

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 588 228**

51 Int. Cl.:

H01M 8/04 (2006.01)

H01M 8/06 (2006.01)

H01M 8/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.09.2010 PCT/US2010/047850**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.03.2011 WO11029024**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.09.2010 E 10814572 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.07.2016 EP 2474067**

54 Título: **Aparato para la generación de un gas que se puede utilizar para el arranque y el apagado de una pila de combustible**

30 Prioridad:

04.09.2009 US 554460

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

31.10.2016

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;
BIRMINGHAM, DANIEL, P.;
DEBELLIS, CRISPIN, L.;
PERNA, MARK, ANTHONY y
RUSH, GREGORY, C.**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 588 228 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

Aparato para la generación de un gas que se puede utilizar para el arranque y el apagado de una pila de combustible

5

Campo de la invención

La presente invención se refiere a sistemas de pila de combustible, y más particularmente, a un aparato para la generación de un gas que se puede utilizar para el arranque y apagado de una pila de combustible.

10

Antecedentes

Los sistemas de pila de combustible, tales como plantas de potencia basadas en pila de combustible y equipos de generación de potencia basados en pila de combustible móviles, generan potencia eléctrica a través de reacciones electro-químicas, y están entrando en un mayor uso debido a que los subproductos de escape son normalmente más limpios que las plantas de potencia tradicionales, y porque las pila de combustible pueden generar electricidad de manera más eficaz que las plantas de potencia tradicionales. Los sistemas de pila de combustible emplean, a menudo, pila de pila de combustible individual, cada pila de combustible incluyendo normalmente un ánodo, un cátodo, y un electrolito situado entre el ánodo y el cátodo. La carga eléctrica se acopla al ánodo y al cátodo. El ánodo y el cátodo son eléctricamente conductores y permeables a los gases necesarios, tales como hidrógeno y oxígeno, respectivamente. En una pila de combustible de óxido sólida (SOFC), el electrolito se configura para pasar iones de oxígeno, y tiene poca o ninguna conductividad eléctrica con el fin de impedir el paso de electrones libres del cátodo al ánodo. A fin de que las reacciones electro-químicas tengan lugar de manera eficaz, algunas pila de combustible se hacen funcionar a temperaturas elevadas, por ejemplo, con temperaturas de ánodo, cátodo y electrolito próximas a 700 °C a 1000 °C o mayores para una SOFC.

Durante la operación normal, se suministra un gas de síntesis en el ánodo, y un oxidante, tal como aire, se suministra al cátodo. Algunos sistemas de pila de combustible incluyen un reformador interno que reforma catalíticamente el combustible en un gas de síntesis (syngas) mediante el uso de un oxidante. El combustible puede ser un combustible convencional, tal como gas natural, gasolina, combustible diésel, o un combustible alternativo, tal como bio-gas, etc. El gas de síntesis incluye normalmente hidrógeno (H₂), que es un gas que se utiliza con frecuencia en pila de combustible de muchos tipos. El gas de síntesis puede contener otros gases adecuados como combustible, tales como monóxido de carbono (CO), que sirve como un reactivo para algunos tipos de pila de combustible, por ejemplo, las pila de combustible SOFC, aunque el monóxido de carbono puede ser perjudicial para otros tipos de pila de combustible, tales como pila de combustible PEM (membrana de intercambio de protones). Además, el gas de síntesis incluye normalmente otros subproductos del reformador, tales como vapor de agua y otros gases, por ejemplo, nitrógeno y dióxido de carbono (CO₂), metano (normalmente al 1 %), así como altas trazas de hidrocarburos sin reaccionar, tales como etano.

En cualquier caso, el gas de síntesis se oxida en una reacción electro-química en el ánodo con los iones de oxígeno recibidos del cátodo a través de la migración a través del electrolito. La reacción crea vapor de agua y electricidad en forma de electrones libres en el ánodo que se utilizan para alimentar la carga eléctrica. Los iones de oxígeno son creados a través de una reducción del oxidante del cátodo mediante el uso de los electrones que regresan de la carga eléctrica en el cátodo.

Una vez que se arranca la pila de combustible, los procesos internos mantienen la temperatura requerida para la operación. Sin embargo, con el fin de arrancar la pila de combustible, los componentes del sistema de pila de combustible primarios se deben calentar, y algunos componentes del sistema de pila de combustible se deben proteger de daños durante el arranque. Por ejemplo, el ánodo se puede ver sometido a daños de oxidación en presencia de oxígeno a temperaturas por debajo de la temperatura de operación normal en ausencia de gas de síntesis. Además, el reformador puede requerir una química específica además de calor, con el fin de iniciar las reacciones catalíticas que generan el gas de síntesis. Además, el arranque del sistema de pila de combustible se debe realizar de una manera de seguridad, por ejemplo, a fin de evitar una mezcla inflamable de la formación durante el proceso de arrancada. Aún más, es deseable purgar la pila de combustible con un gas no explosivo y no oxidante durante la etapa inicial de arrancada.

El documento WO2008/091801 A2 divulga una cámara de combustión de múltiples etapas para el arranque de un sistema de pila de combustible de la cámara de combustión que incluye un quemador de oxidación parcial.

El documento US 5.928.805 A divulga un sistema de suministro de gas de cubierta y arrancada para un generador de potencia de pila de combustible de óxido sólida.

Lo que se necesita en la técnica es un aparato y un método mejorados para el arranque y apagado de una pila de combustible.

65

Sumario

5 La presente invención proporciona un generador de gas de reducción de acuerdo con la reivindicación independiente 1 para el arranque y apagado de una pila de combustible. Además, la invención proporciona un sistema de pila de combustible de acuerdo con la reivindicación independiente 14. Por ejemplo, las realizaciones de la presente invención pueden emplear un generador de nitrógeno para generar una corriente rica en nitrógeno, por ejemplo, mediante el uso de una membrana de separación de nitrógeno, que se puede utilizar para purgar uno o más componentes del subsistema auxiliares u otros componentes de una planta de potencia de pila de combustible.

10 Además, la misma y/u otras realizaciones de la presente invención pueden incluir la generación de un oxidante con bajo contenido de oxígeno, que combina el oxidante con el combustible para producir una mezcla de alimentación, y convierte después catalíticamente la mezcla de alimentación en un gas de reducción.

15 Además, la misma y/u otras realizaciones de la presente invención pueden incluir variar el contenido de oxígeno del oxidante y variar también la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación a fin de mantener el gas de reducción a una temperatura deseada, por ejemplo, una temperatura de reacción o una temperatura aguas abajo del reactor.

