diversas formas, las reacciones pueden iniciarse basándose en el calor recibido desde el calentador 74 de la mezcla de alimentación y/o el calentador 80 y/o el calentador 82).

10 En el bloque B120, la mezcla de alimentación se convierte catalíticamente en gas reductor en el reactor 34 catalítico del generador 14 de gas reductor.

15 En el bloque B122, el sistema 96 de control controla cada uno del contenido de O_2 de la corriente de oxidante y la razón oxidante/combustible de la mezcla de alimentación para mantener la temperatura de control seleccionada del gas reductor y para producir el gas reductor en forma de un gas seguro. En una forma, el contenido de O_2 de la corriente de oxidante está controlado por el controlador 60 del flujo de aire que dirige las operaciones de la válvula 58 de control de aire, aunque en otras realizaciones, el contenido de O_2 de la corriente de oxidante puede controlarse de diferente manera. En una forma, la razón oxidante/combustible está controlada por el controlador 44 de flujo de combustible que dirige las operaciones de la válvula 46 de control de combustible respectiva, aunque en otras realizaciones, la razón oxidante/combustible puede controlarse de diferente manera. Antes de alcanzar la temperatura de control, el control del contenido de O_2 puede estar basado en la salida del sensor 66 de oxígeno. 20 Una vez se consigue una temperatura que indica la combustión catalítica, el algoritmo de control cambia a realimentación basándose en el sensor 84 de control de temperatura. La temperatura de control en algunas realizaciones puede ser, por ejemplo, una función del caudal de gas reductor (carga de catalizador), tiempo en servicio, o algún otro parámetro de operación. En otras realizaciones, puede emplearse la salida de cualquiera o ambos del sensor 66 de oxígeno y el sensor 84 de control de temperatura durante la puesta en marcha y/o la operación normal del sistema. 25

30 El caudal de la mezcla de alimentación está controlado principalmente por el controlador 64 de flujo de oxidante que dirige las operaciones de la válvula 62 de control de oxidante. En forma de un gas seguro, es decir, una mezcla de gas débilmente reductor, el gas reductor puede tener un contenido de combustibles (por ejemplo, predominantemente $CO+H_2$) de aproximadamente 4,5%. Pueden emplearse otros gases reductores que tienen mayores o menores porcentajes de contenido de combustibles sin alejarse del alcance de la presente invención.

35 Debido a que el flujo másico de la mezcla de alimentación está basado predominantemente en el caudal de la corriente de flujo de oxidante, el flujo total de la mezcla de alimentación y, por tanto, el gas reductor producido por el generador 14 de gas reductor, está basado principalmente en el caudal de la corriente de flujo de control de oxidante que está gobernado por el controlador 64 de flujo de oxidante. La temperatura de control seleccionada en la presente realización es de $800^{\circ}C$, que se mide en uno de los puntos más calientes en el catalizador 36, y que en la presente realización produce una temperatura global promedio de $770^{\circ}C$. La temperatura seleccionada en la presente realización es un valor de temperatura predeterminado seleccionado basándose en consideraciones de vida útil de los componentes del generador 14 de gas reductor y la celda 12 de combustible, así como la eficiencia de conversión catalítica. Pueden emplearse otros valores de temperatura y localizaciones de medición en otras realizaciones. 40

En el bloque B124, el sistema 98 de derivación está desengranado del modo de derivación, y el gas reductor en forma de un gas seguro se dirige, por tanto del generador 14 de gas reductor al ánodo 20 de la celda 12 de combustible. En otras realizaciones, el gas seguro puede dirigirse al reformador 26.

45 Haciendo referencia ahora a la FIG. 3C, se ilustra un bloque B126. En una forma, se circunvala el bloque B126, y el flujo de proceso transcurre directamente al bloque B128. En otra forma, en el bloque B126 el contenido de O_2 de la corriente de oxidante y la razón oxidante/combustible de la mezcla de alimentación están controlados para variar selectivamente la potencia reductora del gas reductor variando selectivamente el contenido de combustibles del gas reductor mientras se mantiene la temperatura seleccionada del gas reductor del bloque B122. Como se ha expuesto anteriormente con respecto al bloque B122, en una forma, el contenido de O_2 de la corriente de oxidante está controlado por el controlador 60 del flujo de aire que dirige las operaciones de la válvula 58 de control de aire. En otras formas, el contenido de O_2 de la corriente de oxidante puede controlarse de diferente manera. En una forma, la razón oxidante/combustible está controlada principalmente por el controlador 44 de flujo de combustible, y el flujo de gas reductor está controlado principalmente por el controlador 64 de flujo de oxidante que dirige las operaciones de la válvula 62 de control de oxidante. En otras formas, la razón oxidante/combustible y el caudal de gas reductor 50 pueden controlarse de diferente manera. 55

Se describe ahora el control del contenido de O_2 de la corriente de oxidante y de la razón oxidante/combustible de la mezcla de alimentación para variar selectivamente la potencia reductora del gas reductor mientras se mantiene la temperatura y el caudal seleccionados del gas reductor producido por el reactor 34 catalítico en la presente realización.

El generador 14 de gas reductor convierte catalíticamente el oxidante de bajo contenido de O_2 y el combustible de hidrocarburo para formar el gas reductor con un contenido de combustibles suficiente para proteger el ánodo 20 de la celda de combustible de la celda 12 de combustible durante la puesta en marcha y parada del sistema 10 de la central eléctrica de celda de combustible. Ajustando el contenido de O_2 del gas oxidante en combinación con el cambio de la razón oxidante/combustible, la potencia del gas reductor puede cambiarse mientras que la temperatura de operación del catalizador se mantiene constante, por ejemplo, a una temperatura de conversión ideal. Esta temperatura es detectada por el sensor 84 de control de temperatura y usada como entrada para el sistema 96 de control para su uso en mantener la temperatura de salida del reactor 34 catalítico a la temperatura seleccionada.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 4, se representa un ejemplo de los parámetros del reactor 34 catalítico. Los parámetros ilustrados incluyen el caudal másico 100 de la corriente de oxidante; el caudal másico 102 de la corriente de combustible de hidrocarburo; el porcentaje (%) de aire 104 estequiométrico, que representa la cantidad porcentual de aire en la corriente de oxidante relativa a la cantidad de aire requerida para la combustión completa de la corriente de combustible de hidrocarburo; y la razón 106 oxígeno/carbono (O_2/C). En el gráfico de la FIG. 4, la abscisa es el contenido de H_2 del gas reductor, la ordenada del lado izquierdo está en unidades de porcentaje y también gramos por segundo (g/s), frente a la cual se representa el % de aire 104 estequiométrico y el caudal másico 100 de la corriente de oxidante. La ordenada del lado derecho está en unidades tanto de fracción molar como de g/s, frente a la que se representan la razón O_2/C 106 y el caudal másico 102 de la corriente de combustible de hidrocarburo.

La FIG. 4 ilustra los parámetros de operación del reactor 34 catalítico sobre un intervalo composicional de gas reductor de 2% a 20% de H_2 y de 1% a 10% de CO (de 3% a 30% de $CO+H_2$). Para producir un mayor contenido de combustibles ($CO+H_2$), se eleva el contenido de O_2 en el oxidante. A una razón oxidante/combustible constante de la mezcla de alimentación, por ejemplo, una razón de aire a combustible, elevar el contenido de O_2 en la corriente de oxidante reduce los combustibles y eleva la temperatura de operación. Sin embargo, en la presente realización, a medida que aumenta el contenido de O_2 en la corriente de oxidante, disminuye simultáneamente la razón oxidante/combustible de la mezcla de alimentación, es decir, se hace más rica en combustible, para conseguir un mayor contenido de combustibles a la misma temperatura de operación.

Variando tanto el contenido de O_2 en la corriente de oxidante como la razón oxidante/combustible de la mezcla de alimentación, puede conseguirse un amplio intervalo de potencias de gas reductor a una temperatura de operación seleccionada del catalizador, por ejemplo, 770°C en la presente realización. Por ejemplo, en una forma, el intervalo puede extenderse desde una potencia de gas reductor que representa condiciones de operación normales para el reformador 26 (~45% $CO+H_2$) hasta condiciones débilmente reductoras (~3% $CO+H_2$). En otras formas, pueden emplearse diferentes intervalos, por ejemplo, como se expone en la presente memoria.

A medida que se alcanza un contenido de H_2 del 20% en el gas reductor, las condiciones en el reactor 34 catalítico pueden aproximarse a las que se dan normalmente en el reformador 26 en el modo de producción de energía a medida que el oxidante se aproxima al aire con respecto al contenido de % O_2 y la razón molar de O_2 a C aumenta a 0,65. A medida que el gas reductor se hace más rico en combustibles, el flujo de combustible puede aumentar en un factor de aproximadamente 4 a 20% de H_2 respecto a condiciones débilmente reductoras. El porcentaje del combustible quemado puede disminuir significativamente a medida que las condiciones se aproximan a aquellas en el reformador 26. La temperatura puede mantenerse porque el menor porcentaje de combustión de oxígeno está compensado por la combinación del elevado caudal de combustible y la disminución de la disipación del calor mediante una menor dilución de N_2 en el oxidante. Por lo tanto, aunque la concentración de O_2 en el oxidante aumenta para un aumento de la potencia reductora, como un porcentaje de oxígeno requerido para consumir completamente el combustible, disminuye el nivel de oxígeno. En la presente realización, el contenido porcentual de CO es de aproximadamente $\frac{1}{2}$ del porcentaje del contenido de H_2 a la temperatura de operación deseada y, por lo tanto, el contenido de combustibles del gas reductor es de aproximadamente 1,5 veces el porcentaje de contenido de H_2 en el gas reductor. Aunque la presente solicitud se describe con respecto a un sistema de celda de combustible, se entenderá que el generador 14 de gas reductor es igualmente aplicable a otros sistemas, tales como sistemas para generar gas reductor para otros fines.

Haciendo referencia de nuevo a la FIG. 3C, en el bloque B128, el gas reductor se suministra al reformador 26, y al ánodo 20, por ejemplo, mediante el reformador 26.

En el bloque B130, se inicia una transición de la celda 12 de combustible hacia el modo de producción de energía, que incluye suministrar a la celda 12 de combustible los flujos del combustible primario y el oxidante primario que normalmente se proporcionan a la celda 12 de combustible para la operación en el modo de producción de energía, en contraste con el oxidante y combustible de hidrocarburo proporcionados al generador 14 de gas reductor para generar gas reductor para su uso durante la puesta en marcha o parada de la celda 12 de combustible. La transición hacia el modo de producción de energía también incluye calentar partes de la celda 12 de combustible, que incluye el ánodo 20 y el reformador 26, a la temperatura de operación normal, de una manera controlada, como para reducir las tensiones mecánicas que podrían resultar de los gradientes térmicos dentro de y entre tales componentes. El calentamiento de la celda 12 de combustible puede realizarse antes de, durante y después del suministro de gas reductor a la celda 12 de combustible, y puede realizarse hasta que se consigan temperaturas de operación satisfactorias en tales partes, por ejemplo, el ánodo 20 y el reformador 26. Durante la transición hacia el modo de

producción de energía, el sistema 98 de derivación puede experimentar una transición al modo de derivación.

En el bloque B132, la celda 12 de combustible se hace funcionar en el modo de producción de energía, es decir, el modo de operación normal, para suministrar energía a la carga 16 eléctrica,

5 En el bloque B134, el flujo de aire y el flujo de combustible suministrados al generador 14 de gas reductor se terminan, finalizando la producción de gas reductor por el generador 14 de gas reductor.

10 Haciendo referencia ahora a la FIG. 3D, en el bloque B136, la temperatura del dispositivo de calentamiento se mantiene a o por encima de la temperatura requerida para iniciar la reacción catalítica de la mezcla de alimentación en el catalizador 36. Esta temperatura se mantiene durante la operación de la celda de combustible en el modo de producción de energía, por ejemplo, para proporcionar un rápido reinicio del generador 14 de gas reductor, que incluye un rápido reinicio del catalizador 36, en el caso de necesidad de parar la celda 12 de combustible.

15 En el bloque B138, una orden de parar la celda 12 de combustible del modo de producción de energía es recibida por el sistema 96 de control, por ejemplo, mediante una entrada humana o un proceso automatizado. Se observará que en algunas realizaciones, el bloque B136 puede realizarse después de recibir la orden de parar la celda 12 de combustible. Por ejemplo, en algunas realizaciones, puede que el dispositivo de calentamiento no se haya calentado a una temperatura a o por encima de la temperatura de apagado catalítico hasta que se recibe la orden de parar la celda 12 de combustible.

20 En el bloque B140, el generador 14 de gas reductor genera gas reductor como respuesta a la orden, por ejemplo, realizando algunas o todas las acciones indicadas anteriormente con respecto a los bloques B102 a B128, que incluyen controlar el contenido de O₂ de la corriente de oxidante y la razón oxidante/combustible de la mezcla de alimentación para variar selectivamente la potencia reductora del gas reductor variando selectivamente el contenido de combustibles del gas reductor a un nivel deseado mientras se mantiene una temperatura seleccionada, por ejemplo, la temperatura seleccionada del bloque B122, anterior.

25 En el bloque B142, el gas reductor generado por el generador 14 de gas reductor se suministra al ánodo 20 de la celda 12 de combustible desengranando el sistema 98 de derivación del modo de derivación. Esto puede ayudar a evitar el daño por oxidación al ánodo 20 durante la parada de la celda 12 de combustible. Inicialmente, el gas reductor puede tener una alta potencia reductora, que podría disminuir a medida que disminuye la temperatura de la celda 12 de combustible.

30 En el bloque B144, se inicia una transición de la celda 12 de combustible fuera del modo de producción de energía, que incluye reducir gradualmente el flujo al ánodo 20 del combustible primario que se proporciona normalmente durante la operación en el modo de producción de energía.

En el bloque B146, el flujo de aire y el flujo de combustible suministrados al generador 14 de gas reductor se terminan, finalizando la producción de gas reductor por el generador 14 de gas reductor. El bloque B146 puede ejecutarse después de que el ánodo 20 se haya enfriado suficientemente a una temperatura a la que no preocupa el daño oxidativo, que puede variar con los materiales usados para fabricar el ánodo 20.

35 Un generador de gas reductor según algunas realizaciones de la presente solicitud puede incluir un suministro de aire comprimido que alimenta una membrana polimérica de separación de nitrógeno, que usa alta presión para segregar el oxígeno del nitrógeno a través de una fibra de polímero. Tales realizaciones pueden prevenir la necesidad de nitrógeno embotellado. En otras realizaciones, pueden emplearse otras fuentes de nitrógeno. El producto gaseoso es una corriente rica en nitrógeno que está agotada en oxígeno. Una válvula de derivación de posición variable puede desviar una corriente relativamente pequeña del aire de alimentación alrededor del generador de nitrógeno para mezclarlo con la corriente rica en nitrógeno. En algunas realizaciones, el flujo de aire de derivación es directamente proporcional al contenido final de oxígeno de las corrientes combinadas. La corriente combinada de producto gaseoso rico en nitrógeno y aire de derivación puede denominarse corriente de oxidante, que pasa a través de un dispositivo de control de flujo que ajusta el flujo de oxidante al proceso. La válvula de derivación controla las proporciones de aire de derivación y gas rico en nitrógeno para conseguir el contenido de oxígeno deseado de la corriente de oxidante.

40 Puede introducirse una cantidad relativamente pequeña de combustible de hidrocarburo en la corriente de oxidante a través de un dispositivo de control de flujo. En un modo de flujo de estado estacionario, la combinación premezclada de oxidante y combustible se alimenta directamente a un reactor catalítico que convierte la mezcla de alimentación en el gas reductor. Comparado con la combustión en aire ordinaria, la corriente de oxidante con contenido reducido de oxígeno puede traducirse en menos combustible por combustibles unitarios producidos en el gas reductor. Por lo tanto, el aporte de energía química requerido (es decir, la carga térmica debida a la entrada de combustible) por producción unitaria de combustibles (por ejemplo, H₂ y CO) puede disminuir también, y por lo tanto, puede ser necesario extraer menos calor del gas de proceso para enfriar la corriente de producto a una temperatura requerida. La dilución de nitrógeno de la corriente de oxidante puede disminuir también la temperatura de reacción en el intervalo que puede ser preferible para el catalizador, y puede no superar los límites del material en el intercambiador de calor aguas abajo. En contraste con las realizaciones de la presente invención, un reactor diseñado para la combustión con aire normal (en contraste con el oxidante rico en nitrógeno empleado en las

realizaciones de la presente invención) a la escala requerida podría ser complejo, y podría requerir camisas de enfriamiento que probablemente requerirían un refrigerante líquido o, de lo contrario, un flujo volumétrico muy alto de gas refrigerante, y por lo tanto, tendría una tasa de transferencia de calor relativamente grande para proteger los materiales del reactor de una temperatura excesiva. En contraste, el reactor catalítico de algunas realizaciones de la presente invención puede estar diseñado para funcionar a una temperatura menor sin necesidad de enfriamiento externo.

La oxidación del combustible con un oxidante agotado en oxígeno puede producir un intervalo dado de concentración de combustibles (o flujo molar) sobre un intervalo mucho más amplio de la razón de aire a combustible respecto a la combustión con aire ordinaria, que hace más fácil de conseguir el control del contenido de combustibles.

Un termopar o termopares pueden supervisar la temperatura de salida en la salida del catalizador. El termopar puede actuar como la entrada de control para la válvula de derivación de aire. Si la temperatura de salida cayera demasiado por debajo del punto de consigna, una señal de control abriría la derivación en una cierta cantidad puesto que una corriente de oxidante que tiene una mayor proporción de O₂ eleva la temperatura de salida (oxidando más combustible) y viceversa. La temperatura del punto de consigna se ajusta suficientemente alta para conseguir la conversión completa de la mezcla de alimentación inflamable a la composición de gas equilibrada, pero no tan alta como para aproximarse a las temperaturas límite del material operacional para cualquiera del catalizador o el intercambiador de calor aguas abajo.

Un sensor de oxígeno puede medir el contenido de oxígeno en una base volumétrica de la corriente de oxidante aguas abajo del punto de mezcla para el aire de derivación y la corriente rica en nitrógeno que sale del generador de nitrógeno. Una realización alternativa puede emplear la concentración de oxígeno medida en lugar de la temperatura de salida para posicionar la válvula de control de derivación de aire de manera que la temperatura de salida se mantenga en un valor del punto de consigna. Esto puede ser preferible durante la puesta en marcha antes de que esté disponible una temperatura de salida representativa del reactor en estado estacionario para ajustar la posición de la válvula de derivación.

El sensor de oxígeno puede ser un pequeño sensor de zirconia mantenido a una alta temperatura, por ejemplo, aproximadamente 600°C para algunas realizaciones, que desarrolla un potencial de Nernst cuando se expone a oxígeno, que está relacionado con el contenido de oxígeno del gas. El sensor puede localizarse in-situ. Sin embargo, el sensor puede sumergirse alternativamente en una pequeña corriente retrógrada controlada que se ventea fuera de la línea de proceso principal a través de un orificio de flujo crítico. El software de control puede dictar la relación entre la desviación del contenido de oxígeno medido a partir del valor diana, y la cantidad incremental que se abre la válvula de derivación como resultado. El sensor puede tener una rápida respuesta a los cambios en el contenido de oxígeno del gas de proceso y, por lo tanto, el ajuste optimizado de los parámetros en el bucle de control de la válvula de derivación de aire puede proporcionar un control más fiable sobre un amplio intervalo de condiciones.

El intercambiador de calor aguas abajo enfría el gas reductor a una temperatura que se requiere para la introducción del gas reductor en el proceso aguas abajo. Un bucle de control de temperatura puede variar un flujo de aire de enfriamiento u otro medio de enfriamiento para el intercambiador de calor basado en la desviación de la temperatura de salida del catalizador de la temperatura de punto de consigna del gas que sale. El intercambiador de calor puede ser un diseño de aleación de acero compacta o de cerámico para soportar la temperatura del gas que sale del catalizador.

Un sensor de hidrógeno o combustibles puede extraer una corriente retrógrada del gas de proceso aguas abajo del intercambiador de calor para medir el porcentaje en volumen de hidrógeno o combustibles como un constituyente del gas reductor. El software de control puede comparar el %H₂ medido con un valor del punto de consigna y, basándose en la diferencia, envía una señal de control a la válvula de control de combustible. Si el %H₂ medido se desvía demasiado por debajo del punto de consigna, aumentará la alimentación de combustible, y viceversa. El software de control puede dictar la relación entre la desviación del %H₂ medido con el % H₂ diana, y la cantidad incremental que se abre o cierra la válvula de combustible.

Un enfoque para medir continuamente el hidrógeno usa un sensor de hidrógeno de conductividad térmica calibrado sobre el intervalo permisible de contenido de hidrógeno para el gas reductor. Similar al sensor de oxígeno, puede usarse un orificio de flujo crítico como una manera relativamente barata y sencilla de introducir una corriente retrógrada muy pequeña del gas reductor en la muestra correcta de flujo de gas al sensor.

Un método para el reinicio rápido del catalizador desde una condición de espera para llevar el generador de gas reductor de vuelta al estado en línea tan rápidamente como sea posible para acontecimientos imprevisibles dentro del sistema de celda de combustible que requerirán un suministro inmediato de gas reductor seguro puede proporcionarse también mediante las realizaciones de la presente invención. Una capacidad de reinicio rápido puede evitar la necesidad de almacenamiento de gas reductor embotellado necesario para rellenar el hueco entre el tiempo que se demanda el gas y el tiempo requerido para llevar el generador de gas reductor al estado en línea. Un método de reinicio rápido puede emplear un calentador con una alta masa térmica localizado justo aguas arriba del reactor catalítico y, por ejemplo, un par de válvulas o una válvula de tres vías para desviar el flujo de la mezcla de

alimentación a través del calentador. Durante la operación normal, la válvula dirige la mezcla directamente al reactor catalítico, circunvalando el calentador. En la puesta en marcha, el flujo puede desviarse a través del calentador. En ausencia de flujo, por ejemplo, en condiciones inactivas del generador de gas reductor, el calentador suministra continuamente suficiente energía para mantener el metal a la temperatura de precalentamiento deseada mientras se equilibra una pérdida de calor relativamente pequeña, y de esta manera, esta demanda de energía puede ser pequeña. Dentro del calentador, puede haber una bobina de flujo con un cuerpo metálico. El calentador puede contener suficiente masa térmica de manera que, cuando se inicia el flujo tras un intento de reinicio, la corriente de proceso adquiere inmediatamente la temperatura de ignición diana.

Tal diseño puede ser relativamente seguro porque puede conseguir un buen aislamiento térmico entre la mezcla inflamable y el suministro de energía que actúa sobre el cuerpo metálico. Antes de la secuencia de reinicio, el calentador regula la energía al metal interno a la temperatura requerida antes de la introducción de flujo, y debe mantener únicamente energía para compensar la pérdida de calor a través del aislamiento circundante en esta condición.

En un intento de puesta en marcha, puede aumentarse inmediatamente la energía hasta mantener o elevar el punto de consigna de la temperatura de precalentamiento hasta que se consigue la reacción de la mezcla de alimentación del catalizador. Una vez que se consigue esto, por ejemplo, como se indica por un aumento suficiente en la temperatura en la salida del catalizador, el flujo puede desviarse alrededor del calentador de ignición directamente en el catalizador (modo flujo de operación normal) para evitar el sobrecalentamiento del catalizador.

Para promover adicionalmente un reinicio rápido, los calentadores de banda pueden proporcionar una fuente de calor adicional. Los calentadores de banda pueden rodear el reactor catalítico para mantener el catalizador en o por encima de la temperatura de apagado del catalizador antes de que el flujo se inicie en la puesta en marcha. Antes de la puesta en marcha, los calentadores de banda proporcionarían preferiblemente la energía para compensar la pérdida de calor a través del aislamiento que rodea los calentadores de banda. Una vez que el catalizador está encendido, los calentadores de banda pueden desconectarse cuando la temperatura superficial sube por encima del punto de consigna de la temperatura de los calentadores. La energía al calentador pueden desconectarse o bajarse para mantener la masa térmica del calentador a la temperatura del punto de consigna para el siguiente reinicio.

Otras realizaciones alternativas simplificarán el esquema de calentamiento empleando un calentador estrechamente acoplado a la entrada del catalizador. Este procedimiento puede usar un calentador de baja masa térmica que iniciaría localmente la reacción cerca del lado delantero del catalizador por acoplamiento término cercano, que en tales realizaciones puede reducir potencialmente el recuento y costo de la parte del generador de gas reductor.

En una realización adicional, el generador de gas reductor puede reemplazar el reformador interno para el sistema de celda de combustible para aquellas realizaciones donde el generador de gas reductor está estructurado para producir un gas reductor que es adecuado para la producción de energía en el sistema de celda de combustible. En algunas de estas realizaciones, el generador de gas reducido puede usarse para producir un gas reductor de una composición para poner en marcha y parar el sistema de celda de combustible, y para producir un gas reductor de una composición alternativa para la operación normal del sistema de celda de combustible.

Haciendo referencia a las FIGS. 5A y 5B, se representan esquemáticamente algunos aspectos de ejemplos no limitantes de un generador 214 de gas reductor según las realizaciones de la presente invención. En las realizaciones representadas en las FIGS. 5A y 5B, se representan diversos elementos, componentes e interrelaciones entre los aspectos de las realizaciones de la presente invención. Sin embargo, la presente invención no se limita a las realizaciones particulares de las FIGS. 5A y 5B y los componentes, elementos e interrelaciones entre ellos se ilustran en las FIGS. 5A y 5B y se describen en la presente memoria. Por ejemplo, en otras realizaciones abarcadas por la presente invención, la presente invención se manifiesta por los principios descritos explícita e implícitamente en la presente memoria mediante las presentes Figuras y Descripción Detallada y expuestos en las Reivindicaciones, que pueden incluir un mayor o menor número de componentes, elementos y/o interrelaciones entre ellos, y/o pueden emplear diferentes componentes y/o elementos que tienen la misma y/o diferente naturaleza y/o interrelaciones entre ellos, que pueden emplearse para realizar funciones similares y/o diferentes respecto a aquellas ilustradas en las FIGS. 5A y 5B y descritas en la presente memoria.

En algunas realizaciones del generador de gas reductor, es deseable aumentar el contenido (concentración) de compuestos inflamables del gas reductor, que puede denominarse también como combustible reformado, por encima del proporcionado por algunas de las realizaciones descritas anteriormente. El contenido de inflamables (también denominados combustibles) en el gas reformado varía con el contenido (concentración) de oxígeno (O₂) presente en el oxidante suministrado con el combustible de hidrocarburo al reformador. Por ejemplo, algunas de las realizaciones descritas anteriormente empleaban la válvula 58 de control de aire para añadir aire de forma variable al gas rico en nitrógeno recibido desde el generador 54 de nitrógeno para producir un oxidante que tiene un contenido variable de oxígeno que varía, por ejemplo, y sin que ello pretenda ser limitante, de 5% a aproximadamente 21% en volumen. En tales realizaciones, el contenido de compuestos inflamables del gas reformado descargado por el reactor 34 catalítico, que es un gas reductor, varía con la cantidad de oxígeno proporcionada en el oxidante. El inventor ha determinado que puede emplearse un oxidante enriquecido en oxígeno que tiene un mayor contenido de oxígeno que el aire para producir un mayor contenido de inflamabilidad en el gas

reformado que sale del reactor 34 catalítico que el conseguido usando aire o aire enriquecido con nitrógeno que tiene un menor contenido de oxígeno que el aire como el oxidante.

Por consiguiente, en algunas realizaciones, el generador 214 de gas reductor incluye un sistema 230 de oxidante configurado para proporcionar un oxidante con un contenido de oxígeno mayor que el del aire atmosférico ambiente.

5 En una forma, el sistema de oxidante está configurado para proporcionar el oxidante sin el uso de oxígeno almacenado, por ejemplo, oxígeno embotellado u otras formas de oxígeno comprimido o licuado. El generador 214 de gas reductor está configurado para proporcionar o descargar un gas reductor 215 que tiene un intervalo expandido de contenido de compuestos inflamables relativo al gas reductor proporcionado por el generador 14 de gas reductor, basado en el uso del oxidante descargado por el sistema 230 de oxidante. Puede suministrarse gas reductor 215, en diversas realizaciones, a otros sistemas, tales como motores de pistón, motores de turbina de gas, sistemas de celda de combustible y/u otros sistemas que emplean gas reductor. En algunas realizaciones, el sistema 230 de oxidante está configurado para proporcionar un oxidante con el contenido de oxígeno a un valor seleccionado en un intervalo que tiene un valor máximo que supera el contenido de oxígeno del aire, por ejemplo, en el intervalo de aproximadamente 21% a 40% oxígeno en volumen en algunas realizaciones, y de aproximadamente 21% a 50% de oxígeno en volumen o mayor en otras realizaciones. En algunas realizaciones, el sistema 230 de oxidante está configurado para proporcionar un contenido variable de oxígeno en el oxidante en un intervalo que tiene un valor máximo que supera el contenido de oxígeno del aire, por ejemplo, en el intervalo de aproximadamente 21% a 40% de oxígeno en volumen en algunas realizaciones, y de aproximadamente 21% a 50% de oxígeno en volumen o mayor en otras realizaciones. En algunas realizaciones, el sistema 230 de oxidante está configurado para variar el contenido de oxígeno en un intervalo que se extiende desde por debajo del contenido de oxígeno del aire atmosférico ambiente hasta un contenido de oxígeno por encima de el del aire atmosférico ambiente, por ejemplo, en el intervalo de aproximadamente 5% a 40% de oxígeno en volumen en algunas realizaciones, y de aproximadamente 5% a 50% de oxígeno en volumen o mayor en otras realizaciones o menor en otras realizaciones más. En algunas realizaciones, se usa el sistema 230 de oxidante en lugar del sistema 30 de oxidante en el generador 14 de gas reductor para producir un generador 214 de gas reductor configurado para descargar un gas reductor que tiene un mayor contenido de compuestos inflamables que el generador 14 de gas reductor. El sistema 230 de oxidante tiene muchos de los mismos componentes descritos anteriormente con respecto al sistema 30 de oxidante, que realizan la misma o similar función que aquellos descritos anteriormente con respecto al sistema 30 de oxidante y el generador 14 de gas reductor.

30 En una forma, el generador 214 de gas reductor emplea los mismos componentes para realizar la misma o similar función que la descrita anteriormente con respecto al generador 14 de gas reductor, la mayoría de los cuales no se ilustran en la FIG. 5 por cuestiones de claridad, excepto que el sistema 30 de oxidante está reemplazado por un sistema 230 de oxidante. En otras realizaciones, el generador 214 de gas reductor puede incluir únicamente uno o más de los componentes descritos anteriormente con respecto al generador 14 de gas reductor y/o puede incluir componentes no descritos anteriormente con respecto al generador 14 de gas reductor. En algunas realizaciones, cualquiera de los mismos componentes descritos anteriormente con respecto al generador 14 de gas puede proporcionar la misma y/o diferente función en el generador 214 de gas reductor.

Aunque el componente identificado con el número de elemento 34 se ha denominado como un "reactor catalítico," los expertos habituales en la materia entenderán que el reactor 34 catalítico es una forma de un reformador. Por lo tanto, el reactor 34 catalítico puede denominarse también como "reformador 34". Los expertos habituales en la materia entenderán también que pueden emplearse uno o más tipos de reformador distintos además de o en lugar de un reactor catalítico en algunas realizaciones de la presente invención.

45 En una forma, el sistema 230 de oxidante incluye una admisión 48 de aire (que en diversas realizaciones puede estar presurizado o no, por ejemplo, puede estar provisto o no de aire presurizado); un compresor 50; una válvula 52, por ejemplo, un regulador de presión; un generador o separador 54 de nitrógeno que tiene una membrana 56 de separación de nitrógeno, una válvula 58, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, una válvula de control de flujo de gas; una cámara 232 de combinación; un controlador 60, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, un controlador de flujo de gas; una válvula 62, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, una válvula de control de flujo de oxidante; un controlador 64, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, un controlador de flujo de oxidante; y un sensor 66 de oxígeno. La salida del sistema 230 de oxidante se descarga a la cámara 32 de combinación. En una forma, cada cámara 32 de combinación, admisión 48 de aire, compresor 50, válvula 52, generador o separador 54 de nitrógeno con membrana 56 de separación de nitrógeno, controlador 60, válvula 62, controlador 64 y sensor 66 de oxígeno son iguales o similares, y están configurados para realizar la misma o similar función que la expuesta anteriormente con respecto al sistema 30 de oxidante y el generador 14 de gas reductor y, por lo tanto, se describen usando los mismos caracteres de referencia (números de elemento). En otras realizaciones, el sistema 230 de oxidante puede incluir únicamente uno o más de los componentes descritos anteriormente con respecto al sistema 30 de oxidante y/o uno o más de tales componentes puede realizar una función diferente; y/o el sistema 230 de oxidante puede incluir componentes no descritos anteriormente con respecto al sistema 30 de oxidante. Por ejemplo, en algunas realizaciones, las válvulas 52 y 62, y el controlador 64 pueden estar reemplazados por un sensor de flujo que controla la velocidad del compresor 50. Se entenderá que en algunas realizaciones, pueden emplearse otros tipos de sistemas de extracción de nitrógeno además de o en lugar de la membrana 56 de separación de nitrógeno. El sistema 230 de oxidante también incluye una válvula 234, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, una válvula reguladora de contrapresión, aunque pueden emplearse otros tipos

de válvula en otras realizaciones de la presente invención.

El compresor 50 está en comunicación fluida con la admisión 48 de aire. La válvula 52 está en comunicación fluida con el compresor 50 y el separador 54 de nitrógeno en el lado 236 de alta presión de la membrana 56 de separación de nitrógeno (como en el generador 14 de gas reductor), y está configurada para controlar el flujo de aire suministrado al separador 54 de nitrógeno. La membrana 56 de separación de nitrógeno está configurada para extraer el nitrógeno del aire suministrado a la misma, y descargar el resto del aire suministrado como un gas rico en oxígeno que tiene un mayor contenido de oxígeno que el aire atmosférico ambiente, en donde el gas rico en oxígeno forma al menos una parte del oxidante descargado por el sistema 230 de oxidante. Por lo tanto, el generador 54 de nitrógeno está configurado también para extraer el oxígeno del aire en forma de un gas rico en oxígeno, y descargar un gas rico en oxígeno con el oxígeno extraído para formar al menos una parte del oxidante. El generador 54 de nitrógeno está configurado también para descargar un gas rico en nitrógeno, teniendo el gas rico en nitrógeno un contenido de nitrógeno mayor que el del aire atmosférico ambiente, por ejemplo, en términos de porcentaje en volumen.

La válvula 58 está acoplada a una cámara 232 de combinación, que tiene atributos estructurales similares a los descritos anteriormente con respecto a la cámara 32 de combinación. La cámara 232 de combinación también está en comunicación fluida con el separador 54 de nitrógeno en el lado 238 de baja presión de la membrana 56 de separación de nitrógeno, que proporciona un gas rico en oxígeno, por ejemplo, aire enriquecido en oxígeno.

La cámara 32 de combinación está configurada para recibir el combustible de hidrocarburo y el oxidante descargado del sistema 230 de oxidante, y para descargar una corriente de alimentación que contiene tanto el combustible de hidrocarburo como el oxidante. El controlador 60 está acoplado operativamente a la válvula 58 y configurado para hacer funcionar la válvula 58. La válvula 62 está en comunicación fluida con la cámara 32 de combinación y configurada para descargar un oxidante (corriente) a la cámara 32 de combinación. El controlador 64 está acoplado operativamente a la válvula 62 y configurado para hacer funcionar la válvula 62. El sensor 66 de oxígeno está configurado para detectar el contenido de oxígeno del oxidante descargado de la válvula 62.

La válvula 234 está en comunicación fluida con el separador 54 de nitrógeno en el lado 236 de alta presión, y con la válvula 58. El exceso de gas rico en nitrógeno se purga, por ejemplo, a la atmósfera o a un componente o sistema que requiera un gas rico en nitrógeno. La válvula 234 determina cuánto exceso de gas rico en nitrógeno se purga del sistema 230 de oxidante. En una forma, la válvula 234 regula la contrapresión frente al lado 236 de alta presión del separador 54 de nitrógeno, y frente a la válvula 58. En una forma, la cantidad de exceso de gas rico en nitrógeno que se purga aumenta con el aumento del contenido de oxígeno en el oxidante descargado por el sistema 230 de oxidante. La contrapresión mantenida por la válvula 234 determina, al menos en parte, cuánto gas rico en oxígeno se descarga por el lado 238 de baja presión del separador 54 de nitrógeno.

La válvula 58 está configurada para controlar la cantidad de gas rico en nitrógeno del separador 54 de nitrógeno que se suministra a la cámara 232 de combinación. En una forma, la salida del lado 236 de baja presión del separador 54 de nitrógeno se suministra directamente a la cámara 232 de combinación para combinar el gas rico en oxígeno del lado 236 de baja presión del separador 54 de nitrógeno con el gas rico en nitrógeno suministrado por el lado 236 de alta presión del separador 54 de nitrógeno para producir un oxidante (corriente). La válvula 62 y el controlador 64 están configurados para controlar cuánto oxidante se suministra a la cámara 32 de combinación para combinar con un combustible de hidrocarburo gaseoso, tal como gas natural o gas natural comprimido (CNG), para su uso en el reformador 34. El reformador 34 está en comunicación fluida con la cámara 32 de combinación, y está configurado para recibir la corriente de alimentación de la cámara 32 de combinación, para reformar la mezcla de alimentación en un gas reductor, y descargar el gas reductor.