20 Además, la misma y/o diferentes realizaciones de la presente invención pueden incluir controlar el contenido de oxígeno del oxidante y controlar también la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación con el fin de mantener una temperatura de salida del catalizador deseada, mientras que proporciona una reducción deseada de la fuerza del gas de reducción, por ejemplo, variando el contenido de combustible del gas de reducción, mientras que se proporciona un caudal deseado del gas de reducción.

25 Aún más, la misma y/o diferentes realizaciones de la presente invención pueden incluir controlar el contenido de oxígeno del oxidante y controlar también la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación con el fin de mantener una temperatura de salida del catalizador deseada, mientras se proporciona una reducción deseada de la fuerza del gas de reducción, por ejemplo, variando el contenido de combustible del gas de reducción, mientras se varía el flujo del gas de reducción.

30 Todavía adicionalmente, la misma y/o diferentes realizaciones de la presente invención pueden incluir controlar el contenido de oxígeno del oxidante y controlar también la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación con el fin de mantener una temperatura de salida del catalizador de gas de reducción deseada, mientras se varía, por ejemplo, cambia, la intensidad de reducción del gas de reducción, por ejemplo, variando el contenido de combustible del gas de reducción.

35 Aún todavía más, la misma y/o diferentes realizaciones de la presente invención pueden incluir el mantenimiento de una temperatura, por ejemplo, de un dispositivo de calentamiento, en o por encima de la temperatura de encendido del catalizador de la mezcla de alimentación con el fin de reducir la cantidad del tiempo necesario para comenzar a producir el gas de reducción.

Breve descripción de los dibujos

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

La Figura 1 representa esquemáticamente un sistema de pila de combustible de acuerdo con una realización de la presente invención.

50 La Figura 2 representa esquemáticamente el sistema de pila de combustible de la Figura 1 con mayor detalle, incluyendo un generador de gas de reducción de acuerdo con una realización de la presente invención.

55 Las Figuras 3A-3D son un diagrama de flujo que representa un método para el arranque y apagado de una pila de combustible que utiliza un generador de gas de reducción de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 4 es un gráfico que representa los parámetros de conversión catalítica en un reactor catalítico de un generador de gas de reducción de acuerdo con una realización de la presente invención.

60 Descripción detallada

65 Con el fin de promover una comprensión de los principios de la invención, a continuación se hará referencia a las realizaciones ilustradas en los dibujos y un lenguaje específico será utilizado para describir las mismas. No obstante, se entenderá que ninguna limitación del alcance de la invención se pretende por la ilustración y descripción de ciertas realizaciones de la invención. Además, cualquier alteración y/o modificaciones de la realización o realizaciones ilustradas y/o descritas se contemplan como dentro del alcance de la presente invención. Además,

cualquier otra aplicación de los principios de la invención, como se ilustra y/o describen en la presente memoria, como se le ocurrirían normalmente a un experto en la materia a la que pertenece la invención, se contemplan como dentro del alcance de la presente invención.

5 Con referencia a continuación a las Figuras, y, en particular, la Figura 1, se representa un esquema de un sistema de pila de combustible 10 de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema de pila de combustible 10 incluye una o más de una pila de combustible 12, e incluye un sistema de pila de combustible 14. Un generador de gas de reducción 10 se configura para proporcionar potencia a una carga eléctrica 16, por ejemplo, a través de líneas de potencia eléctrica 18. En la presente realización, la pila de combustible 12 es una pila de combustible de óxido sólida (SOFC), aunque se entenderá que la presente invención es igualmente aplicable a otros tipos de pila de combustible, tales como las pila de combustible alcalinas, pila de combustible de carbonato fundido (MCFC), pila de combustible de ácido fosfórico (PAFC), y pila de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM). En la presente realización, el sistema de pila de combustible 10 es adecuado, pero no está limitado, para su uso en un sistema híbrido de turbina de pila de combustible cuando se emplean corrientes de alimentación a alta presión.

El generador de gas de reducción 14 de la presente realización se configura para generar un gas de reducción que tiene un contenido de combustible (que es principalmente hidrógeno - H_2 y monóxido de carbono - CO) que puede variar dentro de un intervalo de composición de contenidos combustibles de aproximadamente el 3 % a contenidos de combustibles de aproximadamente el 45 %. En otras realizaciones, diferentes intervalos de composición se pueden emplear, por ejemplo, un intervalo de contenido de combustible de aproximadamente el 2 % a un contenido de combustible de aproximadamente el 50 % en algunas realizaciones, y de un contenido de combustible de aproximadamente el 1 % a un contenido de combustible de aproximadamente el 60 % en otras realizaciones. Como se indica más adelante, el generador de gas de reducción 14 de la presente realización está adaptado para producir un gas de inicio en la forma de un gas de reducción que tiene como función principal proteger el ánodo de la pila de combustible 12 de la oxidación durante el arranque de la pila de combustible 12, por ejemplo, durante el sistema de calentamiento antes de la generación de potencia. A medida que se inicia la generación de potencia, el gas de reducción transiciona hacia fuera.

En la realización de la Figura 1, diversas características, componentes e interrelaciones entre los mismos de los aspectos de una realización de la presente invención se representan. Sin embargo, la presente invención no se limita a la realización particular de la Figura 1 ni a los componentes, características e interrelaciones entre los mismos como se ilustran en la Figura 1 y se describen en la presente memoria. Por ejemplo, otras realizaciones incluidas en la presente invención, manifestándose la presente invención por los principios descritos explícita e implícitamente en la presente memoria a través de las presentes Figuras y la descripción detallada y establecidos en las reivindicaciones, pueden incluir un mayor o menor número de componentes, características y/o interrelaciones entre los mismos, y/o pueden emplear diferentes componentes y/o características con la misma y/o diferente naturaleza y/o relaciones entre los mismos, que se pueden emplear para realizar funciones similares y/o diferentes en relación con aquellas ilustradas en la Figura 1 y descritas en la presente memoria.

Con referencia a continuación a la Figura 2, la pila de combustible 12 y el generador de gas de reducción 14 se describen con mayor detalle. La pila de combustible 12 incluye al menos uno de 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 pila de combustible 12. El reformador 26 es un reformador de vapor interno que recibe vapor de agua como un constituyente de una corriente de gas producto reciclada de pila de combustible, y el calor para la operación de las reacciones electro-químicas de la pila de combustible 12. El generador de gas de reducción 14 no es una parte de la pila de combustible 12, sino más bien, se configura para la generación de gases para su uso en el arranque y apagado de la pila de combustible 12.