El lado 238 de baja presión del separador 54 de nitrógeno está configurado para descargar el gas rico en oxígeno con un contenido de oxígeno mayor que el aire ambiente atmosférico, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, hasta un contenido de oxígeno de 40% en volumen en algunas realizaciones, y hasta un contenido de oxígeno de 50% o mayor en volumen en otras realizaciones. Mezclando el gas rico en oxígeno con gas rico en nitrógeno, puede reducirse el contenido resultante de oxígeno del oxidante descargado por el sistema 230 de oxidante, por ejemplo, desde un valor máximo. Por lo tanto, el oxidante descargado por el sistema 230 de oxidante puede tener un valor máximo para el contenido de oxígeno mayor que el del aire, hasta un contenido de oxígeno de 40% en volumen en algunas realizaciones, y hasta un contenido de oxígeno de 50% o mayor en volumen en otras realizaciones.

En algunas realizaciones, puede obtenerse también un menor contenido de oxígeno, por ejemplo, por debajo del 5% o menos oxígeno en volumen. Haciendo referencia a la FIG. 5B, en algunas realizaciones, como se ha expuesto anteriormente, el sistema 230 de oxidante puede estar configurado para proporcionar un oxidante que tiene un contenido de oxígeno menor que el del aire atmosférico ambiente, por ejemplo, hasta 5% o menor, por ejemplo, incluyendo algunos aspectos adicionales del sistema 30 de oxidante. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el sistema 230 de oxidante puede incluir también un segundo ejemplo de válvula 58 y controlador 60, denominados en la presente memoria como válvula 258 y controlador 260, en comunicación fluida entre la descarga de la válvula 52 y la cámara 232 de combinación. El controlador 260 se acopla al sensor 66 de oxígeno, y está configurado para hacer funcionar la válvula 260 para controlar un flujo de aire presurizado desde el compresor 50 y la válvula 52 hasta una

cámara 232 de combinación. Además, tales realizaciones del sistema 230 de oxidante pueden incluir una válvula 201, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, una válvula de obturación; una válvula 203, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, una válvula de derivación; y una válvula 205, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, una válvula de tres vías. Para producir un oxidante que tenga un contenido de oxígeno de aproximadamente 21% o menor en volumen, se cierra la válvula 201 para evitar la purga de gas rico en nitrógeno del lado 236 de alta presión del separador 54 de nitrógeno. Además, la válvula 203 se abre, y la válvula 58 se cierra, derivando así la salida del lado 236 de alta presión del separador 54 de nitrógeno (gas rico en nitrógeno) directamente a la cámara 232 de combinación. Asimismo, la válvula 205 se conecta para purgar la salida del lado 238 de baja presión del separador 54 de nitrógeno, por ejemplo, a la atmósfera o a una aplicación que emplee un gas rico en oxígeno. Para producir un oxidante que tenga un contenido de oxígeno de aproximadamente 21% o mayor en volumen, se abre la válvula 201 para permitir la purga de gas rico en nitrógeno del lado 236 de alta presión del separador 54 de nitrógeno mediante una válvula 234. Además, la válvula 203 se cierra, y la válvula 58 se abre, dirigiendo así la salida del lado 236 de alta presión del separador 54 de nitrógeno (distinta de la que se purga) a través de la válvula 58 a la cámara 232 de combinación. Asimismo, la válvula 205 se conecta para suministrar la salida del lado 238 de baja presión del separador 54 de nitrógeno a la cámara 232 de combinación.

En algunas realizaciones, uno o más del compresor 50, y las válvulas 52, 234, 58 y 62 pueden ajustarse o controlarse, manual o automáticamente, para proporcionar un oxidante que tiene un contenido de oxígeno seleccionable, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, en el intervalo de aproximadamente 21% a 40% de oxígeno en volumen en algunas realizaciones, y de aproximadamente 21% a 50% de oxígeno en volumen o mayor en otras realizaciones. En algunas realizaciones, uno o más del compresor 50, y las válvulas 52, 234, 58 y 62, así como las válvulas, 201, 203, 205, 258 y 260 pueden ajustarse o controlarse, manual o automáticamente, para proporcionar un oxidante que tiene un contenido de oxígeno seleccionable en el intervalo de, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, el intervalo de aproximadamente 5% a 40% de oxígeno en volumen en algunas realizaciones, y de aproximadamente 5% a 50% de oxígeno en volumen o mayor en otras realizaciones. En otras realizaciones, uno o más del compresor 50, y las válvulas 52, 234, 58 y 62, y en algunas realizaciones, una o más de las válvulas, 201, 203, 205, 258 y 260 también, pueden ajustarse o controlarse, manual o automáticamente, para proporcionar un contenido variable de oxígeno en el oxidante suministrado por el sistema 230 de oxidante, es decir, que varía dentro de un intervalo, "sobre la marcha", por ejemplo, para satisfacer la demanda, tal como un contenido deseado de inflamables del gas reductor descargado por el generador 214 de gas reductor. En diversas realizaciones, el intervalo puede ser, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, de aproximadamente 21% a 40% de oxígeno en volumen en algunas realizaciones, y de aproximadamente 21% a 50% de oxígeno en volumen o mayor en otras realizaciones, o puede ser de aproximadamente 5% a 40% de oxígeno en volumen en algunas realizaciones, y de aproximadamente 5% a 50% oxígeno en volumen o mayor en otras realizaciones. En otras realizaciones, pueden seleccionarse otros intervalos adecuados.

El gas reductor que sale del reformador 34 incluye compuestos inflamables, que incluyen principalmente hidrógeno (H_2) y monóxido de carbono (CO), y algo de metano sin reaccionar, por ejemplo, del orden de aproximadamente 1%, y cantidades traza de hidrocarburo superior sin reaccionar, tal como etano. El gas reductor también incluye también contiene otros gases, por ejemplo, incluyendo nitrógeno, dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (vapor).

Haciendo referencia a la FIG. 6, se representa un ejemplo no limitante de un gráfico 106 del porcentaje de compuestos inflamables producidos por un reformador, tal como el reformador 34, frente al porcentaje de oxígeno en el oxidante suministrado al reformador, a una conversión constante de metano, es decir, a un porcentaje constante de metano en el gas reductor descargado por el reformador 34. El gráfico de la FIG. 6 está basado en cálculos de simulación del proceso de equilibrio termodinámico. A partir del gráfico de la FIG. 6, se observa que el contenido de compuestos inflamables (porcentaje compuestos inflamables) del gas reductor aumenta con el aumento de oxígeno en el oxidante suministrado como parte de la corriente de alimentación proporcionada al reformador 34. La razón oxígeno/carbono en el gráfico de la FIG. 6 varía entre aproximadamente 0,6 (por ejemplo, a 50% de oxígeno en volumen) y 0,7 (por ejemplo, a 21% de oxígeno en volumen). El contenido de compuestos inflamables de la FIG. 6 varía de un contenido de oxígeno en volumen de aproximadamente 45% en volumen a aproximadamente 21% en el oxidante hasta un contenido de oxígeno en volumen de aproximadamente 80% en volumen a 50% en el oxidante.

Proporcionando un oxidante que tiene un mayor contenido de oxígeno que el del aire atmosférico ambiente, la cantidad de compuestos inflamables en el gas reductor descargado por el reformador 34 puede ser mayor que la que se puede generar usando un contenido de oxígeno equivalente al del aire. Además, variando el contenido de oxígeno, por ejemplo, en uno o más de los intervalos expuestos anteriormente, el contenido de compuestos inflamables del gas reductor 215 descargado por el generador de gas reductor puede variarse sobre un intervalo sustancial. Por ejemplo, y sin que ello pretenda ser limitante, en algunas realizaciones, un contenido de compuestos inflamables de aproximadamente 45% a 70% en volumen, en otras realizaciones, un contenido de compuestos inflamables de aproximadamente 45% a 80% en volumen; en otras realizaciones más, un contenido de compuestos inflamables de aproximadamente cerca de 0% a 70% en volumen; y en aún otras realizaciones, en otras realizaciones más, un contenido de compuestos inflamables de aproximadamente casi 0% a 80% en volumen.

En algunas realizaciones, se genera el gas reductor generando un oxidante con el sistema 230 de oxidante que tiene un contenido de oxígeno mayor que el del aire atmosférico ambiente, formando una corriente de alimentación con el oxidante y un combustible de hidrocarburo; y reformando la corriente de alimentación, por ejemplo, en el

reformador 34, por ejemplo, dirigiendo la corriente de alimentación al catalizador 36; y convirtiendo catalíticamente la corriente de alimentación en un gas reductor. En algunas realizaciones, el contenido de oxígeno del oxidante puede variarse o seleccionarse dentro de un intervalo, por ejemplo, como se ha expuesto anteriormente. En una forma, la generación del oxidante incluye suministrar aire presurizado a la membrana 56 de separación de nitrógeno; extraer un gas rico en oxígeno usando la membrana 56 de separación de nitrógeno; y formar el oxidante al menos en parte usando el gas rico en oxígeno. En algunas realizaciones, puede proporcionarse un oxidante que tiene un contenido de oxígeno seleccionable en el intervalo de aproximadamente 21% a 40% de oxígeno en volumen, y de aproximadamente 21% a 50% de oxígeno en volumen o mayor en otras realizaciones. En algunas realizaciones, puede proporcionarse un oxidante que tiene un contenido de oxígeno seleccionable en el intervalo de aproximadamente 5% a 40% de oxígeno en volumen en algunas realizaciones, y de aproximadamente 5% a 50% de oxígeno en volumen o mayor en otras realizaciones.

En algunas realizaciones, el gas reductor puede generarse usando el sistema 230 de oxidante para generar un oxidante que tiene un contenido de oxígeno seleccionable, en donde un contenido de oxígeno máximo del oxidante supera el del aire atmosférico ambiente; usando el reformador 34 para reformar un combustible de hidrocarburo con el oxidante para producir gas reductor 215; y descargando el gas reductor 215 del reformador 34. En algunas realizaciones, puede generarse también un oxidante que tiene un contenido de oxígeno menor que el del aire atmosférico ambiente.

Haciendo referencia a la FIG. 7, se representan esquemáticamente algunos aspectos de ejemplos no limitantes de un generador 314 de gas reductor según las realizaciones de la presente invención. En la realización representada en la FIG. 7, se representan diversos elementos, componentes e interrelaciones entre los aspectos de una realización de la presente invención. Sin embargo, la presente invención no está limitada a la realización particular de la FIG. 7 y los componentes, elementos e interrelaciones entre ellos como se ilustran en la FIG. 7 y se describen en la presente memoria. Por ejemplo, otras realizaciones abarcadas por la presente invención, manifestándose la presente invención por los principios descritos explícita e implícitamente en la presente memoria mediante las presentes Figuras y Descripción Detallada y expuestos en las Reivindicaciones, pueden incluir un mayor o menor número de componentes, elementos y/o interrelaciones entre ellos, y/o pueden emplear diferentes componentes y/o elementos que tienen la misma y/o diferente naturaleza y/o interrelaciones entre ellos, que pueden emplearse para realizar una función similar y/o diferente respecto a aquellos ilustrados en la FIG. 7 y descritos en la presente memoria.

En diversas realizaciones, el sistema 314 de suministro de combustible emplea algunos de los mismos componentes para realizar la misma o similar función que los descritos anteriormente con respecto al generador 14 de gas reductor y/o el generador 214 de gas reductor para producir un gas reductor o combustible reformado, que se describen en la presente memoria usando los mismos caracteres de referencia (números de elemento) que los expuestos anteriormente con respecto al generador 14 y/o 214 de gas reductor. En otras realizaciones, el generador 314 de gas reductor puede incluir únicamente uno o más de los componentes descritos anteriormente con respecto al generador 14 y/o 214 de gas reductor, y/o puede incluir componentes no descritos anteriormente con respecto al generador 14 y/o 214 de gas reductor. En algunas realizaciones, cualquiera de los mismos componentes descritos anteriormente con respecto al generador 14 de gas y/o 214 puede proporcionar la misma y/o diferente función en el generador 314 de gas reductor.

En algunas realizaciones del generador de gas reductor, es deseable aumentar localmente la temperatura hacia el lado de la entrada del catalizador 36 dentro del generador 14 o 214 de gas reductor para que esté dentro de un intervalo deseado mayor que el proporcionado por algunas de las realizaciones descritas anteriormente. Sin embargo, los catalizadores típicamente se desactivan con el tiempo, por ejemplo, durante su uso. A medida que el catalizador se desactiva lentamente con el tiempo, la desactivación progresa desde el lado de la entrada del catalizador al lado de la salida del catalizador, dejando cada vez menos volumen de catalizador capaz de reformar el combustible entrante. Este proceso va acompañado de una región de aumento rápido de la temperatura que progresa cada vez más aguas abajo. El inventor ha determinado que puede usarse una corriente de reciclado rica en hidrógeno (H₂) para regenerar la actividad del catalizador hacia el lado delantero del catalizador debido a la reactividad de hidrógeno relativamente alta, que en algunas realizaciones amplía la vida del catalizador.

Por consiguiente, el generador 314 de gas reductor incluye un sistema 300 de reciclado de gas reductor. Como se ilustra ejemplarmente, la cámara 32 de combinación está configurada para recibir un oxidante del sistema 30 o 230 de oxidante y un combustible de hidrocarburo (por ejemplo, gaseoso) del sistema 28 de combustible. La corriente de alimentación descargada de la cámara 32 de combinación puede incluir el oxidante y el combustible de hidrocarburo. El reformador 34 está configurado para recibir la corriente de alimentación y hacer reaccionar catalíticamente la corriente de alimentación para producir un gas reductor. El sistema 300 de reciclado de gas reductor está configurado para añadir una parte de la salida de gas reductor mediante el reformador 34 de vuelta a la corriente de alimentación suministrada al reformador 34.

En una forma, el sistema 300 de reciclado de gas reductor incluye un empalme 302, una bomba 304 de reciclado y un circuito 305 de reciclado. El empalme 302 es operable para recibir el gas reductor y dirigir una parte del gas reductor a la bomba 304 de reciclado a través del circuito 305 de reciclado. Como se usa en la presente memoria, la parte del gas reductor dirigida a la bomba 304 de reciclado se denomina también como "gas de reciclado". En una

forma, el gas de reciclado es gas de reciclado enfriado, que se ha enfriado mediante el intercambiador 88 de calor (expuesto más adelante). La bomba 304 de reciclado está dispuesta en comunicación fluida con la cámara 32 de combinación y está configurada para presurizar un flujo del gas de reciclado y descargar el flujo presurizado en la cámara 32 de combinación. De esta manera, en el generador 314 de gas reductor, la cámara 32 de combinación está configurada para recibir el gas de reciclado de la bomba 304 de reciclado, además del oxidante y el combustible de hidrocarburo, y la corriente de alimentación suministrada al reformador 34, por lo tanto, incluye el gas de reciclado. El circuito 305 de reciclado está en comunicación fluida con el empalme 302 y la bomba 304 de reciclado, y es operativo para suministrar el gas reductor como gas de reciclado a la bomba 304 de reciclado.

La bomba 304 de reciclado puede proporcionarse en forma de uno o más dispositivos de bombeo adecuados. En una realización, la bomba 304 de reciclado puede proporcionarse como un dispositivo de bombeo mecánico. Un ejemplo de un dispositivo de bombeo mecánico adecuado es una soplante de reciclado de hidrógeno fabricada por Parker Hannifin. En otra realización, la bomba 304 de reciclado puede proporcionarse como un dispositivo de bombeo de chorro (por ejemplo, un eyector). El fluido en movimiento presurizado en un eyector ejemplar puede incluir un fluido tal como gas natural presurizado, oxidante presurizado, o similares, o una combinación de los mismos.

En una forma, el generador 314 de gas reductor emplea los mismos componentes para realizar la misma o similar función que los descritos anteriormente con respecto al generador 14 o 214 de gas reductor, la mayoría de los cuales no se ilustran en la FIG. 7 por cuestiones de claridad. En otras realizaciones, el generador 314 de gas reductor puede incluir únicamente uno o más de los componentes descritos anteriormente con respecto al generador 14 o 214 de gas reductor y/o pueden incluir componentes no descritos anteriormente con respecto al generador 14 o 214 de gas reductor. En algunas realizaciones, cualquiera de los mismos componentes descritos anteriormente con respecto al generador 14 o 214 de gas reductor puede proporcionar la misma y/o diferente función en el generador 314 de gas reductor.

Aunque el componente identificado con el número de elemento 34 se ha denominado como "reactor catalítico," los expertos habituales en la materia entenderán que reactor 34 catalítico es una forma de un reformador. Por lo tanto, el reactor 34 catalítico puede denominarse también como "reformador 34". Los expertos habituales en la materia entenderán también que pueden emplearse uno o más tipos de reformador distintos además de o en lugar de un reactor catalítico en algunas realizaciones de la presente invención.

En una forma, el generador 314 de gas reductor puede incluir adicionalmente un enfriador configurado para reducir la temperatura del gas reductor producido por el reformador 34. El empalme 302 puede estar localizado aguas abajo del enfriador y recibir el gas reductor enfriado que sale del enfriador. En una realización, el enfriador puede proporcionarse como un intercambiador de calor. Por ejemplo, y como se ilustra ejemplarmente, el enfriador puede proporcionarse como el intercambiador 88 de calor, por ejemplo, un intercambiador de calor enfriado con aire o enfriado con líquido. Por lo tanto, el intercambiador 88 de calor puede denominarse genéricamente "enfriador 88". Los expertos habituales en la materia entenderán también que pueden emplearse uno o más tipos de enfriadores distintos además de o en lugar de un intercambiador de calor en algunas realizaciones de la presente invención. Por ejemplo, el enfriador 88 puede proporcionarse como un enfriador de mezclado que tiene un inyector configurado para inyectar un refrigerante en el gas reductor caliente generado por el reformador 34, para inactivar así el gas reductor. Los ejemplos de refrigerante que pueden inyectarse en el gas reductor incluyen vapor, agua atomizada, o similares o una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, el sistema 300 de reciclado de gas reductor puede incluir un circuito 307 de reciclado además de o en lugar del circuito 305 de reciclado. El circuito 305 de reciclado puede estar acoplado de forma fluida a un empalme 303 y una bomba 304 de reciclado. El empalme 303 es operable para recibir el gas reductor caliente (puesto que el empalme 303 está aguas arriba del enfriador 88), y dirigir una parte del gas reductor al circuito 305 de reciclado. El gas de reciclado que entra en el circuito 307 es un gas de reciclado caliente, que no ha sido enfriado por el intercambiador 88 de calor antes de entrar en el circuito 307. Dispuesto en el circuito 307 hay un enfriador 288. El enfriador 288 está en comunicación fluida con una fuente 306 de refrigerante. En una forma, el enfriador 288 es un enfriador de mezclado que tiene un inyector configurado para inyectar un refrigerante en el gas reductor caliente generado por el reformador 34, para inactivar así el gas reductor. Ejemplos de refrigerante suministrado por la fuente 306 de refrigerante que puede inyectarse en el gas reductor incluyen vapor, agua atomizada, o similares o una combinación de los mismos. En otras realizaciones, el enfriador 288 puede tomar otras formas, y puede ser, por ejemplo, un intercambiador de calor enfriado con aire o enfriado con líquido. El refrigerante de la fuente 306 de refrigerante se combina con el gas de reciclado caliente para formar "gas de reciclado enfriado directamente", en donde "directamente" en este caso se refiere al mezclado físico del refrigerante con el gas de reciclado caliente.

En una forma, el generador 314 de gas reductor puede incluir adicionalmente una válvula configurada para descargar gas reductor, por ejemplo a otro sistema, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, una celda de combustible, un motor u otros dispositivos que emplean gas reductor/combustible reformado. La válvula puede estar localizada aguas abajo del empalme 302. En una realización, la válvula puede proporcionarse como un regulador de contrapresión. Por ejemplo, en una forma, la válvula puede ser un regulador 90 de contrapresión. Por lo tanto, en una realización ejemplar, el regulador 90 de contrapresión puede denominarse también como "válvula 90". Los expertos habituales en la materia entenderán también que pueden emplearse uno o más tipos de válvulas distintos

además de o en lugar de un regulador de contrapresión en algunas realizaciones de la presente invención.

Proporcionando el generador 314 de gas reductor como se ha descrito anteriormente de forma ejemplar, el gas reductor producido por el reformador 34 puede contener una concentración relativamente alta de componentes inflamables (por ejemplo, H_2 y CO), incluso cuando el sistema 30 o 230 de oxidante produce un oxidante que tiene una concentración relativamente alta de O_2 , sin disminuir la razón O_2/C a niveles que favorezcan la formación de hollín dentro del reformador 34.

En algunas realizaciones, el sistema 300 de reciclado de gas reductor puede aumentar el tiempo de vida útil del catalizador 36, que de lo contrario podría degradarse con el tiempo cuando, por ejemplo, se detecta metano sin reaccionar, por ejemplo, dependiendo del tipo de catalizador y la temperatura del catalizador durante la operación, entre otras cosas. A medida que se degrada el catalizador, la región de aumento de temperatura de catalizador se mueve cada vez más aguas abajo con el tiempo. En algunas realizaciones, el reciclado del gas reductor puede tener el efecto de ralentizar este proceso. En algunas realizaciones, el impacto del sistema 300 de reciclado de gas reductor para la composición de equilibrio termodinámico del gas reductor puede minimizarse o hacerse inexistente porque la composición elemental del gas de reciclado es al menos sustancialmente la misma que la de la corriente de alimentación (por ejemplo, si no se retira la humedad del gas reductor antes de reciclarlo de vuelta a la corriente de alimentación). Sin embargo, la composición molecular del gas de reciclado puede ser diferente de la de la corriente de alimentación porque el H_2 forma una fracción significativa de la corriente de alimentación mezclada con el gas de reciclado. El H_2 en la corriente de alimentación mezclado con el gas de reciclado preferentemente consume O_2 rápidamente, elevando la temperatura en la entrada del catalizador 36 por encima de la que ocurriría de otra manera. Por lo tanto, el H_2 es más reactivo respecto al combustible de hidrocarburo en la corriente de alimentación. Como resultado, en algunas realizaciones, la actividad del catalizador en el lado delantero del catalizador puede mantenerse con el tiempo, convirtiendo una parte de la alimentación de combustible en hidrógeno y, de esta manera, manteniendo la temperatura del catalizador elevada, puesto que de lo contrario disminuiría si el 100% del combustible suministrado al catalizador fuera hidrocarburo. Una manera de usar este enfoque sería establecer una condición de alimentación constante de oxidante a combustible (por ejemplo, O_2/C , $\%O_2$), y posteriormente aumentar gradualmente el reciclado durante la vida del catalizador a medida que ocurre la degradación para mantener una temperatura constante en algún punto indicativo de la parte delantera de la zona de reacción dentro del catalizador.

En algunas realizaciones, el sistema 300 de reciclado de gas reductor puede permitir un mayor contenido de compuestos inflamables del gas reductor operando a un mayor $\%O_2$ mientras se mantiene la O_2/C por encima de un límite aceptable y operando a una temperatura de catalizador en un intervalo óptimo (que puede depender del tipo de catalizador y otras condiciones del reformador), condiciones que pueden soportar vidas de catalizador más largas. Por ejemplo, los cálculos de equilibrio termodinámico predicen que, usando el gas de reciclado, una concentración de oxígeno de 40% produciría más de 70% de compuestos inflamables (por ejemplo, principalmente $\%H_2+\%CO$), mientras funciona a una temperatura de catalizador óptima de aproximadamente $800^\circ C$ y una O_2/C de 0,6, cómodamente por encima de una condición que fomentaría la formación de carbono. Sin el uso de gas de reciclado, en algunos sistemas, la temperatura de catalizador puede elevarse significativamente, o la O_2/C reducirse significativamente, afectando potencialmente de forma negativa a la vida del catalizador si hubiera que mantener el mismo nivel de compuestos inflamables.

En realizaciones que emplean el enfriador 288 en forma de un enfriador de mezclado, el oxidante proporcionado a la cámara 32 de combinación desde el sistema 30 o 230 de oxidante puede tener un contenido relativamente alto de oxígeno. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el oxidante proporcionado a la cámara 32 de combinación puede tener un contenido de oxígeno tan alto como 100%, aunque puede ser menor que 100%. Si el sistema 30 de oxidante es incapaz de alcanzar de un contenido deseado de oxígeno, puede proporcionarse un sistema 308 de oxidante complementario o alternativo. En algunas realizaciones, puede ajustarse una tasa de inyección de refrigerante por el enfriador de mezclado (por ejemplo, aumentarse) para moderar las reacciones catalíticas en la entrada del catalizador 36 (por ejemplo, si el componente H_2 en el gas de reciclado provoca reacciones catalíticas en la entrada del catalizador 36 que son indeseablemente altas). Asimismo, ajustando la tasa de inyección de refrigerante por el enfriador de mezclado, el contenido de compuestos inflamables del gas reductor puede aumentarse a aproximadamente 90% usando un oxidante que tiene un contenido de oxígeno de 100% (o sustancialmente 100%). A un contenido de oxígeno de 100% (o sustancialmente 100%), el oxidante no contiene nitrógeno (o sustancialmente nada de nitrógeno) y el CO_2 es el constituyente inerte principal en el gas reductor, presente a aproximadamente 7,5%. Los análisis de simulación de proceso realizados por el inventor indicaban que una implementación del generador 314 de gas reductor generaba una composición de entrada en el reformador 34 que contiene aproximadamente 17,8% H_2 , aproximadamente 19,9% H_2O , aproximadamente 7,4% CO , aproximadamente 2,5% CO_2 , aproximadamente 30,2% CH_4 , y aproximadamente 20,2% O_2 , indicando que hay oxígeno suficiente en la corriente de alimentación para consumir todo el H_2 presente en la entrada del catalizador 36. Si este consumo provocara que las temperaturas en la entrada del catalizador 36 se hicieran demasiado altas, entonces la concentración de oxígeno en el oxidante puede reducirse. Si se aplica con agua como refrigerante a través del enfriador 288, el enfriador 88 producirá H_2O condensada que puede separarse del gas reductor. Por lo tanto, si se aplica con agua como refrigerante, el tamaño de un enfriador/condensador de gas de síntesis puede aumentarse para manipular la mayor carga térmica requerida por el elevado flujo de vapor.

En la puesta en marcha de la celda 12 de combustible, el gas reductor generado por el reformador 34 puede calentarse rápidamente antes de que se active el enfriador de mezclado de H₂O para inyectar refrigerante en el gas reductor caliente generado por el reformador 34. Por consiguiente, en una realización, el generador 314 de gas reductor puede incluir adicionalmente un enfriador 310 de puesta en marcha configurado para inyectar un refrigerante tal como nitrógeno presurizado en el gas de reciclado para enfriar el gas de reciclado desde el punto de empalme 303 hasta que se activa el enfriador de mezclado de H₂O. En algunas realizaciones, el enfriamiento proporcionado por el enfriador 310 de puesta en marcha puede disminuir gradualmente a medida que el enfriador 288 se activa inicialmente para inyectar refrigerante como agua en el gas reductor caliente generado por el reformador 34. Con este enfoque, se consigue una transición suave al enfriamiento inyectando agua mientras se evita la condensación mientras el reciclado aún está frío, aunque protegiendo también la bomba de reciclado aguas debajo de la alta temperatura a medida que se calienta el reciclado.

Haciendo referencia a la FIG. 8, se ilustran esquemáticamente algunos aspectos de un ejemplo no limitante de un sistema 410 de motor según una realización de la presente invención. En la realización representada en la FIG. 8, se representan diversos elementos, componentes e interrelaciones entre los aspectos de una realización de la presente invención. Sin embargo, la presente invención no está limitada a la realización particular de la FIG. 8 y los componentes, elementos e interrelaciones entre ellos como se ilustran en la FIG. 8 y se describen en la presente memoria. Por ejemplo, otras realizaciones abarcadas por la presente invención, manifestándose la presente invención por los principios descritos explícita e implícitamente en la presente memoria mediante las presentes Figuras y Descripción Detallada y expuestos en las Reivindicaciones, pueden incluir un mayor o menor número de componentes, elementos y/o interrelaciones entre ellos, y/o pueden emplear diferentes componentes y/o elementos que tienen la misma y/o diferente naturaleza y/o interrelaciones entre ellos, que pueden emplearse para realizar una función similar y/o diferente respecto a aquellos ilustrados en la FIG. 8 y descritos en la presente memoria.

El sistema 410 de motor está configurado para emisiones de NO_x reducidas empleando un reformador para generar hidrógeno (H₂) como parte de un esquema de operación ajustada asistido por hidrógeno. El sistema 410 de motor incluye un motor 412 y un sistema 414 de suministro de combustible. En una forma, el motor 412 es un motor de combustión interna, por ejemplo, un motor de pistón de ignición por chispa. En otras realizaciones, el motor 412 puede tomar otras formas, por ejemplo, un motor de turbina de gas, u otro tipo de motor alternativo. El motor 412 incluye, entre otras cosas, una admisión 416 de aire y una cámara 418 de combustión. En diversas realizaciones, un sistema 416 de admisión de aire puede estar presurizado por un compresor (no mostrado), por ejemplo, un turbocompresor, un sobrealimentador y/o cualquier otro tipo de compresor. En una forma, la cámara 418 de combustión es una cámara de pre-combustión situada aguas arriba de y en comunicación fluida con una o más cámaras de combustión principales, por ejemplo, cámaras de combustión de pistón o, por ejemplo, una zona de precombustión en o acoplada a las cámaras de combustión de un motor de turbina de gas. En otras realizaciones, la cámara 18 de combustión puede ser o incluir una o más cámaras de combustión principales, por ejemplo, una cámara de combustión principal de motor de pistón o una cámara de combustión principal de motor de turbina de gas.

En una forma, el sistema 414 de suministro de combustible emplea algunos de los mismos componentes para realizar la misma o similar función que los descritos anteriormente con respecto al generador 14 de gas reductor para producir un gas reductor o combustible reformado, que se describen en la presente memoria usando los mismos caracteres de referencia (números de elemento) que los expuestos anteriormente con respecto al generador 14 de gas reductor. En otras realizaciones, el generador 414 de gas reductor puede incluir únicamente uno o más de los componentes descritos anteriormente con respecto al generador 14 de gas reductor y/o puede incluir componentes no descritos anteriormente con respecto al generador 14 de gas reductor. En algunas realizaciones, cualquiera de los mismos componentes descritos anteriormente con respecto al generador 14 de gas puede proporcionar la misma y/o diferente función en el generador 414 de gas reductor.

En una forma, el sistema 414 de suministro de combustible es un sistema de suministro de combustible auxiliar que suministra al motor 412 únicamente una parte del combustible consumido por el motor 412 durante las operaciones del motor 412, mientras que el resto del combustible se suministra mediante un sistema de combustible principal (no mostrado). En otras realizaciones, el sistema 414 de suministro de combustible puede suministrar la mayor parte o todo el combustible consumido por el motor 412 durante las operaciones del motor 412. En una forma, el sistema 414 de suministro de combustible incluye una válvula 424 de control de flujo de combustible operativa para recibir y regular un flujo de combustible desde una fuente 426 de combustible, la cámara 32 de combinación y el reformador 34. En una forma, el sistema 414 de suministro de combustible emplea uno o más de los sistemas de reciclado expuestos y descritos anteriormente con respecto a la FIG. 7. En una forma, el sistema 430 de oxidante es el de las realizaciones del sistema 230 de oxidante, descrito anteriormente. En otras realizaciones el sistema 430 de oxidante puede ser una de las realizaciones del sistema 30 de oxidante, descrito anteriormente. El sistema 430 de oxidante está en comunicación fluida con la cámara 30 de combinación y configurado para suministrar un oxidante a la cámara 30 de combinación, por ejemplo, como se describe en la presente memoria. En una forma, la fuente 426 de combustible es una fuente de combustible presurizado, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, gas natural comprimido (CNG). En otras realizaciones, pueden emplearse otros combustibles, por ejemplo, otros combustibles de hidrocarburo, presurizados o no. Cuando la fuente 426 de combustible no está presurizada, puede incluirse una bomba o compresor para presurizar el combustible recibido desde la fuente 426 de combustible. La válvula 424 de control de flujo de combustible está configurada para controlar la cantidad de combustible suministrado al sistema

414 de suministro de combustible o, más particularmente, al reformador 34. En las realizaciones donde la fuente 426 de combustible no está presurizada, la válvula 424 de control de flujo de combustible puede incluir una bomba o compresor o puede ser una bomba o compresor.

5 La cámara 32 de combinación está en comunicación fluida con la salida del sistema 430 de oxidante y la válvula 424 de control de flujo de combustible, y está configurada para recibir y combinar el combustible y oxidante y descargar una mezcla de alimentación que contiene tanto el combustible como el oxidante. La razón molar de oxígeno a carbono (sustancialmente la misma que la razón en volumen en condiciones de operación anticipadas) suministrada al reformador 34 puede variar con las necesidades de la aplicación, y puede estar, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, en el intervalo de 0,5 a 2. El contenido de oxígeno correspondiente del oxidante puede ser, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, de 5% a 50% por razón molar (por ejemplo, razón en volumen), por ejemplo, como se ha expuesto anteriormente con respecto al sistema 230 de oxidante. El reformador 34 está configurado para recibir la mezcla de alimentación y reformar la mezcla de alimentación en un combustible reformado que tiene compuestos inflamables, que incluyen principalmente hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO), y metano sin reaccionar, por ejemplo, 0,25% - 3%, y cantidades traza de hidrocarburo superior sin reaccionar, tal como etano. El contenido total de compuestos inflamables del combustible reformado, asociado con los intervalos correspondientes inmediatamente anteriores, puede estar, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, en el intervalo de cerca de 0% a aproximadamente 80%. En diversas realizaciones, pueden incluirse otros gases en diversas proporciones en el combustible reformado en cantidades variables, por ejemplo, dependiendo de la razón oxidante/combustible de la corriente de alimentación suministrada al reformador 34, que incluye, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, nitrógeno (N₂), dióxido de carbono (CO₂), también pequeñas cantidades de vapor. La forma de la cámara 32 de combinación puede variar con las necesidades de la aplicación. Por ejemplo, en una forma, la cámara 32 de combinación es una sencilla conexión de fontanería que une la corriente de oxidante con la corriente de combustible. En diversas realizaciones, puede emplearse cualquier disposición que esté estructurada para combinar un corriente de oxidante con una corriente de combustible, con o sin mezclado. En algunas realizaciones, puede emplearse una cámara de mezclado, por ejemplo, que tiene paletas agitadoras para mezclar las corrientes, por ejemplo, como parte de la cámara 32 de combinación o dispuesta aguas abajo de la cámara 32 de combinación.

El reformador 34 está en comunicación fluida con la cámara 32 de combinación, y es operativo para recibir el combustible y oxidante de la cámara 32 de combinación. En una forma, el reformador 34 es un reactor catalítico que tiene un catalizador 36. El catalizador 36 puede ser cualquier catalizador adecuado para reformar un combustible de hidrocarburo gaseoso con un oxidante. Algunos catalizadores adecuados incluyen, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, un material activo que incluye metales nobles del grupo VIII, tales como Pd, Pt, Rh, Ir, Os y Ru. Puede emplearse un portador junto con el catalizador, por ejemplo, un portador de alta área superficial, que incluye, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, alúmina estabilizada, zirconia y/o sílice-alúmina. Puede emplearse también un soporte de catalizador, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, gránulos en una disposición de lecho fijo, o un monolito revestido o un soporte de panal de miel, por ejemplo, formado de un elemento metálico o refractario. Un refractario adecuado es cordierita. En una forma particular, el reformador 34 es un reformador de oxidación parcial catalítica (CPOX) configurado para reformar el combustible con el oxidante usando el catalizador 36. En otras realizaciones, pueden emplearse otros tipos de reformadores. La cámara 418 de combustión está en comunicación fluida con el reformador 34. Dispuesto aguas abajo del reformador 34 hay un sensor 438 de temperatura. El sensor 438 de temperatura está configurado para detectar la temperatura del combustible reformado después que este salga del reformador 34. Una línea 440 detectora acopla eléctricamente el sensor 438 de temperatura a la válvula 424 de control de flujo de combustible. En otras realizaciones, la línea 440 detectora puede ser un enlace óptico o inalámbrico. La válvula 424 de control de flujo de combustible está configurada para controlar la cantidad de combustible suministrado al reformador 34 basándose en la temperatura de los gases, por ejemplo, el combustible reformado, que sale del reformador 34.

En diversas realizaciones, el sistema 414 de suministro de combustible incluye uno o más componentes adicionales, que pueden incluir uno o más de un enfriador 442, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, un intercambiador de calor enfriado con líquido o enfriado con aire, configurado para reducir la temperatura del combustible reformado que sale del reformador 34; un empalme 444; una válvula 446 de retención; un empalme 448; una válvula 450 de retención; una válvula 451; una válvula 452; una válvula 453; una válvula 454; una válvula 460 por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, una válvula reguladora de contrapresión; un compresor 462 configurado para comprimir el combustible reformado que sale de la válvula 460; un enfriador 464, por ejemplo y sin que ello pretenda ser limitante, un intercambiador de calor enfriado con líquido o enfriado con aire, configurado para reducir la temperatura del combustible reformado que sale del compresor 462; un sistema 67 de calentamiento de puesta en marcha y uno o más calentadores 80. El enfriador 442 está configurado para reducir la temperatura del combustible reformado producido por el reformador 34. En una forma, el enfriador 442 es un intercambiador de calor que se enfría por el refrigerante del motor 412. En otras realizaciones, el enfriador 442 puede ser un intercambiador de calor enfriado con aire, o puede ser uno o más de otros tipos de sistemas de enfriamiento. En realizaciones así equipadas, la cámara 418 de combustión está en comunicación fluida con el enfriador 442, y está configurada para recibir el combustible reformado enfriado del enfriador 442.