El ánodo 20 se acopla eléctricamente a una carga eléctrica 16 a través de línea de potencia eléctrica 18, y el cátodo 24 se acopla también eléctricamente a la carga eléctrica 16 a través de la otra línea de potencia eléctrica 18. El electrolito 22 se dispone 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, iones de oxígeno. El electrolito 22 se configura para pasar los iones de oxígeno, y tiene poca o ninguna conductividad eléctrica, por ejemplo, a fin de impedir el paso de electrones libres desde el cátodo 24 hasta el ánodo 20.

El reformador 26 se acopla al ánodo 20, y se configura para recibir un combustible y un oxidante y para reformar de la mezcla de combustible/oxidante en un gas de síntesis (syngas) que consiste principalmente en hidrógeno (H_2), monóxido de carbono (CO), así como otros subproductos del reformador, tales como vapor de agua en forma de vapor, y otros gases, por ejemplo, nitrógeno y dióxido de carbono (CO_2), metano sin reaccionar (CH_4), así como trazas de hidrocarburos sin reaccionar. En la presente realización, el oxidante empleado por pila de combustible 12 durante la operación normal, es decir, en el modo de producción de potencia para suministrar potencia eléctrica a la carga eléctrica 16, es aire, y el combustible es gas natural, aunque se entiende que otros oxidantes y/o combustibles se pueden emplear sin apartarse del alcance de la presente invención.

65

El gas de síntesis se oxida en una reacción electro-química en el ánodo 20 con los iones de oxígeno recibidos del cátodo 24 a través de la migración a través del electrolito 22. La reacción electro-química crea vapor de agua y potencia eléctrica en una forma de electrones libres en el ánodo que se utilizan para accionar la carga eléctrica 16. Los iones de oxígeno se crean a través de una reducción del oxidante del cátodo mediante el uso de los electrones que retornan de la carga eléctrica 16 en el cátodo 24.

Una vez que se arranca la pila de combustible 12, los procesos internos mantienen la temperatura requerida para las operaciones normales de generación de potencia. Sin embargo, con el fin de arrancar la pila de combustible, los componentes primarios del sistema de pila de combustible se deben calentar, incluyendo el ánodo 20, el electrolito 22, el cátodo 24 y el reformador 26.

Además, algunos componentes de la pila de combustible 12 pueden estar protegidos de daños durante el arranque, por ejemplo, debido a la oxidación. Por ejemplo, el ánodo 20 se puede ver 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 pila de combustible 12 en ausencia de gas de síntesis. También, el reformador 26 puede necesitar una química específica, por ejemplo, H₂O en forma de vapor, además del calor proporcionado durante el arranque de la pila de combustible 12, con el fin de iniciar las reacciones catalíticas que generan el gas de síntesis. Además, es deseable que la pila de combustible 12 se pueda arrancar de manera de seguridad, por ejemplo, a fin de evitar la formación de una mezcla combustible durante el proceso de arrancada. Por lo tanto, puede ser deseable purgar el ánodo 20 con un gas de reducción no inflamable durante el arranque inicial a medida que se aumenta la temperatura del ánodo 20. En un aspecto, una característica del generador de gas de reducción 14 es que el gas de reducción se puede diluir suficientemente en combustibles para evitar la formación potencial de una mezcla inflamable (es decir, potencialmente explosiva) tras la mezcla con el aire. Esto puede ser deseable durante la porción de baja temperatura de calentamiento de la pila de combustible 12 donde cualquier combustible mezclado con el aire se encuentra por debajo de la temperatura de auto-ignición, y por lo tanto, se puede acumular potencialmente para formar cantidades peligrosas de gases inflamables potencialmente a presión dentro del recipiente que contiene de la pila de combustible 12.

La fuerza de gas de reducción para la protección del ánodo 20 de la pila de combustible 12 a partir de la migración de oxígeno puede ser bastante alta, por ejemplo, hasta un contenido de combustible del 45 % en la presente realización, hasta el 50 % en otras realizaciones, y hasta un contenido de combustible del 60 % en otras realizaciones adicionales. Los mecanismos que causan la migración de oxígeno a través del electrolito 22 hasta el lado del ánodo 20 de la pila de combustible 12 son a menudo dependientes de la temperatura, e incluyen la permeación a oxígeno a través del electrolito 22 o transferencia de oxígeno inducida por corrientes de cortocircuito. Además, los mecanismos de fugas físicos pueden empeorar con la temperatura a medida que los materiales se expanden de forma diferencial. Por tanto, la capacidad del generador de gas de reducción 14 para aumentar el contenido de combustible a altas temperaturas de la pila de combustible 12 durante el arranque puede ser particularmente útil en la protección del ánodo 20 contra daños oxidativos.

Desde una perspectiva de seguridad, puede ser posible pasar a una mayor intensidad de reducción a temperaturas más altas de la pila de combustible 12 durante el arranque, puesto que la posibilidad de mezclar el gas de reducción con un volumen de presión de aire para formar una mezcla combustible en o cerca de la pila de combustible 12 se reduce si el gas de reducción es superior a la temperatura de auto-ignición, debido a que el gas de reducción tendería a quemarse inmediatamente después de la mezcla con el aire. Además, esto puede evitar la acumulación de una mezcla inflamable que puede deflagrarse potencialmente si la mezcla entrara repentinamente en contacto con una fuente de ignición, ya que tal mezcla tendería a quemarse inmediatamente cuando se encuentra por encima de la temperatura de auto-ignición, en vez de acumular una gran cantidad de la mezcla.

Por lo tanto, en algunas realizaciones, puede ser deseable operar el generador de gas de reducción 14 de tal manera que el gas de reducción se encuentre inicialmente reduciendo débilmente y muy por debajo del límite de inflamabilidad, por ejemplo, contenido de combustible del 3 % en la presente realización, aunque otros valores se pueden emplear, por ejemplo, contenido de combustible del 2 % en algunas realizaciones y un contenido de combustible del 1 % o menos en otras realizaciones. En todavía otras realizaciones, el contenido de combustible puede ser superior al 3 %. El contenido de combustible puede posteriormente cambiar a una condición de reducción fuerte (es decir, combustibles superiores) (mayor intensidad de reducción) cuando las condiciones de temperatura en la pila de combustible 12, por ejemplo, en el ánodo 20, son lo suficientemente altas como para asegurar que el gas de reducción se encuentra muy por encima de su límite de inflamabilidad inferior. Por ejemplo, la condición de reducción fuerte puede ser de hasta un contenido combustibles del 45 % en la presente realización, de hasta un contenido combustibles del 50 % en otras realizaciones, y de hasta un contenido combustibles del 60 % o más en otras realizaciones, dependiendo de las condiciones en la pila de combustible 12. Una mayor entrada de energía al sistema con un gas de reducción más fuerte se puede compensar por la disminución del flujo de combustible al quemador de gases de escape de la planta de potencia de pila de combustible para dichas plantas, con tales equipos.