En algunas realizaciones, la presión de operación del reformador 34 puede ser ajustada por la válvula 460. En otras realizaciones, el intervalo deseable de presión de suministro de gas reformado a la cámara 18 de combustión es

mayor que el que puede proporcionar el reformador 34. En algunas realizaciones, el compresor 462 puede estar incluido para aumentar la presión de gas reformado en el intervalo deseado para suministrar a la cámara 18 de combustión. Además, en algunas realizaciones, puede emplearse el enfriador 464 para reducir la temperatura del gas reformado en el intervalo deseado para suministrar a la cámara 18 de combustión. En otras realizaciones, uno o ambos del compresor 462 y el enfriador 464 pueden no emplearse.

La admisión 416 de aire del motor está en comunicación fluida con la válvula 452, que está en comunicación fluida con el reformador 34 y el enfriador 442 mediante la válvula 451 y el empalme 444. El empalme 444 es operativo para permitir la purga de parte o todo el combustible reformado descargado por el reformador 34 desde la cámara 418 de combustión y dirigir la cantidad purgada del combustible reformado a otra localización mediante las válvulas 451 y 452, tal como la admisión 416 de aire del motor, a un escape del motor (no mostrado), a la atmósfera, o a otra localización de purga, que incluye un dispositivo o aplicación.

En una forma, las válvulas 451 y 453 son válvulas de cierre. En otras realizaciones, una o ambas de las válvulas 451 y 453 pueden ser una o más de cualquier tipo de válvula capaz de evitar o prevenir selectivamente el flujo. En una forma, la válvula 452 es una válvula reguladora de contrapresión. En otras realizaciones, la válvula 452 puede ser uno o más de cualquier tipo de válvula.

La válvula 454 está en comunicación fluida con el suministro 426 de combustible y el empalme 448. El empalme 448 está en comunicación fluida con la cámara 418 de combustión mediante la válvula 450 de retención. La válvula 454 está configurada para proporcionar selectivamente combustible no reformado a la cámara 418 de combustión, la válvula 446 de retención está configurada para evitar el reflujo de combustible no reformado hacia el empalme 444, evitando por lo tanto el reflujo de combustible no reformado hacia el reformador 34 y las válvulas 451 y 452. La válvula 450 de retención está configurada para evitar el reflujo desde la cámara 418 de combustión al sistema 414 de suministro de combustible. Las válvulas 451 y 453 están configuradas para permitir o evitar, selectivamente, el flujo de combustible reformado a la cámara 418 de combustión y la admisión 416 de aire (u otra localización en otras realizaciones), respectivamente.

El sistema 67 de calentamiento de puesta en marcha está en comunicación fluida con la cámara 32 de combinación, y está configurado para calentar la mezcla de alimentación recibida desde la cámara 32 de combinación a una temperatura suficiente para conseguir la auto-ignición catalítica del combustible y oxidante tras su exposición al catalizador 36 en el reformador 34 para poner en marcha el reformador 34. El sistema 67 de calentamiento de puesta en marcha incluye una válvula 69 de control de puesta en marcha que tiene un elemento 70 de válvula y un elemento 72 de válvula; y un calentador 74 de la mezcla de alimentación. En una forma, los elementos 70 y 72 de válvula son parte de un elemento de válvula combinado o sistema. Las entradas de los elementos 70 y 72 de válvula están aguas abajo de y están acoplados de forma fluida a la cámara 32 de combinación. La salida del elemento 70 de válvula está acoplada de forma fluida al reformador 34 para proporcionar la mezcla de alimentación al catalizador 36 del reformador 34. La salida del elemento 72 de válvula está acoplada de forma fluida a la entrada del calentador 74 de la mezcla de alimentación. En una forma, la válvula 69 de control de puesta en marcha es una válvula de tres vías que hace funcionar los elementos 70 y 72 de válvula para dirigir el flujo que entra en la válvula 69 hacia el reactor 34 catalítico directamente desde la cámara 32 de combinación y/o a través del calentador 74 de la mezcla de alimentación. Se considera alternativamente que pueden emplearse otras disposiciones de válvula, tales como un par de válvulas de control de puesta en marcha individuales en lugar de la válvula 69 de control de puesta en marcha con los elementos 70 y 72 de válvula.

El calentador 74 de la mezcla de alimentación incluye un cuerpo 76 calefactor y una bobina 78 de flujo dispuesta adyacente al cuerpo 76 calefactor. La salida del calentador 74 de la mezcla de alimentación está acoplada de forma fluida al reformador 34 para proporcionar una mezcla de alimentación calentada al catalizador 36. En el modo de operación normal, los elementos 70 y 72 de válvula dirigen toda la mezcla de alimentación directamente al reformador 34. En el modo de puesta en marcha, la mezcla de alimentación se dirige a través del calentador 74 de la mezcla de alimentación a través de la bobina 78 de flujo, que después es calentada por el cuerpo 76 calefactor. En una forma, toda la mezcla de alimentación se dirige a través del calentador 74 de la mezcla de alimentación, aunque en otras realizaciones, pueden calentarse cantidades menores, y parte de la mezcla de alimentación puede hacerse pasar directamente al reformador 34 desde la cámara 32 de combinación.

El calentador 74 de la mezcla de alimentación está configurado para "encender" el catalizador 36 del reactor 34 catalítico (iniciar la reacción catalítica de combustible y oxidante) calentando la mezcla de alimentación, que se suministra al reactor 34 catalítico desde el calentador 74 de la mezcla de alimentación. En una forma, la mezcla de alimentación es calentada por el calentador 74 de la mezcla de alimentación a una temperatura de precalentamiento por encima de la temperatura de auto-ignición catalítica de la mezcla de alimentación (la temperatura de auto-ignición catalítica es la temperatura a la que se inician las reacciones sobre el catalizador, por ejemplo, el catalizador 36). Una vez que el catalizador 36 se ha encendido, las reacciones exotérmicas que tienen lugar en el catalizador 36 mantienen la temperatura del reactor 34 catalítico a un nivel controlado, basándose en la cantidad de combustible y oxidante suministrados al catalizador 36. Asimismo, una vez que el catalizador 36 se ha encendido, puede que ya no sea necesario más calentar la mezcla de alimentación, en cuyo caso los elementos 70 y 72 de válvula están situados para dirigir toda la mezcla de alimentación directamente al reactor 34 catalítico, circunvalando el calentador 74 de la mezcla de alimentación. En algunas realizaciones, el calentador 74 de la mezcla de alimentación puede

mantenerse en la posición "conectado" cuando el motor 12 no está en funcionamiento, pero se requiere que arranque rápidamente.

Los calentadores 80 están dispuestos adyacentes al reactor 34 catalítico y configurados para calentar el catalizador 36. En una forma, los calentadores 80 están configurados también para mantener el catalizador 36 a una temperatura de precalentamiento que está en o por encima de la temperatura de auto-ignición catalítica para la mezcla de alimentación suministrada al reactor 34. Esta temperatura de precalentamiento puede mantenerse durante un cierto tiempo cuando el motor 12 no está en funcionamiento, pero se requiere que arranque rápidamente. Algunas realizaciones pueden emplear cualquiera o ambos del sistema 67 de calentamiento de puesta en marcha y el calentador o calentadores 80. En otras realizaciones, se considera alternativamente que puede usarse otro calentador 82 en lugar de o además del sistema de calentamiento de puesta en marcha y el calentador o calentadores 80, por ejemplo, un calentador 82 situado adyacente al reactor 34 catalítico en el lado aguas arriba. Tal disposición puede emplearse para suministrar calor más directamente al catalizador 36 para iniciar la reacción catalítica de la mezcla de alimentación en una parte aguas arriba del reactor 34 catalítico.

En una forma, los calentadores 74, 80 y 82 son calentadores eléctricos, aunque se considera alternativamente que en otras realizaciones, pueden emplearse calentadores de combustión indirecta o directa además de o en lugar de los calentadores eléctricos. Asimismo, aunque la presente realización emplea tanto el calentador 74 de la mezcla de alimentación como los calentadores 80 para encender rápidamente la mezcla de alimentación sobre el catalizador, se considera alternativamente que en otras realizaciones, puede emplearse únicamente uno de estos calentadores, o puede emplearse un mayor número de calentadores.

Durante la operación, el oxidante se descarga del sistema 430 de oxidante hacia la cámara 32 de combinación. El combustible se suministra al punto de combinación desde el suministro 426 de combustible mediante la válvula 424, que controla la tasa de flujo del combustible. El oxidante y combustible se combinan en la cámara 32 de combinación, y se dirigen al reformador 34. Durante un ciclo de arranque del sistema 410 de motor, se activa el cuerpo 76 calefactor, y los elementos 70 y 72 de válvula se activan mediante un sistema de control (no mostrado) para dirigir combustible y oxidante a través del calentador 74 de la mezcla de alimentación. En diversas realizaciones, parte de o toda la corriente de alimentación de combustible y oxidante puede dirigirse a través del calentador 74 de la mezcla de alimentación. El cuerpo 76 calefactor añade calor a la corriente de alimentación para elevar su temperatura a la temperatura de auto-ignición catalítica, es decir, una temperatura suficiente para la auto-ignición catalítica de la corriente de alimentación tras el contacto con el catalizador 36. La temperatura de auto-ignición catalítica puede variar con el tipo de catalizador usado y la vida del catalizador. Por ejemplo, con algunos catalizadores, tales como al menos algunos de aquellos mencionados en la presente memoria, la temperatura de auto-ignición catalítica puede ser de 300°C al inicio de la vida del catalizador, pero puede ser de 450°C cerca del final de la vida del catalizador. En diversas realizaciones, pueden emplearse uno o más de los calentadores 80 y 82 para calentar el catalizador y/o la corriente de alimentación a una temperatura suficiente para la auto-ignición catalítica de la corriente de alimentación.

El combustible y el oxidante se reforman en el reformador 34 usando el catalizador 36. El sensor 438 de temperatura detecta la temperatura del combustible reformado que sale del reformador 36. Los datos de temperatura del sensor 438 de temperatura se transmiten a la válvula 424 de control de flujo a través de la línea 440 detectora. La válvula 424 controla el flujo de combustible y, por lo tanto, la mezcla oxidante/combustible basándose en la temperatura detectada, manteniendo de esta manera el catalizador 436 a la temperatura deseada. El combustible reformado que sale del reformador 34 se enfría entonces mediante el enfriador 442 y se descarga en la cámara 418 de combustión a través de los empalmes 444 y 448 y las válvulas 446 y 450 de retención.

En algunas circunstancias, tal como un sistema 410 de motor de arranque en frío, puede ser deseable arrancar el motor 412 suministrando combustible no reformado a la cámara 418 de combustión, y después realizar la transición desde combustible no reformado hasta combustible reformado a medida que el reformador 34 aumenta la capacidad de reformar el combustible. Por ejemplo, en algunas situaciones, el combustible se suministra a la cámara de combustión desde el suministro 426 de combustible a través de la válvula 454 de control de flujo. El reformador 34 puede ponerse en marcha antes, durante o después de arrancar el motor 12, usando uno o más del sistema 67 de calentamiento de puesta en marcha, y el calentador o calentadores 80 y 82, por ejemplo, dependiendo de la realización y las necesidades de la aplicación particular, y las necesidades del ciclo de arranque particular, por ejemplo, de arranque en frío frente a re-arranque en caliente. Las válvulas 424, 452 y 454 forman un sistema de válvula que está configurado para realizar la transición entre 100% de combustible no reformado y 0% de combustible reformado que se suministra a la cámara 18 de combustión y 0% de combustible no reformado y 100% de combustible reformado que se suministra a la cámara 18 de combustión. Cuando se pone en marcha el reformador 34, por ejemplo, es capaz de auto-ignición catalítica de la mezcla de alimentación, las válvulas 424, 452 y 454, controladas por un sistema de control (no mostrado), experimentan la transición de suministrar 100% del combustible que se suministra a la cámara 18 de combustión en forma de combustible no reformado con 0% de combustible reformado, a suministrar 100% de combustible reformado y 0% de combustible no reformado a la cámara 418 de combustión. En una forma, la transición es un proceso continuo gradual. En otras realizaciones, la transición puede ser una transición repentina u otro tipo de transición escalonada. En cualquier caso, durante la transición, en algunas realizaciones, el exceso de combustible reformado puede purgarse, por ejemplo, a la admisión 416 de aire del motor, circunvalando la cámara 18 de combustión, por ejemplo, hasta que se realiza la

transición completa a 100% de combustible reformado que se suministra a la cámara de combustión. En otras realizaciones, las válvulas 424, 452 y 454 pueden modular el flujo de combustible reformado y no reformado sin producir un exceso de combustible reformado durante el ciclo de arranque. Durante el ciclo de arranque, la salida del sistema 430 de oxidante puede variarse para controlar la tasa de flujo de oxidante antes, durante y después de la transición para suministrar a la cámara 418 de combustión con combustible reformado. La salida del sistema 430 de oxidante puede variarse también durante las operaciones normales del motor 412 como respuesta a la demanda de combustible reformado.

En una forma, durante las operaciones normales del motor 412, por ejemplo, después de que el motor 412 se haya arrancado y haya conseguido una operación en estado estacionario, la cámara 418 de combustión se suministra con 100% de combustible reformado. En otras realizaciones, puede suministrarse una mezcla de combustible reformado y combustible no reformado a la cámara 418 de combustión.

En diversas realizaciones, el sistema 414 de suministro de combustible controla la salida de combustible reformado variando la salida del sistema 430 de oxidante y variando la cantidad de combustible suministrado por la válvula 424 usando un sistema de control (no mostrado).

En algunas realizaciones, puede ser deseable que el motor 412 cambie los puntos de operación rápidamente, por ejemplo, para cambiar de baja potencia a alta potencia o de alta potencia a baja potencia con bastante rapidez. En el caso de que la configuración particular del motor 412 sea capaz de cambiar los puntos de operación más rápidamente que la tasa de respuesta máxima particular del sistema 414 de suministro de combustible, algunas realizaciones del sistema 414 de suministro de combustible pueden estar configuradas para producir un exceso de combustible reformado en un punto de operación particular o intervalo de puntos de operación para proporcionar un margen de operación. En tales realizaciones y situaciones, el exceso de combustible reformado puede purgarse, por ejemplo, a la admisión 416 de aire mediante la válvula 452, circunvalando la cámara 418 de combustión. En tales realizaciones, la válvula 452, que está en comunicación fluida entre el reformador 34 y la admisión 416 de aire, está configurada para controlar la cantidad de flujo del combustible reformado a la cámara 418 de combustión circunvalando una parte del combustible reformado a la admisión 416 de aire, desviando así esa parte de flujo de combustible reformado desde la cámara 418 de combustión.

En algunas realizaciones, la válvula 452 está configurada para aumentar la cantidad purgada del combustible reformado como respuesta a una disminución en la potencia de salida del motor; y está configurada para disminuir la cantidad purgada del combustible reformado como respuesta a un aumento en la potencia de salida del motor. Por lo tanto, por ejemplo, si se ordenara un aumento en la salida del motor 412, la cantidad de flujo de combustible reformado purgado a la admisión 416 de aire sería reducida por la válvula 452 bajo la dirección de un sistema de control (no mostrado), aumentando de esta manera la cantidad de combustible reformado suministrado a la cámara 418 de combustión. Por otro lado, si se ordenara una reducción en la salida del motor 412, la cantidad de flujo de combustible reformado purgado a la admisión 416 de aire aumentaría mediante la válvula 452 bajo la dirección del sistema de control, disminuyendo de esta manera la cantidad de combustible reformado suministrado a la cámara 418 de combustión. Por lo tanto, la razón de la parte de combustible reformado suministrado a la cámara 418 de combustión relativa a la parte de combustible reformado suministrado a la admisión 416 de aire puede cambiarse de manera que el sistema 414 de suministro de combustible puede ser capaz de responder más rápidamente a los cambios en el punto de operación (por ejemplo, potencia de salida) del motor 412, y en algunas realizaciones, sin afectar negativamente al catalizador 36, por ejemplo, creando de otro modo una condición transitoria fuera de diseño intentando seguir la demanda de combustible reformado más rápidamente de lo que puede responder fácilmente el sistema 414 de suministro de combustible. En algunas realizaciones, evitando condiciones transitorias fuera de diseño, pueden reducirse o eliminarse los efectos negativos de la operación en condiciones transitorias fuera de diseño sobre la vida del catalizador 36. Además, en algunas realizaciones, la capacidad de responder más rápidamente a la demanda cambiante controlando la purga de flujo de combustible reformado, por ejemplo, a la admisión 416 de aire, puede aumentar la capacidad del sistema 414 de suministro de combustible de responder a otras condiciones cambiantes, tales como un cambio en la composición del combustible, humedad o salida de un componente del motor o sistema de motor.

En algunas realizaciones, puede ser deseable limitar la cantidad de combustible reformado proporcionado a la admisión 416 de aire, en cuyo caso el sistema 414 de suministro de combustible puede estar configurado para suministrar combustible no reformado a la admisión 16 de aire en o por encima de un punto de operación seleccionado del motor 412. En algunas realizaciones, este puede ser el punto de operación de potencia máxima del motor, por debajo del cual el combustible reformado se proporciona mediante la válvula 452 a la admisión 416 de aire, por ejemplo, en proporción a la salida de motor 412, proporcionando mayores cantidades de combustible reformado a la admisión 416 de aire en los puntos de menor potencia. En otras realizaciones, el sistema 414 de suministro de combustible puede estar configurado para suministrar combustible no reformado a la admisión 416 de aire en o por encima de otros puntos de operación seleccionados del motor 412. En algunas realizaciones, el sistema de suministro de combustible puede estar configurado para reducir o terminar el flujo de combustible reformado a la admisión 16 de aire, por ejemplo, una vez que se ha conseguido la operación estable del motor. En tales realizaciones, la válvula 451 puede cerrarse para asegurar que no ocurre flujo de exceso de gas reductor.

Las realizaciones de la presente invención incluyen un método de operación de un motor, que comprende:

5 proporcionar una cámara de combustión del motor con un combustible; arrancar el motor usando el combustible; suministrar un oxidante que tiene un contenido de oxígeno mayor que el del aire ambiente sin usar oxígeno almacenado; poner en marcha un reformador, en donde el reformador está configurado para reformar al menos parte del combustible usando el oxidante; realizar la transición del suministro de combustible a la cámara de combustión a un suministro de combustible reformado; y proporcionar únicamente combustible reformado a la cámara de combustión.

En un perfeccionamiento, la cámara de combustión es una cámara de pre-combustión.

En otro perfeccionamiento, la transición se realiza después de que el reformador haya alcanzado una temperatura de auto-ignición catalítica.

10 En otro perfeccionamiento más, el motor es un motor de combustión interna.

En aún otro perfeccionamiento, el combustible es gas natural.

En aún otro perfeccionamiento más, el reformador es un reformador de oxidación parcial catalítica (CPOX).

15 Las realizaciones de la presente invención incluyen un método de operación de un motor, que comprende: suministrar un oxidante que tiene un contenido de oxígeno mayor que el del aire ambiente sin usar oxígeno almacenado; hacer funcionar un reformador para reformar un combustible usando el oxidante; suministrar una primera parte del combustible reformado a una cámara de combustión del motor durante la operación del motor; purgar una segunda parte del combustible reformado; en donde la primera parte y la segunda parte se suministran a la cámara de combustión respectiva y purgar la localización a una primera razón; cambiar una condición de operación de un motor; y suministrar la primera parte y la segunda parte a la cámara de combustión respectiva y purgar la localización a una segunda razón en respuesta al cambio en la condición de operación de un motor.

20 En un perfeccionamiento, la cámara de combustión es una cámara de pre-combustión.

En otro perfeccionamiento, el motor es un motor de combustión interna.

En otro perfeccionamiento más, el combustible es gas natural.

25 En aún otro perfeccionamiento, se suministra combustible no reformado a la localización de purga en o por encima de un punto de operación seleccionado del motor.

En aún otro perfeccionamiento más, el punto de operación seleccionado del motor es un punto de operación de potencia máxima.

En un perfeccionamiento adicional, el reformador es un reformador de oxidación parcial catalítica (CPOX).

30 Las realizaciones de la presente invención incluyen un sistema de motor, que comprende: un motor; un sistema de oxidante configurado para proporcionar un oxidante, y configurado para proporcionar un contenido de oxígeno del oxidante que tiene un valor que supera el contenido de oxígeno del aire atmosférico ambiente, en donde el sistema de oxidante está configurado para proporcionar el oxidante sin el uso de oxígeno almacenado; un reformador en comunicación fluida con el sistema de oxidante y una fuente de combustible, en donde el reformador está configurado para recibir el oxidante y el combustible recibido de la fuente de combustible, y reformar el combustible; un enfriador en comunicación fluida con el reformador y configurado para reducir la temperatura del combustible reformado producido por el reformador; y una cámara de combustión del motor en comunicación fluida con el enfriador, en donde la cámara de combustión está configurada para recibir el combustible reformado enfriado desde el enfriador.

35 En un perfeccionamiento, el reformador es un reformador de oxidación parcial catalítica (CPOX).

40 En otro perfeccionamiento, la cámara de combustión es una cámara de pre-combustión.

En otro perfeccionamiento más, el motor es un motor de pistón.

En aún otro perfeccionamiento, el sistema de motor comprende adicionalmente un compresor configurado para aumentar la presión del gas reductor por encima de la presión en la cámara de combustión.

45 En aún otro perfeccionamiento más, el sistema de motor comprende adicionalmente una admisión de aire del motor y una válvula en comunicación fluida entre el reformador y la admisión de aire, en donde la válvula está configurada para controlar una cantidad de flujo del combustible reformado a la cámara de combustión purgando una parte del combustible reformado a la admisión de aire.

50 En un perfeccionamiento adicional, la válvula está configurada para aumentar una cantidad purgada del combustible reformado como respuesta a una disminución en la potencia de salida del motor; y en donde la válvula está configurada para disminuir una cantidad purgada del combustible reformado como respuesta a un aumento en la

potencia de salida del motor.

En un perfeccionamiento adicional más, el sistema de motor comprende adicionalmente una válvula configurada para controlar una cantidad de combustible suministrado al reformador.

5 En aún otro perfeccionamiento adicional, el sistema de motor comprende adicionalmente un sensor de temperatura configurado para detectar la temperatura del combustible reformado que sale del reformador, en donde la válvula está configurada para controlar la cantidad de combustible suministrado basándose en la temperatura del combustible reformado que sale del reformador.

10 En aún otro perfeccionamiento adicional más, el sistema de motor comprende adicionalmente un sistema de válvula configurado para realizar la transición entre 100% de combustible no reformado y 0% de combustible reformado suministrado a la cámara de combustión y 0% de combustible no reformado y 100% de combustible reformado suministrado a la cámara de combustión.

En un perfeccionamiento adicional, el reformador incluye un catalizador, que comprende además un sistema de calentamiento configurado para calentar el catalizador a una temperatura de auto-ignición catalítica antes de, durante o después de la puesta en marcha del motor.

15 Las realizaciones de la presente invención incluyen un sistema de motor, que comprende: un motor; un sistema de oxidante configurado para proporcionar un oxidante, y configurado para proporcionar un contenido de oxígeno del oxidante que tiene un valor que supera el contenido de oxígeno del aire atmosférico ambiente, en donde el sistema de oxidante está configurado para proporcionar el oxidante sin el uso de oxígeno almacenado; un reformador configurado para recibir el oxidante y un combustible y reformar el combustible usando el oxidante; una cámara de
20 combustión del motor en comunicación fluida con el reformador, en donde el combustible reformado es recibido en la cámara de combustión; y un sistema de válvula configurado para realizar la transición entre 100% de combustible no reformado y 0% de combustible reformado suministrado a la cámara de combustión y 0% de combustible no reformado y 100% de combustible reformado suministrado a la cámara de combustión.

25 Las realizaciones de la presente invención incluyen un sistema de motor, que comprende: un motor; un sistema de oxidante configurado para proporcionar un oxidante, y configurado para proporcionar un contenido de oxígeno del oxidante que tiene un valor que supera el contenido de oxígeno del aire atmosférico ambiente, en donde el sistema de oxidante está configurado para proporcionar el oxidante sin el uso de oxígeno almacenado; un reformador configurado para recibir el oxidante y un combustible y reformar el combustible usando el oxidante; una cámara de
30 combustión del motor en comunicación fluida con el reformador, en donde el combustible reformado es recibido en la cámara de combustión; una admisión de aire del motor; y una válvula en comunicación fluida entre el reformador y la admisión de aire, en donde la válvula está configurada para controlar una cantidad de flujo del combustible reformado a la cámara de combustión purgando una parte del combustible reformado.

35 En un perfeccionamiento, la válvula está configurada para aumentar una cantidad purgada del combustible reformado como respuesta a una disminución en la potencia de salida del motor; y en donde la válvula está configurada para disminuir una cantidad purgada del combustible reformado como respuesta a un aumento en la potencia de salida del motor.

En otro perfeccionamiento, la válvula está configurada para realizar la transición a una purga cero del flujo del combustible reformado.

40 Las realizaciones de la presente invención incluyen un sistema de motor, que comprende: un motor; un sistema de oxidante configurado para proporcionar un oxidante, y configurado para proporcionar un contenido de oxígeno del oxidante que tiene un valor que supera el contenido de oxígeno del aire atmosférico ambiente, en donde el sistema de oxidante está configurado para proporcionar el oxidante sin el uso de oxígeno almacenado; un reformador configurado para recibir el oxidante y un combustible y reformar el combustible usando el oxidante; y una cámara de
45 combustión del motor en comunicación fluida con el reformador, en donde el combustible reformado es recibido en la cámara de combustión.

En un perfeccionamiento, la cámara de combustión es una cámara de pre-combustión.

En otro perfeccionamiento, el sistema de oxidante está configurado también para proporcionar un contenido de oxígeno del oxidante que tiene un valor que es menor que el contenido de oxígeno del aire atmosférico ambiente.

50 En otro perfeccionamiento más, el sistema de motor comprende adicionalmente una válvula configurada para controlar la presión de operación del reformador.

Las realizaciones de la presente invención incluyen un método de operación de un motor, que comprende: suministrar un oxidante que tiene un contenido de oxígeno mayor que el del aire ambiente sin el uso de oxígeno almacenado; hacer funcionar un reformador, en donde el reformador está configurado para reformar un combustible usando el oxidante; y proporcionar combustible reformado del reformador a la cámara de combustión.

En un perfeccionamiento, la cámara de combustión es una cámara de pre-combustión.

En otro perfeccionamiento, el método comprende adicionalmente suministrar un oxidante que tiene un contenido de oxígeno menor que el del aire ambiente.

- 5 Aunque la invención se ha descrito en conexión con lo que actualmente se considera la realización más práctica y preferida, debe entenderse que la invención no está limitada a la realización o realizaciones descritas, sino que, al contrario, se pretende cubrir diversas modificaciones y disposiciones equivalentes incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, cuyo alcance debe estar de acuerdo con la interpretación más amplia, tal como para abarcar todas las modificaciones y estructuras equivalentes permitidas por la ley. Además, debe entenderse que
- 10 aunque el uso de la palabra preferible, preferiblemente, o preferido en la descripción anterior indica que el elemento así descrito puede ser más deseable, no obstante puede no ser necesario y puede contemplarse cualquier realización que carezca del mismo como dentro del alcance de la invención, estando definido este alcance por las siguientes reivindicaciones. Durante la lectura de las reivindicaciones se pretende que, cuando se usan palabras tales como "un," "uno" "al menos uno" y "al menos una parte", no hay intención de limitar la reivindicación únicamente a un elemento a menos que se indique específicamente lo contrario en la reivindicación. Además,
- 15 cuando se usan expresiones como "al menos una parte" y/o "una parte" el elemento puede incluir una parte y/o el elemento en su totalidad a menos que se indique específicamente lo contrario.

REIVINDICACIONES

1. Un método de operación de un motor, que comprende:
 - proporcionar una cámara de combustión del motor con un combustible;
 - arrancar el motor usando el combustible;
 - 5 suministrar un oxidante que tiene un contenido de oxígeno mayor que el del aire ambiente sin el uso de oxígeno almacenado, en donde el oxidante es aire enriquecido en oxígeno, y en donde el oxidante se combina con el combustible para proporcionar una corriente de alimentación a un reformador que contiene tanto el combustible como el oxidante,
 - 10 poner en marcha el reformador, en donde el reformador está configurado para reformar al menos parte del combustible usando el oxidante contenido en dicha corriente de alimentación;
 - realizar la transición desde el suministro de combustible a la cámara de combustión hasta un suministro de combustible reformado a la cámara de combustión; y
 - proporcionar únicamente el combustible reformado a la cámara de combustión después de la transición, en donde
 - 15 se proporciona el aire enriquecido en oxígeno por la eliminación del nitrógeno del aire.
2. El método de la reivindicación 1, en donde la transición se realiza después de que el reformador haya alcanzado una temperatura de auto-ignición catalítica.
3. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
 - 20 suministrar una primera parte del combustible reformado a una cámara de combustión del motor durante la operación del motor;
 - purgar una segunda parte del combustible reformado; en donde la primera parte y la segunda parte se suministran a la cámara de combustión respectiva, y purgar la localización a una primera razón;
 - cambiar una condición de operación del motor; y
 - 25 suministrar la primera parte y la segunda parte a la cámara de combustión respectiva y purgar la localización a una segunda razón como respuesta al cambio en la condición de operación de un motor.
4. El método de la reivindicación 1 ó 3, en donde la cámara de combustión es una cámara de pre-combustión.
5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el motor es un motor de combustión interna.
6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el combustible es gas natural.
- 30 7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el reformador es un reformador de oxidación parcial catalítica (CPOX).
8. El método de la reivindicación 3, en donde se suministra combustible no reformado a la localización de purga en o por encima de un punto de operación seleccionado del motor.
9. Un sistema (410) de motor, que comprende:
 - 35 un motor (412);
 - un sistema (230) de oxidante configurado para proporcionar un oxidante, en donde el oxidante es aire enriquecido en oxígeno y tiene un contenido de oxígeno que supera el contenido de oxígeno del aire atmosférico ambiente, en donde el sistema de oxidante está configurado para proporcionar el oxidante sin el uso de oxígeno almacenado y se proporciona el aire enriquecido en oxígeno por la eliminación del nitrógeno del aire;
 - 40 una cámara (232) de combinación, configurada para recibir el combustible y dicho oxidante para descargar una corriente de alimentación que contiene tanto dicho combustible como dicho oxidante,
 - un reformador (34) configurado para recibir dicha corriente de alimentación que contiene tanto dicho oxidante como dicho combustible y reformar el combustible usando el oxidante; y
 - 45 una cámara (418) de combustión del motor en comunicación fluida con el reformador, en donde el combustible

reformado es recibido en la cámara de combustión, y

un sistema (424, 452 y 454) de válvula configurado para realizar la transición entre 100% de combustible no reformado y 0% de combustible reformado suministrado a la cámara de combustión y entre 0% de combustible no reformado y 100% de combustible reformado suministrado a la cámara de combustión.

- 5 10. El sistema de motor de la reivindicación 9, en donde la cámara de combustión es una cámara de pre-combustión.
11. El sistema de motor de la reivindicación 9, que comprende además:
- 10 un enfriador (442) en comunicación fluida con el reformador y configurado para reducir la temperatura del combustible reformado producido por el reformador, en donde la cámara de combustión del motor está en comunicación fluida con el enfriador, y en donde la cámara de combustión está configurada para recibir el combustible reformado enfriado desde el enfriador.
12. El sistema de motor de la reivindicación 11,
- en donde el reformador es un reformador de oxidación parcial catalítica (CPOX).
- 15 13. El sistema de motor de la reivindicación 9 que comprende además una válvula configurada para controlar una cantidad de combustible suministrado al reformador y un sensor de temperatura configurado para detectar la temperatura del combustible reformado que sale del reformador, en donde la válvula está configurada para controlar la cantidad de combustible suministrado basándose en la temperatura del combustible reformado que sale del reformador.
14. El sistema de motor de la reivindicación 11,
- 20 que comprende además una admisión (416) de aire del motor y una válvula (452) en comunicación fluida entre el reformador y la admisión de aire, en donde la válvula está configurada para controlar una cantidad de flujo del combustible reformado a la cámara de combustión purgando una parte del combustible reformado a la admisión de aire.
15. El sistema de motor de la reivindicación 14,
- 25 en donde la válvula está configurada para aumentar una cantidad purgada del combustible reformado como respuesta a una disminución en la potencia de salida del motor; y en donde la válvula está configurada para disminuir una cantidad purgada del combustible reformado como respuesta a un aumento en la potencia de salida del motor.
16. El sistema de motor de la reivindicación 9, que comprende además:
- 30 una admisión de aire del motor; y
- una válvula en comunicación fluida entre el reformador y la admisión de aire, en donde la válvula está configurada para controlar una cantidad de flujo del combustible reformado a la cámara de combustión purgando una parte del combustible reformado.
17. El sistema de motor de la reivindicación 16,
- 35 en donde la válvula está configurada para aumentar una cantidad purgada del combustible reformado como respuesta a una disminución en la potencia de salida del motor; y en donde la válvula está configurada para disminuir una cantidad purgada del combustible reformado como respuesta a un aumento en la potencia de salida del motor.