En consecuencia, las realizaciones de la presente invención pueden emplear el generador de gas de reducción 14 para generar un gas de purga para purgar la pila de combustible 12 de oxidantes, en particular, en el cátodo 24, así

como para generar un gas de seguridad, es decir, un gas de reducción débil que tiene un nivel relativamente bajo de combustibles.

Además, las realizaciones de la presente invención pueden también emplear el generador de gas de reducción 14 para producir un gas de reducción de intensidad de reducción variable. La composición del gas de reducción proporcionado mediante el generador de gas de reducción 14 se puede configurar también para contener vapor adecuado para iniciar la operación del reformador interno 26 a medida que se inicia el flujo de corriente de combustible de la pila de combustible 12, por ejemplo, gas natural. En consecuencia, el gas de reducción suministrado a la pila de combustible 12 procedente del generador de gas de reducción 14 se puede considerar como un gas de transición puesto que la producción de potencia por la pila de combustible 12 se intensifica. Además, el generador de gas de reducción 14 de la presente realización puede ser capaz de una rápida arrancada, por ejemplo, para la protección de ánodo 20 en el caso de eventos de apagado de emergencia en la pila de combustible 12, por ejemplo, mediante el mantenimiento de ciertos elementos del generador de gas de reducción 14 a temperaturas elevadas con el fin de acelerar el inicio de las reacciones catalíticas que producen el gas de reducción.

En la presente realización, como se ilustra en la Figura 2, el generador de gas de reducción 14 incluye un sistema de combustible 28, un sistema de oxidante 30, una cámara de fusión 32, y un reactor catalítico 34 que tiene un catalizador 36. En la presente realización, las salidas del sistema de combustible 28 y del sistema de oxidante 30 se combinan en la cámara de fusión 32 y se dirigen a alimentar la pila de combustible 12 a través del reactor catalítico 34 para proporcionar selectivamente gas de purga, gas de seguridad, y el gas de reducción de fuerza variable hasta el ánodo 20 y el reformador 26.

En la realización representada en la Figura 2, diversas características, componentes e interrelaciones entre los mismos de los aspectos de una realización de la presente invención se representan. Sin embargo, la presente invención no está limitada a la realización particular de la Figura 2 ni a los componentes, las características e interrelaciones entre los mismos como se ilustran en la Figura 2 y se describen aquí. Por ejemplo, otras realizaciones incluidas en la presente invención, manifestándose la presente invención por los principios descritos explícita e implícitamente en la presente memoria a través de las presentes Figuras y la descripción detallada y establecidos en las reivindicaciones, pueden incluir un mayor o menor número de componentes, características y/o interrelaciones entre los mismos, y/o pueden emplear diferentes componentes y/o características con la misma y/o diferente naturaleza y/o relaciones entre los mismos, que se pueden emplear para realizar funciones similares y/o diferentes en relación con aquellas ilustradas en la Figura 2 y descritas aquí.

En cualquier caso, en la realización de la Figura 2, el sistema de combustible 28 incluye una entrada de combustible 38, un regulador de presión 40, un sorbente de captura de azufre 42, un controlador de flujo de combustible 44, y una válvula de control combustible de posición/salida variable 46. La entrada de combustible 38 se configura para recibir un combustible de hidrocarburo, por ejemplo, gas natural, y sirve como una fuente del combustible de hidrocarburo utilizada por el generador de gas de reducción 14. El regulador de presión 40 se acopla de manera fluida a la entrada de combustible 38, y regula la presión del combustible de hidrocarburo. El sorbente de captura de azufre 42 se acopla de manera fluida a regulador de presión 40, y se configura para capturar el azufre de la corriente de combustible recibida procedente del regulador de presión de combustible 40. El controlador de flujo de combustible 44 y la válvula de control de combustible 46 se acoplan a la salida del sorbente de captura de azufre 42, y se configuran para controlar la cantidad de combustible suministrado a la cámara de fusión 32.

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

La entrada de aire 48 puede ser cualquier estructura o abertura capaz de proporcionar aire, y se acopla de manera fluida al compresor de aire 50, que comprime el aire ambiente recibido de la atmósfera. El regulador de presión 52 se acopla de manera fluida al compresor de aire 50, y regula la presión de aire suministrado al generador de gas de reducción 14. La válvula de control de aire 58 es parte de un sistema de carga de aire estructurado para añadir aire de forma variable al gas rico en nitrógeno recibido del generador de nitrógeno 54 para producir un oxidante que tiene un contenido de O₂ variable.

El contenido O₂ se puede detectar por el sensor de oxígeno 66, que se puede utilizar por el sistema de control del generador de gas de reducción 14 para variar el contenido de O₂ del oxidante suministrado a la cámara de fusión 32. Por ejemplo, en condiciones de operación normales, el contenido de O₂ se controla basándose en una temperatura de control, por ejemplo, la temperatura del catalizador 36 en la presente realización, aunque otras temperaturas se pueden utilizar en otras realizaciones, por ejemplo, la temperatura de salida del gas de reducción mediante el generador de gas de reducción 14. Sin embargo, durante el arranque del generador de gas de reducción 14, el sensor de oxígeno 66 se puede utilizar para proporcionar retroalimentación hasta que la temperatura está disponible como una retroalimentación. La cantidad o flujo del oxidante que tiene el contenido de O₂ variable se controla por la

válvula de control de oxidante 62 y el controlador de flujo de oxidante 64.

El generador de nitrógeno 54 se configura para generar una corriente rica en nitrógeno, que se puede utilizar como un gas de purga, y que también se puede combinar con el aire para formar una corriente oxidante de bajo contenido de oxígeno (O₂), por ejemplo, una corriente de aire con nitrógeno diluido, utilizada por el generador de gas de reducción 14 para formar un gas de reducción. La pureza de la corriente rica en nitrógeno puede variar con las necesidades de la aplicación particular, por ejemplo, y puede consistir esencialmente en nitrógeno. Como alternativa, se considera que en otras realizaciones, se pueden emplear otros gases en lugar de o además de nitrógeno, tales como argón o helio, para su uso como gas de purga y/o como un constituyente de una corriente de oxidante de bajo contenido de O₂, por ejemplo, como diluyente (diluyente) de aire. 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.

El generador de nitrógeno 54 y la válvula de control de aire 58 se acoplan fluidamente en paralelo al regulador de presión 52, y reciben aire a presión desde el compresor de aire 50 para su uso en las operaciones del generador de gas de reducción 14. El generador de nitrógeno 54 tiene una salida 54A, por ejemplo, una abertura o paso estructurado para descargar los productos del generador de nitrógeno 54. El generador de nitrógeno 54 está estructurado para recibir el aire procedente de la entrada de aire 48, extraer el oxígeno (O₂) del aire, y descargar el equilibrio en la forma de un gas rico en nitrógeno desde la salida. El O₂ extraído se descarga del generador de nitrógeno 54 a la atmósfera en la presente realización, aunque se entenderá que en otras realizaciones, el O₂ extraído se puede emplear para otros fines relacionados con la pila de combustible 12 y/o el generador de gas de reducción 14, por ejemplo, como parte de una corriente de oxidante.

La membrana de separación de nitrógeno 56 del generador de nitrógeno 54 se configura para separar el oxígeno del aire recibido de la entrada de aire 48, y proporciona la corriente rica en nitrógeno, que después se combina con el aire suministrado por la válvula de control de aire 58 para obtener el oxidante de bajo contenido de O₂, que se entrega a la válvula de control de oxidante 62. La válvula de control de oxidante 62 se acopla de manera fluida con las salidas de tanto el generador de nitrógeno 54 como de la válvula de control de aire 58. El sensor de oxígeno 66, que pueden tener la forma de un analizador de O₂, se acopla de manera fluida aguas abajo a la válvula de control de oxidante 62, y proporciona una señal de control a través de la línea de control 68 que acopla comunicativamente el sensor de oxígeno 66 con el controlador de flujo de aire 60. El controlador de flujo de aire 60 proporciona señales de control a la válvula de control de aire 58 para controlar la cantidad de aire añadido a la corriente rica en nitrógeno basándose en la entrada de control del sensor de oxígeno 66.

La cámara de fusión 32 está en comunicación fluida con la salida del generador de nitrógeno 54 y la entrada de combustible 38, y está estructurada para recibir y combinar el combustible de hidrocarburo y el gas rico en nitrógeno y descargar una mezcla de alimentación que contiene tanto el combustible como el oxidante que incluye el gas rico en nitrógeno en el reactor catalítico 34. El reactor catalítico 34 está estructurado para recibir la mezcla de alimentación y convertir catalíticamente la mezcla de alimentación en un gas de reducción. La forma de la cámara de fusión 32 es una simple conexión de fontanería que une la corriente de oxidante con la corriente de combustible en la presente realización, aunque cualquier disposición que esté estructurada para combinar una corriente de oxidante con una corriente de combustible se puede emplear sin apartarse del alcance de la presente invención. Por ejemplo, se puede emplear una cámara de mezcla dedicada que tiene paletas generadoras de vórtices para mezclar las corrientes.

El generador de gas de reducción 14 incluye una válvula de control de inicio que tiene un elemento de válvula 70 y un elemento de válvula 72; y un calentador de mezcla de alimentación 74, que se puede utilizar para iniciar el proceso de generación de gas de reducción. En una forma, los elementos de válvula 70 y 72 son parte de un elemento de válvula combinado. Las entradas de los elementos de válvula 70 y 72 se acoplan de manera fluida a la cámara de fusión 32 aguas debajo de la misma. La salida del elemento de válvula 70 se acopla de manera fluida al reactor catalítico 34 para proporcionar la mezcla de alimentación al catalizador 36 del reactor catalítico 34. La salida del elemento de válvula 72 se acopla de forma fluida a la entrada del calentador de mezcla de alimentación 74. En una forma, la válvula de control de inicio es una válvula de tres vías que opera los elementos de válvula 70 y 72 para dirigir el flujo que entra en la válvula de control de inicio en el reactor catalítico 34 directamente o por medio del calentador de mezcla de alimentación 74. Como alternativa, se considera que otras disposiciones de válvula se pueden emplear, tal como una par de válvulas de control de inicio individuales en lugar de la válvula de control de inicio con elementos de válvula 70 y 72.

El calentador de mezcla de alimentación 74 incluye un cuerpo de calentamiento 76 y una bobina de flujo 78 dispuesto adyacente al cuerpo de calentamiento 76. La salida del calentador de mezcla de alimentación 74 se acopla de forma fluida al reactor catalítico 34 para proporcionar la mezcla de alimentación caliente al catalizador 36 del reactor catalítico 34. En el modo de operación normal, los elementos de válvula 70 y 72 dirigen toda la mezcla de alimentación directamente al reactor catalítico 34. En el modo de arranque, la mezcla de alimentación se dirige a través del calentador de mezcla de alimentación 74. En una forma, la totalidad de la mezcla de alimentación se dirige a través del calentador de mezcla de alimentación 74, aunque en otras realizaciones, cantidades menores se pueden calentar.

El calentador de mezcla de alimentación 74 se configura para "encender" el catalizador 36 del reactor catalítico 34 (iniciar la reacción catalítica de combustible y oxidante) mediante el calentamiento de la mezcla de alimentación, que se suministra después al reactor catalítico 34. En una forma, la mezcla de alimentación se calienta por el calentador de mezcla de alimentación 74 a una temperatura de precalentamiento por encima de la temperatura de encendido del catalizador de la mezcla de alimentación (la temperatura de encendido del catalizador es la temperatura a la que se inician las reacciones en el catalizador, por ejemplo, el catalizador 36). Una vez que el catalizador 36 está encendido, las reacciones exotérmicas que tienen lugar en el catalizador 36 mantienen la temperatura del reactor catalítico 34 en un nivel controlado, tal como se expone a continuación. Además, una vez se enciende el catalizador 36 puede que ya no sea necesario calentar la mezcla de alimentación, en cuyo caso los elementos de válvula 70 y 72 se sitúan para dirigir la totalidad de la mezcla de alimentación directamente al reactor catalítico 34, sin pasar por el calentador de alimentación de mezcla 74.

Con el fin de proporcionar un suministro rápido de gas de reducción en caso de un apagado repentino de la pila de combustible 12, el cuerpo de calentamiento 76 se configura para mantener continuamente una temperatura suficiente para encender el catalizador 36 durante las operaciones de producción de potencia normales de pila de combustible 12. Es decir, mientras que la pila de combustible 12 está operando en modo de producción de potencia para suministrar potencia a la carga eléctrica 16, que es el modo de operación normal de la pila de combustible 12, el cuerpo de calentamiento 76 mantiene una temperatura de precalentamiento suficiente para calentar la mezcla de alimentación con el fin de poder encender rápidamente el catalizador para el arranque del generador de gas de reducción 14 de modo que el gas de reducción se puede suministrar a la pila de combustible 12 durante el apagado.