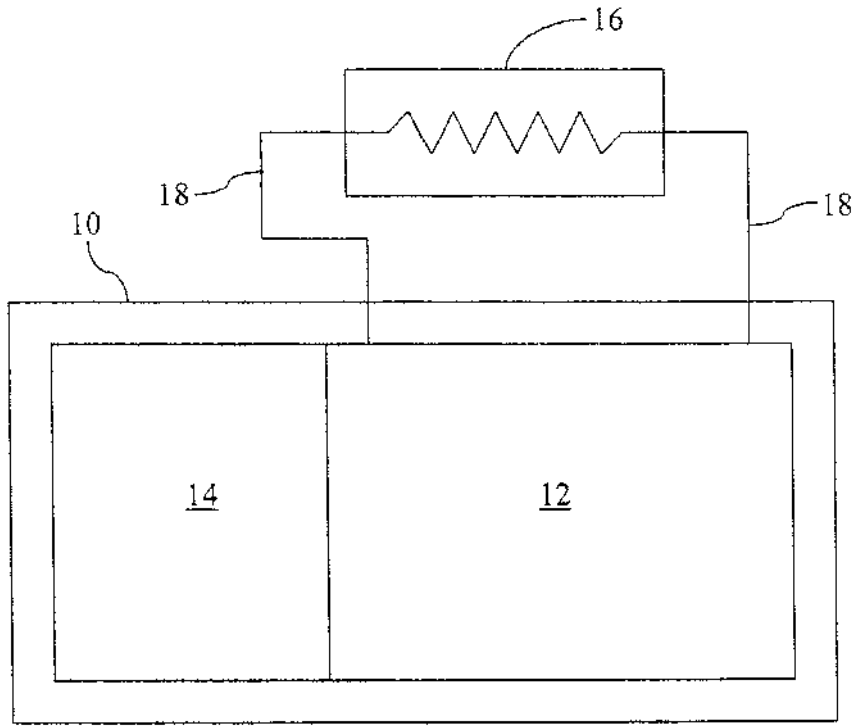


FIG. 1

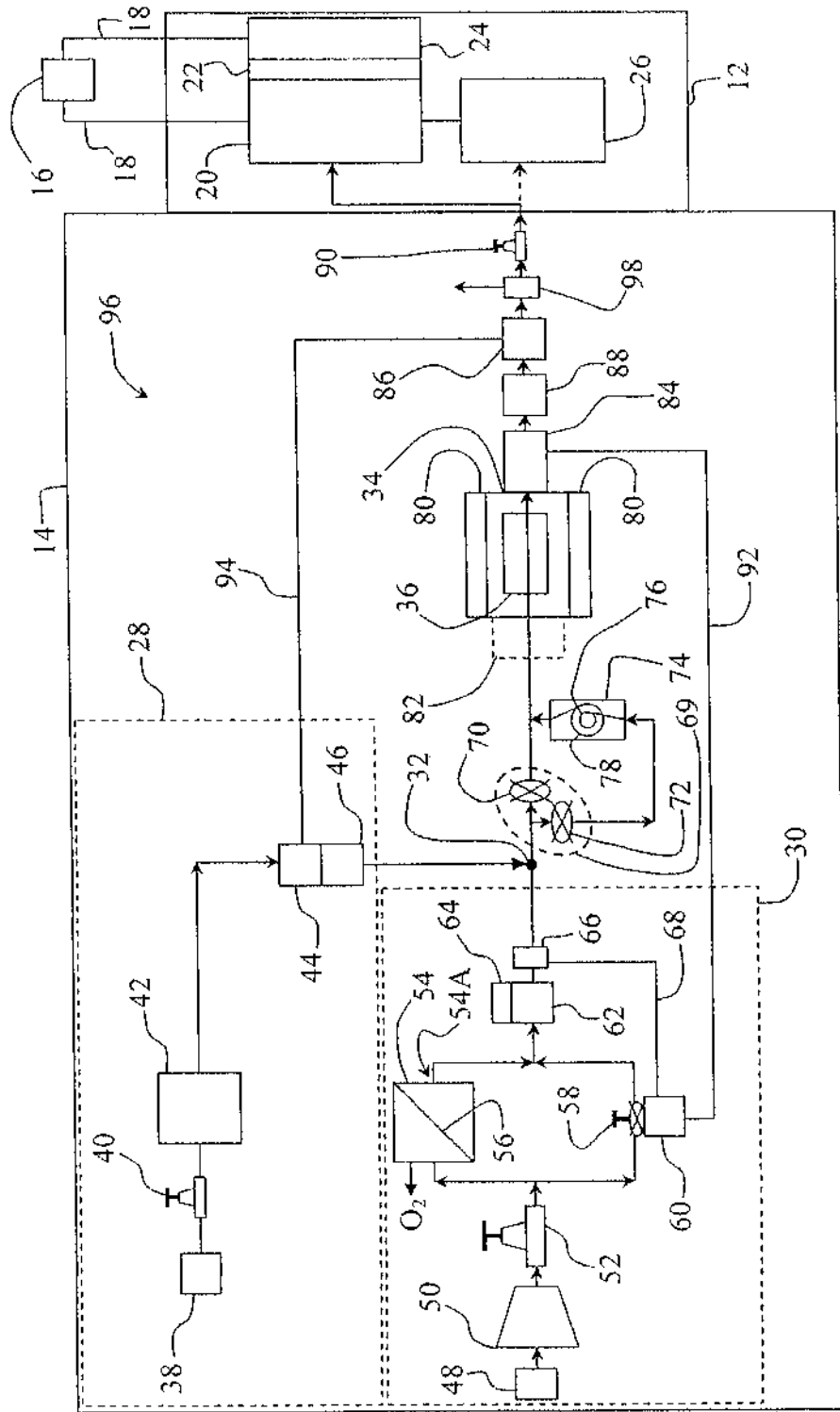


FIG. 2

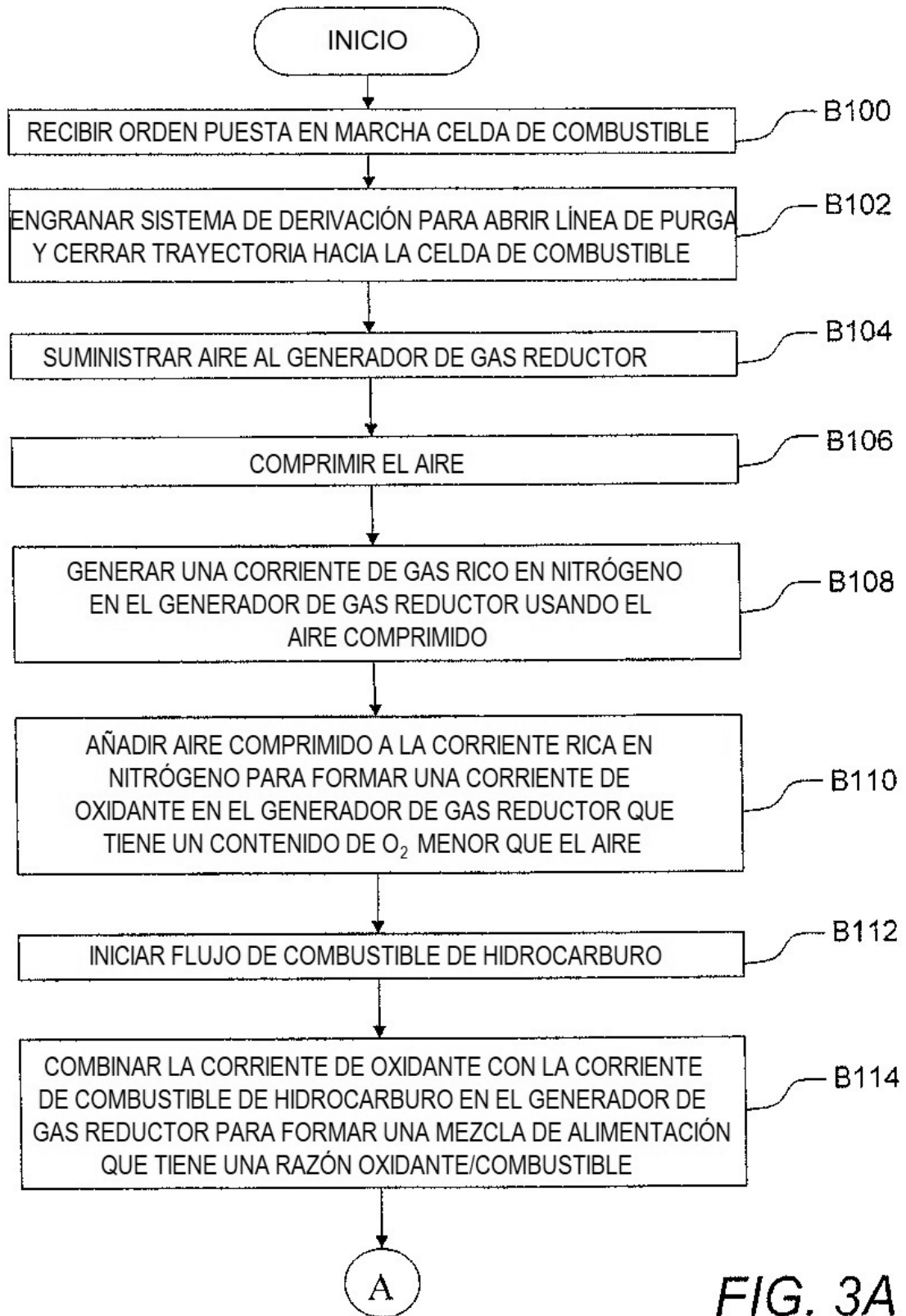
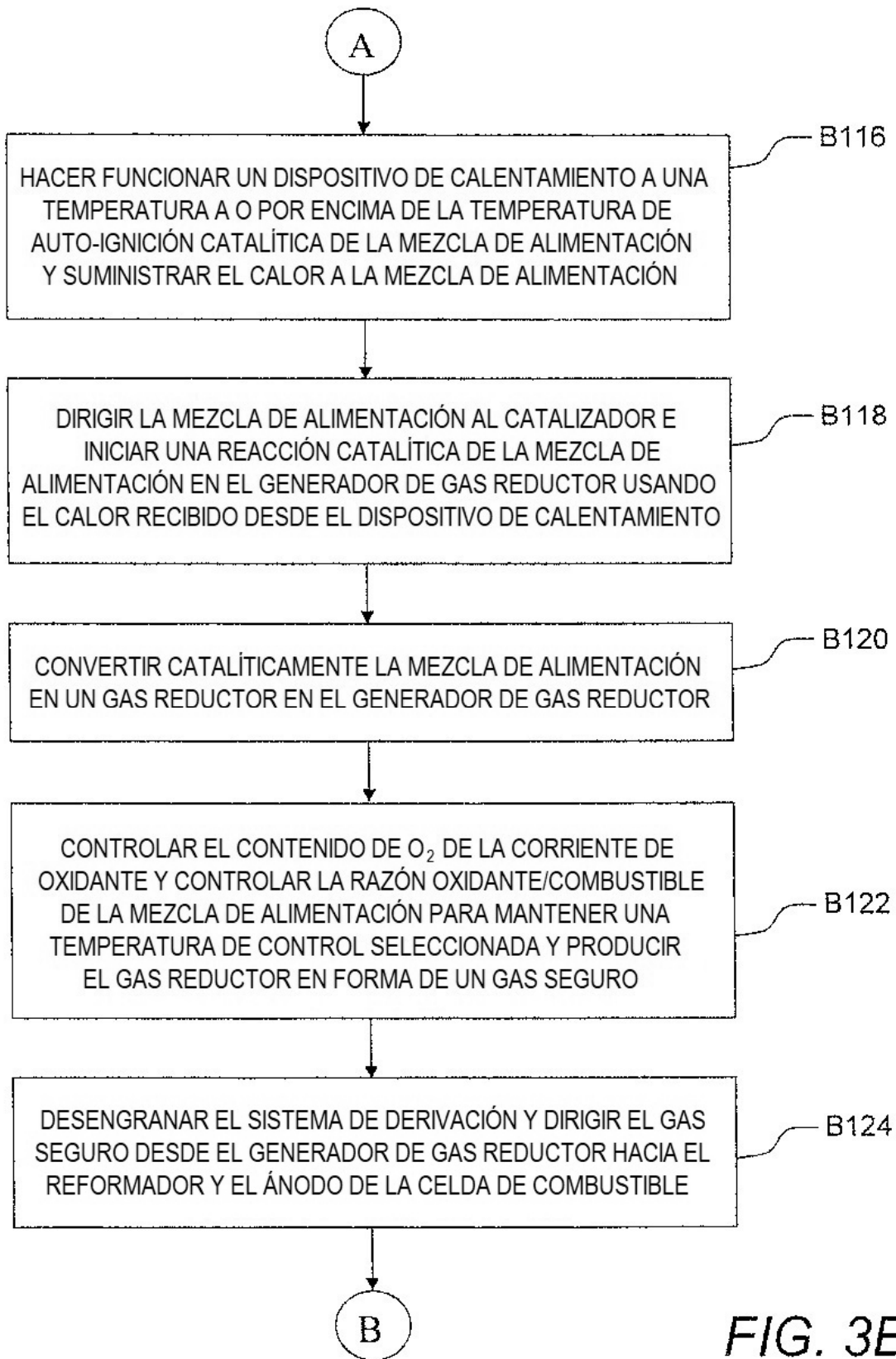


FIG. 3A



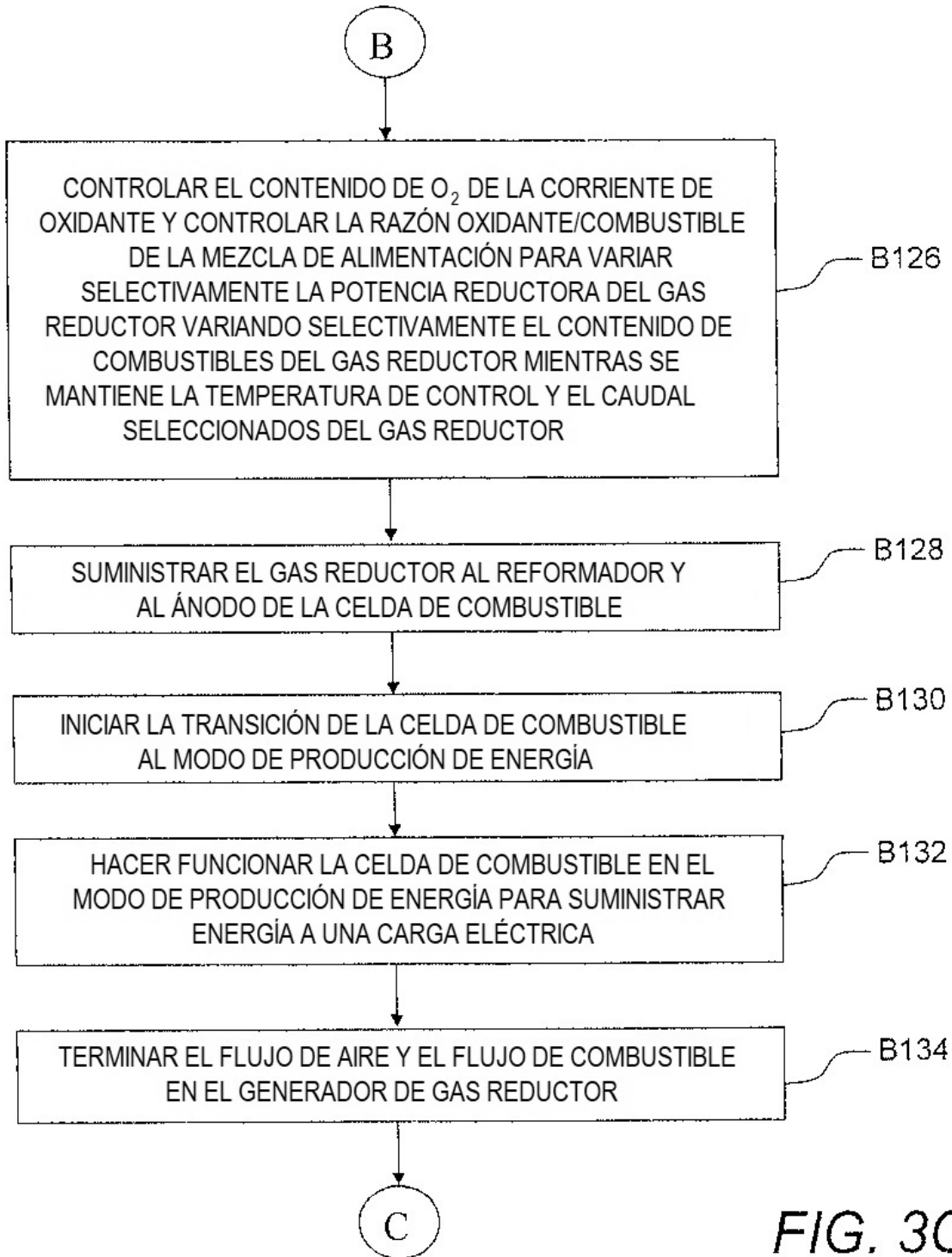


FIG. 3C

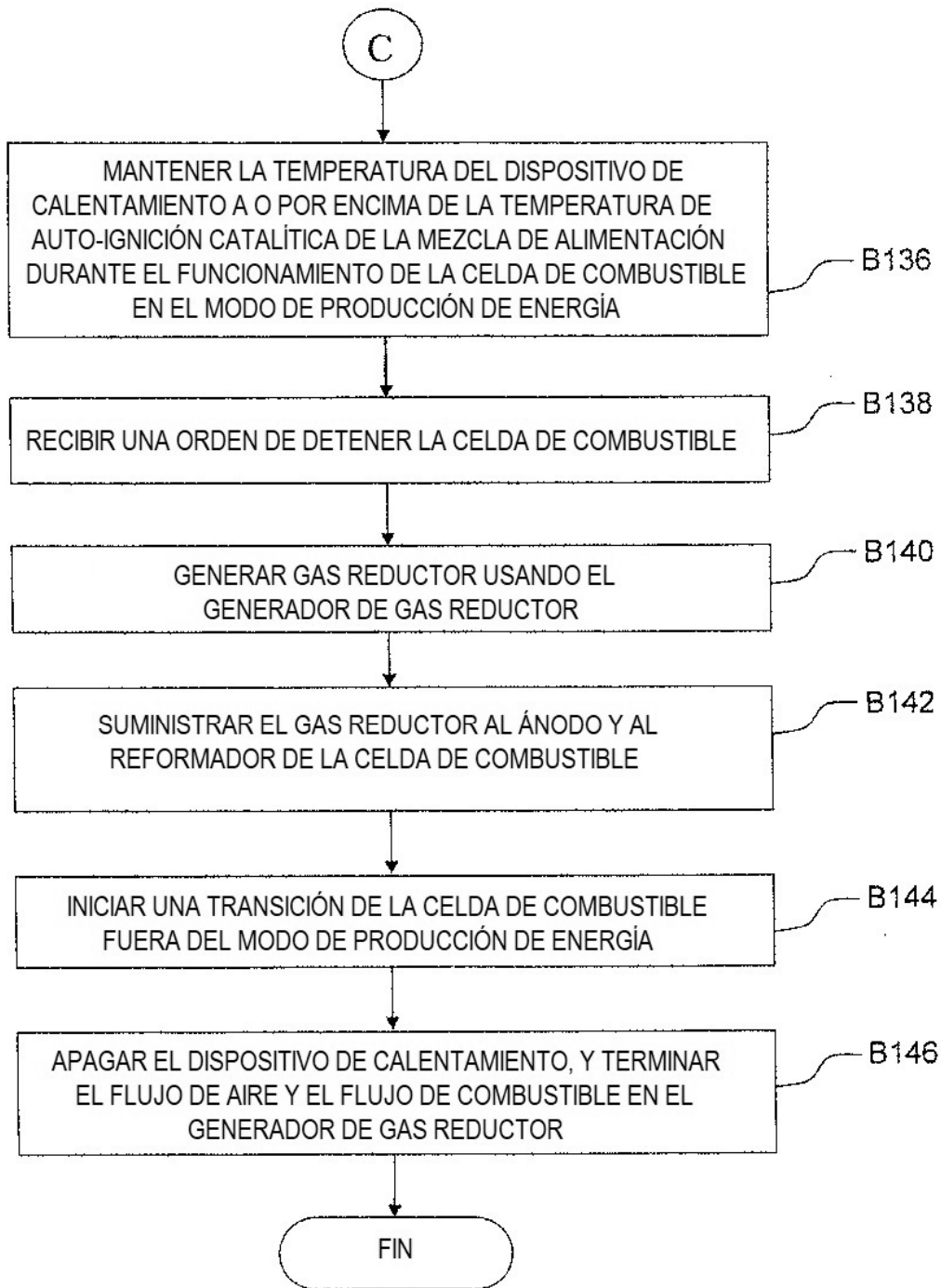
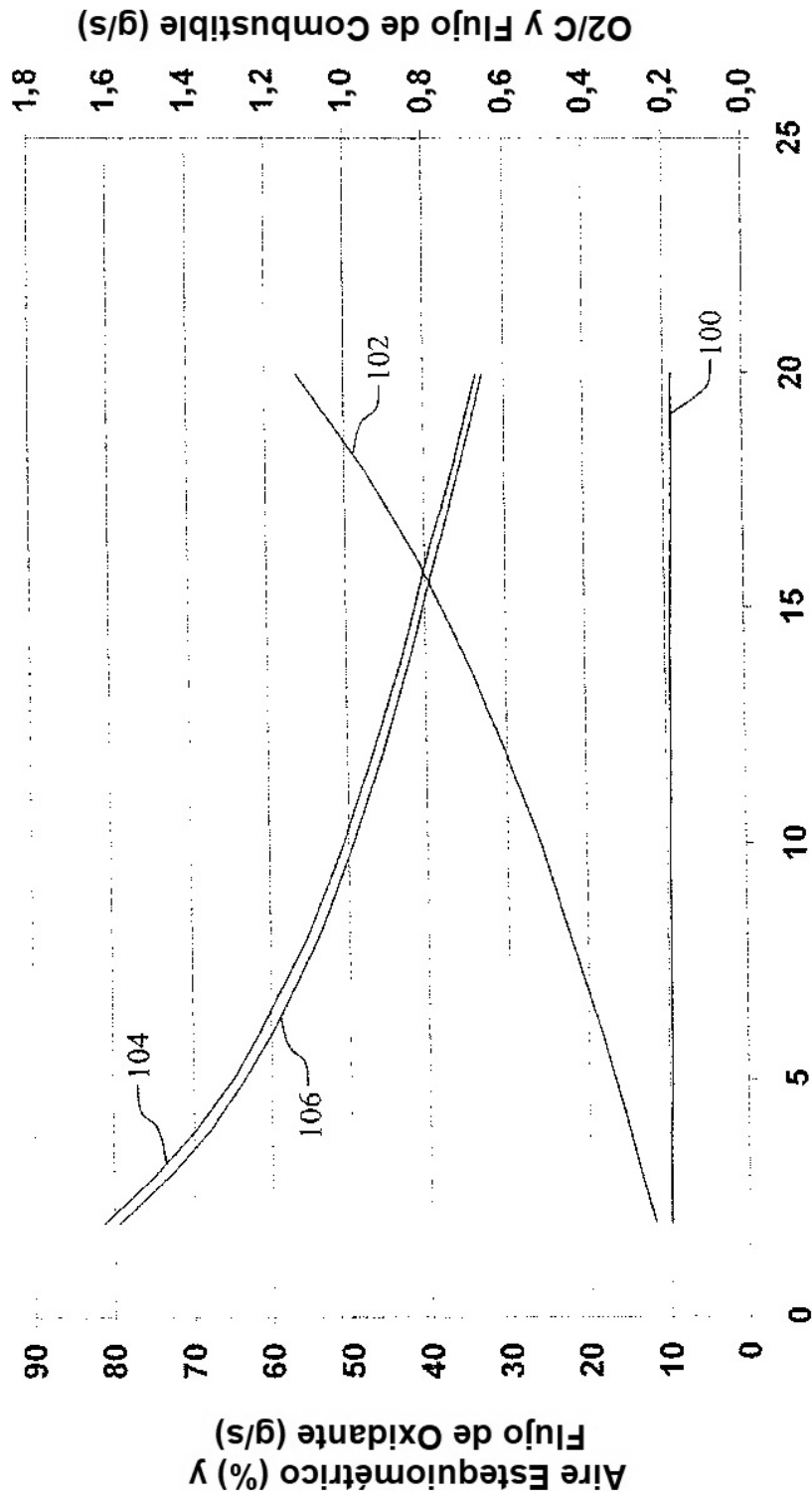