Además, uno o más calentadores catalizadores 80 se disponen adyacentes al reactor catalítico 34, y se configuran para calentar el catalizador 36 y mantener el catalizador 36 a una temperatura de precalentamiento que se encuentra en o por encima de la temperatura de encendido del catalizador para la mezcla de alimentación suministrada al reactor catalítico 34. Esta temperatura de precalentamiento se mantiene durante las operaciones normales de la pila de combustible 12 en el modo de producción de potencia en caso de una necesidad repentina de gas de reducción, por ejemplo, en el caso de tener que apagar la pila de combustible 12.

En otras realizaciones, se considera como alternativa que otro calentador 82 se puede utilizar en lugar de o además de los calentadores 74 y 80, por ejemplo, un calentador 82 situado adyacente al reactor catalítico 34 en el lado aguas arriba. Una disposición de este tipo se puede emplear para suministrar calor más directamente al catalizador 36 con el fin de iniciar la reacción catalítica de la mezcla de alimentación en una porción aguas arriba del reactor catalítico 34.

En la presente realización, los calentadores 74, 80 y 82 son calentadores eléctricos, aunque se considera que, como alternativa, en otras realizaciones, se pueden emplear calentadores de combustión indirectos además de o en lugar de los calentadores eléctricos. Además, aunque la presente realización emplea tanto el calentador de mezcla de alimentación 74 y los calentadores 80 para encender rápidamente la mezcla de alimentación en el catalizador, se considera, como alternativa, que en otras realizaciones, solo uno de tales calentadores se puede emplear, o un mayor número de calentadores se pueda emplear, sin apartarse del alcance de la presente invención.

Un sensor de temperatura de control 84 se sitúa adyacente al catalizador 36 del reactor catalítico 34, y está estructurado para medir la temperatura del catalizador 36. En una forma, el sensor de temperatura de control 84 está estructurado para proporcionar una señal que indica la temperatura de una porción del catalizador 36 a través de una línea de detección 92 que acopla comunicativamente el controlador de flujo de aire 60 con el sensor de temperatura de control 84. La temperatura de control es una temperatura empleada por el sistema de control 96 en la regulación de la salida del generador de gas de reducción 14. El controlador de flujo de aire 60 se configura para dirigir las operaciones de la válvula de control de aire 58 basándose en la señal recibida desde el sensor de temperatura de control 84 junto con la señal recibida desde el sensor de oxígeno 66. En otra forma, se pueden detectar otras temperaturas con la finalidad de controlar el generador de gas de reducción 14. Por ejemplo, en una de tales realizaciones, la temperatura del gas de reducción producido por el generador de gas de reducción 14, por ejemplo, como la salida del reactor catalítico 34, se puede medir y utilizar como una retroalimentación de la temperatura de control para dirigir las operaciones de la válvula de control de aire 58.

Un sensor de detección de combustibles 86 en el gas de reducción, que en la presente realización está en la forma de un sensor de hidrógeno (H_2) o analizador de H_2 , se configura para determinar la cantidad de uno o más combustibles, por ejemplo, por ciento en moles, presentes en la salida del gas de reducción con el reactor catalítico 34. En otras realizaciones, el sensor de detección de combustibles 86 en el gas de reducción puede estar en la forma de un sensor o un 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 de flujo de combustible 44 y el sensor de detección de combustibles 86 en el gas de reducción. El sensor de detección de combustibles 86 en el gas de reducción se configura para suministrar una señal que refleja el contenido de combustible en el gas de reducción a alimentarse en el controlador de flujo de combustible 44. El controlador de flujo de combustible 44 se configura para controlar la cantidad de combustible suministrado a la cámara de fusión 32.

La salida de gas de reducción a través del reactor catalítico 34 se enfría utilizando un intercambiador de calor 88. En una forma, el intercambiador de calor 88 es un intercambiador de calor indirecto. En otras realizaciones, se pueden emplear otros tipos de intercambiadores de calor. En una forma, el sensor de detección de combustibles 86 en el gas de reducción se sitúa corriente abajo del intercambiador de calor 88. En otras formas, el sensor de detección de combustibles 86 en el gas de reducción se puede situar en otros lugares, por ejemplo, aguas arriba del intercambiador de calor 88 o en el interior de o montado en el intercambiador de calor 88.

La salida de presión del reactor catalítico 34 se mantiene mediante un regulador de contrapresión 90 aguas abajo del intercambiador de calor 88. El intercambiador de calor 88 mantiene la temperatura del gas de reducción aguas abajo de reactor catalítico 34 a un nivel adecuado para evitar daños al regulador de contrapresión 90. En una forma, el gas de reducción se enfría hasta entre 100 °C y 150 °C mediante el uso de aire de enfriamiento. En otras realizaciones, otros fluidos adecuados se pueden utilizar como el disipador de calor, y otras temperaturas se pueden utilizar. En una forma, un bucle de control (no mostrado) se puede utilizar para controlar la temperatura del gas de reducción que sale del intercambiador de calor 88 mediante la variación del flujo del aire de enfriamiento u otro fluido de enfriamiento.

La salida del generador de gas de reducción 14 se acopla de manera fluida al reactor catalítico 34, y está en comunicación fluida con el ánodo 20, por ejemplo, ya sea directamente o por medio del reformador 26. La salida del regulador de contrapresión 90 sirve como una salida de gas de reducción en la presente realización, y se opera para dirigir el gas de reducción hasta el ánodo 20 y el reformador 26. La "salida de gas de reducción" es la salida del generador de gas de reducción 14 que descarga el producto del generador de gas de reducción 14 en la pila de combustible 12, y puede ser una o más de cualquiera de una abertura o paso estructurado para descargar los productos del generador de gas de reducción 14.

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

Por lo tanto, en la presente realización, el sistema de control 96 se configura para controlar el contenido de oxígeno (O₂) de la corriente de oxidante, y controlar también la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación, que se define por una relación de la cantidad de oxidante en la mezcla de alimentación con respecto a la cantidad de combustible de hidrocarburo en la mezcla de alimentación, por ejemplo, el caudal másico de la corriente de oxidante en relación con el caudal másico de la corriente de combustible de hidrocarburo. En particular, el contenido de O₂ de la corriente de oxidante suministrada a la cámara de fusión 32 se controla por la válvula de control de aire 58 a través de la salida de controlador de flujo de aire 60 basándose en la señal recibida desde el sensor de oxígeno 66. Además, la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación suministrada al reactor catalítico 34 se controla por la válvula de control de combustible 46 y la válvula de control de oxidante 62 bajo la dirección del controlador de flujo de combustible 44 y del controlador de flujo de oxidante 64, respectivamente. En una forma, el flujo de la salida del gas de reducción a través del generador de gas de reducción 14 se controla por la válvula de control de oxidante 62, por ejemplo, incluyendo un desplazamiento u otra compensación para tener en cuenta la cantidad de combustible en la mezcla de alimentación, mientras que la relación oxidante/combustible se controla, a continuación, mediante la válvula de control de combustible 46. En otras realizaciones, se pueden emplear otros esquemas de control.

En la presente realización, cada uno del controlador de flujo de combustible 44, controlador de flujo de aire 60 y controlador de flujo de oxidante 64 se basan en un microprocesador, y ejecutan instrucciones de programa en forma de software con el fin de realizar los actos descritos en la presente memoria. Sin embargo, se contempla, como alternativa, que cada uno de tales controladores y de las instrucciones de programa correspondientes pueden estar en la forma de cualquier combinación de software, firmware y hardware, y pueden reflejar la salida de dispositivos discretos y/o circuitos integrados, que se pueden situar conjuntamente en una ubicación particular o distribuirse a través de más de una ubicación, incluyendo todos los dispositivos digitales y/o analógicos configurados para lograr los mismos resultados o resultados similares como un controlado basado en procesador que ejecuta instrucciones basadas en software o firmware, sin apartarse del alcance de la presente invención. Además, se entenderá que cada uno del controlador de flujo de combustible 44, controlador de flujo de aire 60 y controlador de flujo de oxidante 64 puede ser parte de un único sistema de control integrado, por ejemplo, un microordenador, sin apartarse del alcance de la presente invención.

- 5 En cualquier caso, el sistema de control 96 se configura para ejecutar instrucciones de programa tanto para variar el contenido de O₂ de la corriente de oxidante como para variar la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación mientras se mantiene una temperatura seleccionada del gas de reducción con el fin de conseguir un contenido de combustible seleccionado a un caudal deseado. El caudal se puede variar, por ejemplo, dependiendo de la aplicación o fase operativa particular. El sistema de control 96 varía el contenido de O₂ de la corriente de oxidante y la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación basándose en la salida del sensor de temperatura de control 84, el sensor de oxígeno 66 y el sensor de detección de combustibles 86 en el gas de reducción.
- 10 El generador de gas de reducción 14 se puede emplear durante el arranque y apagado de la pila de combustible 12, por ejemplo, para proporcionar el gas de reducción de varias fuerzas de reducción, incluyendo el gas de reducción en la forma de un gas de seguridad (no inflamable), y en algunas realizaciones, para proporcionar un gas de purga sin combustibles.
- 15 El gas de reducción se genera mediante la combinación de la corriente rica en nitrógeno con aire suministrado a través de la válvula de control de aire 58 para formar la corriente de oxidante, que se regula con la válvula de control de oxidante 62 y se combina con el combustible de hidrocarburo suministrado a través de la válvula de control de combustible 46 para formar la mezcla de alimentación que se convierte catalíticamente en el reactor catalítico 34 en el gas de reducción. Como se expone en la presente memoria, el contenido de O₂ de la corriente de oxidante y la relación de combustible/oxidante de la mezcla de alimentación se varía por el sistema de control 96 con el fin de regular la temperatura de control, por ejemplo, en el reactor catalítico 34, mientras que también se controla la intensidad de reducción del gas de reducción para lograr el contenido combustibles seleccionado al caudal deseado.
- 20 El contenido de combustible se puede seleccionar con el fin de proporcionar la configuración química apropiada del gas de reducción durante las diversas fases en los procesos de arrancada y apagado de la pila de combustible 12. En la presente realización, el sistema de control 96 está estructurado para mantener la temperatura de control, por ejemplo, la temperatura del catalizador 36, mientras que se varía el contenido de combustible. Por ejemplo, la intensidad de reducción se puede variar de una reducción débil, es decir, una intensidad de reducción baja, a efectos de la formación de un gas de seguridad, a una intensidad de reducción alta que tiene un mayor contenido de combustible. El contenido de combustible es principalmente en la forma de hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO).
- 25 El gas de seguridad se puede suministrar a la pila de combustible 12 durante el aumento hasta alcanzar la temperatura de operación de la pila de combustible. En una forma, el gas de reducción se puede suministrar a la pila de combustible 12 en forma de un gas de seguridad al reformador de transición 26 en servicio. En otra forma, a medida que aumenta la temperatura de operación de la pila de combustible 12, por ejemplo, la temperatura del ánodo 20 y del reformador 26, la fuerza del gas de reducción se puede aumentar aumentando el contenido de combustible del gas de reducción, que puede así proteger el ánodo 20 a temperaturas superiores a las que de otro modo se podría producir una cantidad significativa de daño oxidativo, por ejemplo, debido a la migración de oxígeno a través del electrolito 22 u otras fugas. Además, como el ánodo 20 (y/o el reformador 26, en algunas realizaciones) se aproxima a las temperaturas de operación normales, el contenido de combustible del gas de reducción se puede aumentar adicionalmente para lograr niveles de contenido de combustible similares a los del gas de síntesis que se produce por reformador 26 durante las operaciones normales de generación de potencia de la pila de combustible 12, que puede ayudar a iniciar las reacciones de producción de potencia eléctrica normales del ánodo 20. En realizaciones en las que suministran al reformador 26, esto puede ayudar a iniciar las reacciones catalíticas operativas normales del reformador 26.
- 35 En cuanto al gas de purga, en algunas realizaciones, un gas de purga no combustible se puede generar por el generador de nitrógeno 54 en la forma de una corriente rica en nitrógeno, por ejemplo, que consiste principalmente en nitrógeno, que se puede suministrar a las pila de combustible 12 a través del regulador de contrapresión 90, aunque otros sistemas de plomería para dirigir la salida del generador de nitrógeno 54 a la pila de combustible 12 se pueden emplear como alternativa. En una forma, el gas de purga se puede suministrar a la pila de combustible 12, por ejemplo, para purgar uno o más del cátodo 24 y/u otros componentes de la pila de combustible 12, por ejemplo, cuando se desea un arranque en frío de la pila de combustible 12. En otra forma, el gas de purga se puede suministrar a la pila de combustible 12 para purgar la pila de combustible 12 antes de su mantenimiento. En otra forma más, el generador de nitrógeno 54 y/o un segundo generador de nitrógeno se pueden emplear para crear un gas de purga. Por ejemplo, en el caso de una pérdida de suministro de aire principal de la planta de potencia durante una apagado de emergencia, una purga en el cátodo rica en nitrógeno se puede suministrar al cátodo 24 con, por ejemplo, mediante el uso del generador de nitrógeno 54 y/o un segundo generador de nitrógeno, mientras que el generador de nitrógeno 54 se utiliza para generar el gas de reducción suministrado al bucle del ánodo 20. Tales realizaciones se pueden utilizar para asegurar que mezclas no inflamables "seguras" residan en el recipiente de la pila de combustible 12.
- 60 Habiendo descrito de este modo medios a modo de ejemplo para variar el contenido de combustible de la salida de gas de reducción a través del reactor catalítico 34 mientras se mantiene una temperatura de salida de gas de reducción constante del reactor catalítico 34, incluyendo medios para variar el contenido de O₂ en el oxidante
- 65