FIG. 3D

Flujo de Gas Reductor 10 g/s, Tsalida = 770°C



Porcentaje H₂ FIG. 4

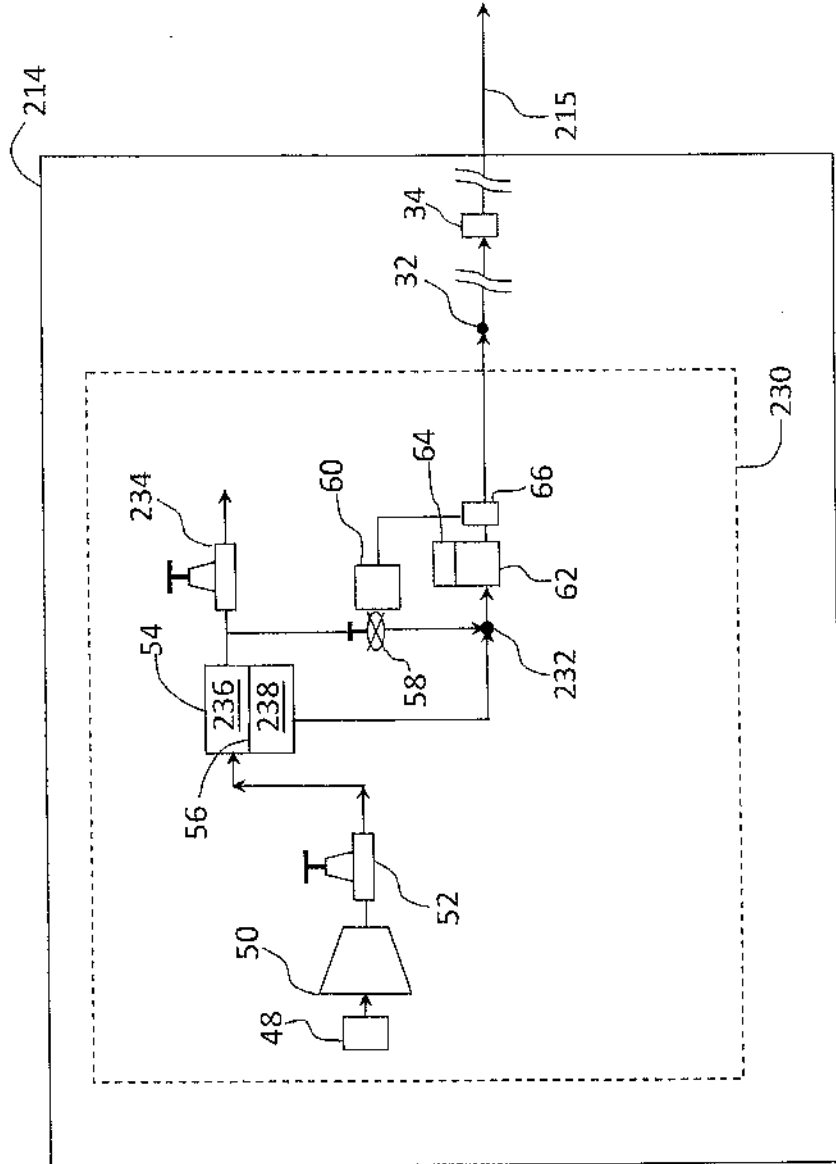


FIG. 5A

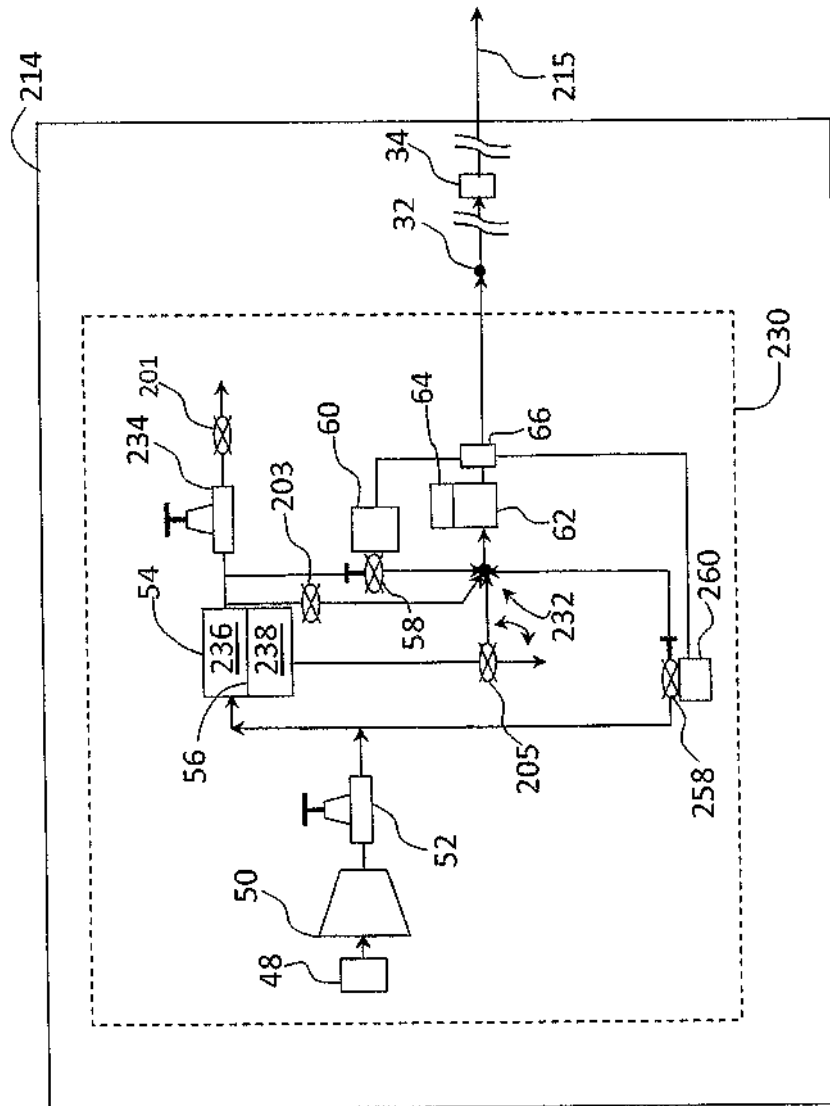


FIG. 5B

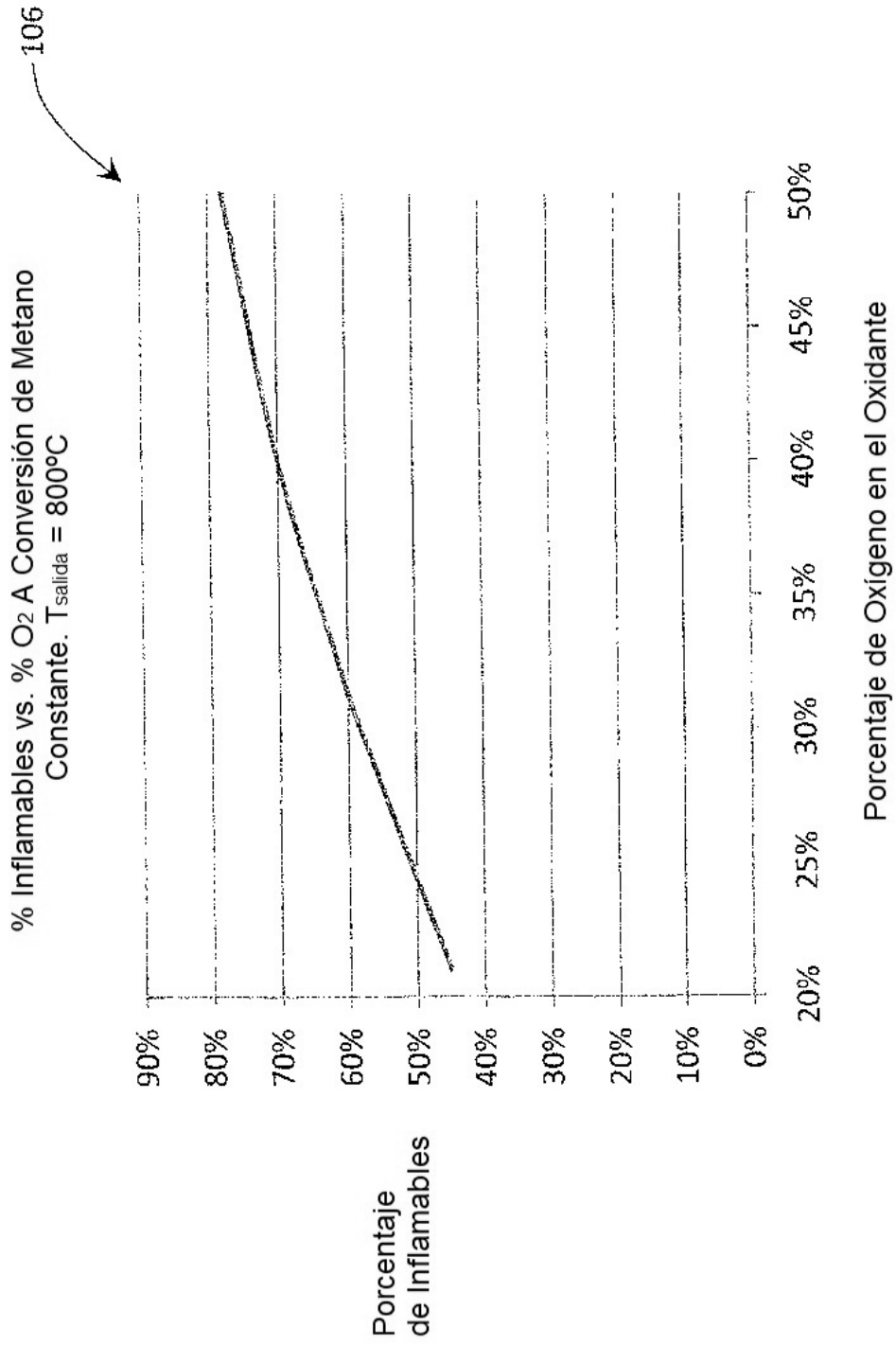


FIG. 6

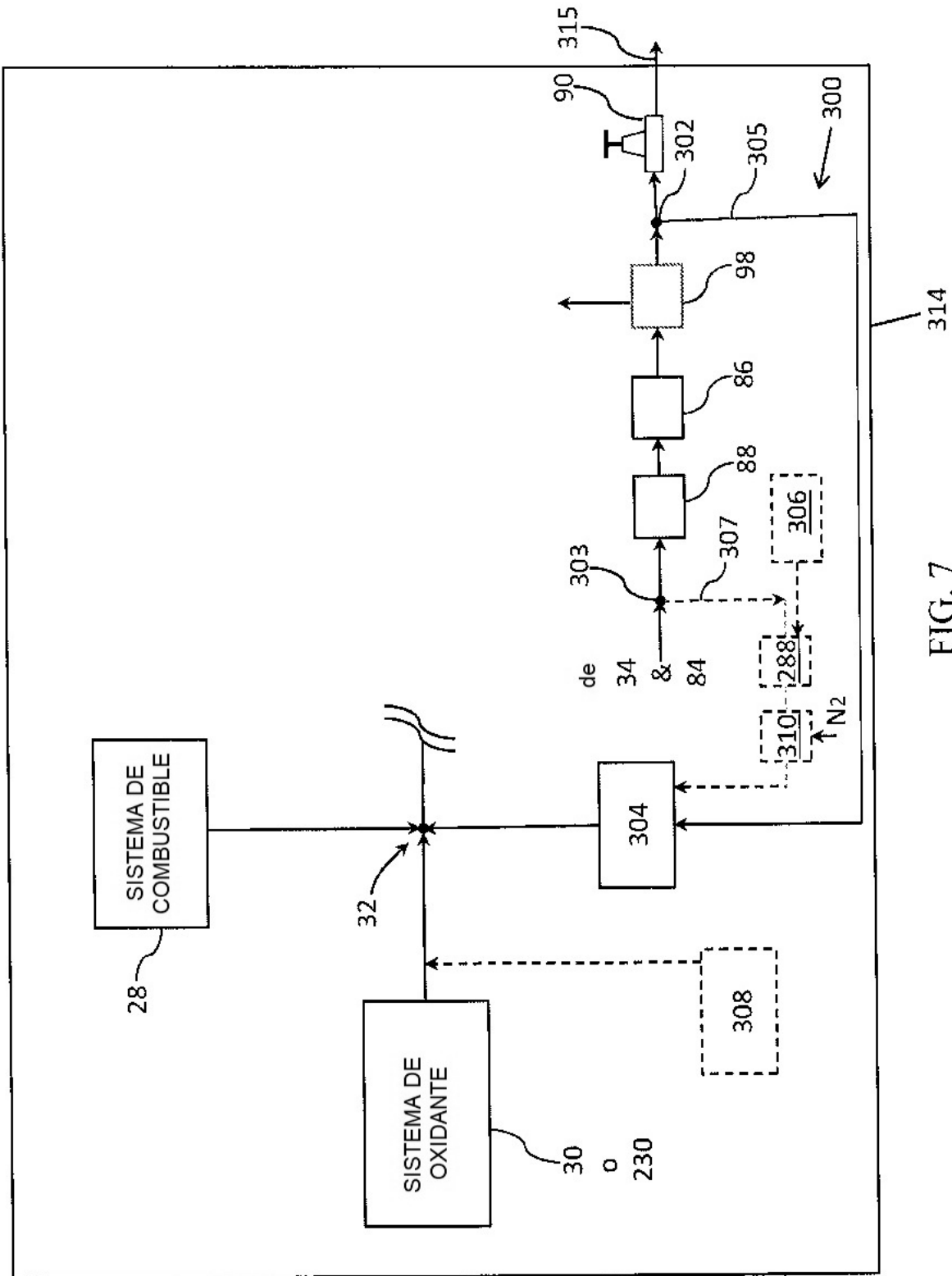


FIG. 7

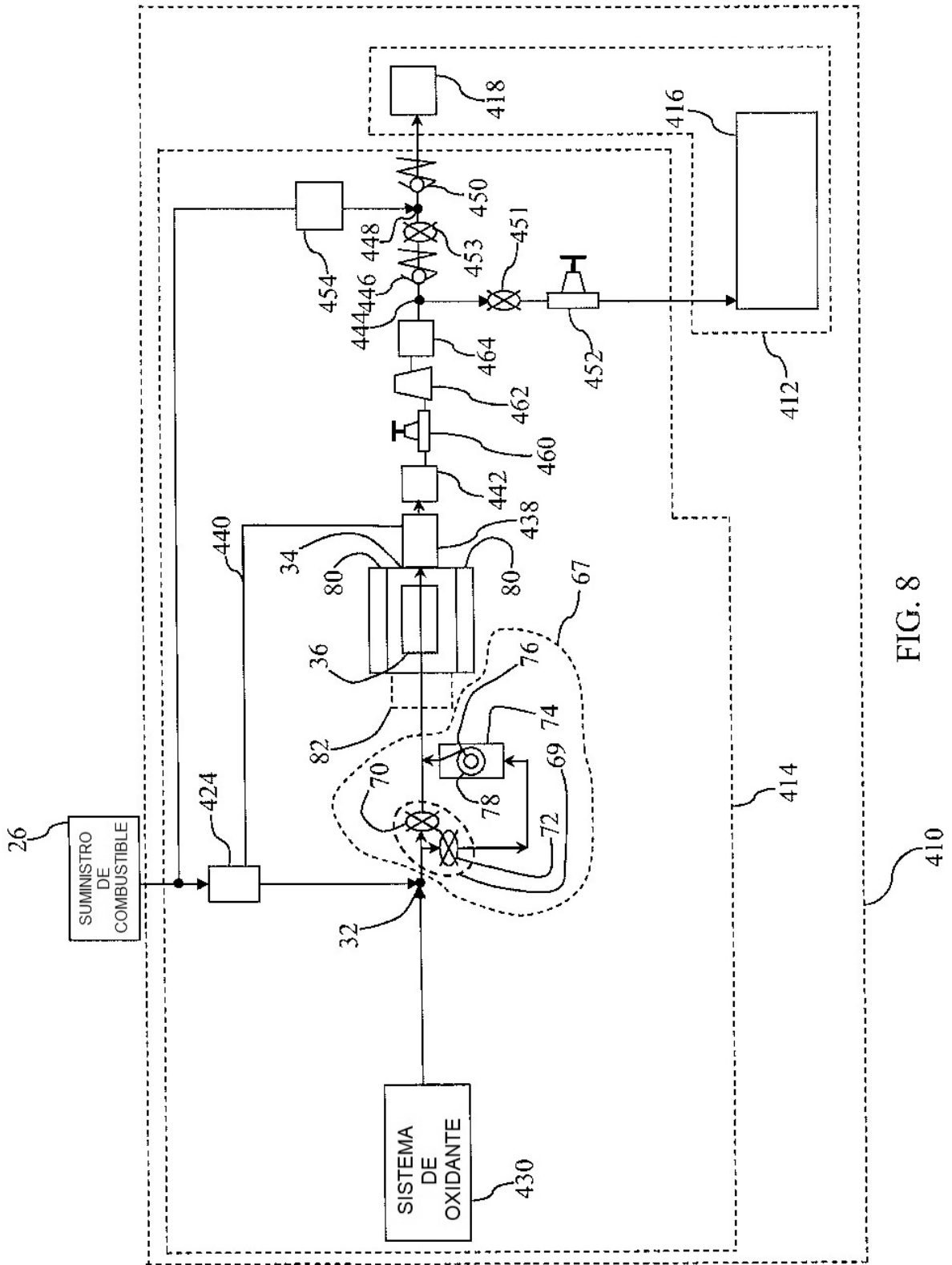


FIG. 8