suministrado a la cámara de fusión 32 y medios para variar la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación que sale de la cámara de fusión 32, una realización a modo de ejemplo de un método para generar un gas de purga y un gas de reducción para el arranque y apagado de una pila de combustible se describe como sigue. La realización a modo de ejemplo se describe con respecto a las Figuras 3A-3D, que forman un diagrama de flujo que tiene bloques de control B100-B146 que representan un método para el arranque y apagado de una pila de combustible. Si bien una secuencia particular de eventos se ilustra y describe en la presente memoria, se entenderá que la presente invención no está tan limitada, y que se pueden emplear otras secuencias que tienen el mismo o diferentes actos en números menores o mayores y en el mismo o diferente orden sin apartarse del alcance de la presente invención.

Con referencia a continuación a la Figura 3A, en el bloque B100, una orden para arrancar la pila de combustible 12 se recibe por el sistema de control 96, por ejemplo, a través de un operario de la pila de combustible 12.

En el bloque B102, se acopla un sistema de derivación. El sistema de derivación abre una línea de ventilación para ventilar la salida del generador de gas de reducción 14, y cierra la trayectoria de flujo a la pila de combustible 12. La salida del generador de gas de reducción se ventila hasta que el bucle de control, por ejemplo, sistema de control 96, tiene parámetros de proceso dentro de sus límites prescritos, momento en el que el sistema de derivación cierra la línea de ventilación y abre la trayectoria de flujo a la pila de combustible 12.

El aire se suministra a continuación al generador de gas de reducción 14, por ejemplo, a través de la entrada de aire 48, mediante el inicio de la operación del compresor de aire 50.

En el bloque B104, el compresor de aire 50 comprime el aire recibido de la entrada de aire 48. En una forma, el aire se comprime a una presión en un intervalo de 5 bares absolutos a 14 bares absolutos. En otras realizaciones, la presión del aire comprimido puede caer dentro de un intervalo diferente, por ejemplo, en un intervalo de 2 bares absolutos a 25 bares absolutos en algunas realizaciones, y en otras realizaciones, 1 bar absoluto a 30 bares absolutos. La presión suministrada por el compresor de aire 50 puede variar, por ejemplo, dependiendo de las características de la membrana de separación de nitrógeno 56 y del generador de nitrógeno 54.

En el bloque B106, la corriente de gas rico en nitrógeno se genera en el generador de nitrógeno 54 del generador de gas de reducción 14 mediante el suministro de aire comprimido a la membrana de separación de nitrógeno 56. El O₂ se retira del aire por membrana de separación de nitrógeno 56 como un subproducto del proceso de generación de nitrógeno dirigiéndose remotamente, por ejemplo, para su uso en otros lugares, o simplemente ventilándose, mientras que la corriente rica en nitrógeno resultante se dirige hacia la válvula de control oxidante 62. En la presente realización, la corriente rica en nitrógeno contiene oxígeno, aunque a niveles inferiores a la del aire ambiente. En otras realizaciones, la corriente de nitrógeno puede consistir esencialmente en nitrógeno (por ejemplo, <1 % de O₂).

En el bloque B110, se añade aire comprimido a la corriente rica en nitrógeno de manera controlada por la válvula de control de aire 58 bajo la dirección del controlador de flujo de aire 60 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, un flujo de combustible de hidrocarburo al generador de gas de reducción 14 se inicia por la válvula de control de combustible 46 bajo la dirección del controlador de flujo de combustible 44. El flujo de combustible se puede ajustar inicialmente a un valor predeterminado anticipado para alcanzar el contenido de combustible deseado del gas de reducción y la temperatura de control, y podrá modificarse posteriormente.

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

Con referencia a continuación a la Figura 3B, en el bloque B116, los dispositivos de calentamiento son operados a una temperatura en o por encima de la temperatura de encendido del catalizador de la mezcla de alimentación, y la salida de calor de los dispositivos de calentamiento se suministra a la mezcla de alimentación. En una forma, los dispositivos de calentamiento se activan inmediatamente después de recibir la orden para arrancar la pila de combustible 12, por ejemplo, inmediatamente después del bloque B100. En otras realizaciones, los dispositivos de calentamiento se pueden activar en otros momentos adecuados para la aplicación, por ejemplo, dependiendo de la cantidad de tiempo que tardan los calentadores en alcanzar la temperatura deseada. En la presente realización, los dispositivos de calentamiento son el calentador de mezcla de alimentación 74 y el calentador 80, aunque en otras realizaciones, se puede emplear solo un calentador o se puede emplear una pluralidad de calentadores en lugar de o además de uno o ambos del calentador de mezcla de alimentación 74 y el calentador 80. Los tipos o formas de calentadores utilizados en otras realizaciones pueden variar con las necesidades de la aplicación.

El cuerpo de calentamiento 76 y la bobina de flujo 78 se mantienen en o por encima de la temperatura de encendido del catalizador de la mezcla de alimentación. El calor del cuerpo de calentamiento 76 y de la bobina de flujo 78 se suministra a la mezcla de alimentación mediante la desviación de la mezcla de alimentación a través del calentador

de mezcla de alimentación 74, en particular, la bobina de flujo 78. En una forma, la totalidad de la mezcla de alimentación se desvía a través del calentador de mezcla de alimentación 74. En otra forma, una porción de la mezcla de alimentación se desvía a través del calentador de mezcla de alimentación 74. La mezcla de alimentación se desvía a la bobina de flujo 78 mediante el control de la salida de la válvula de control de inicio para operar los elementos de válvula 70 y 72. La mezcla de alimentación caliente resultante se dirige al catalizador 36 del reactor catalítico 34 para ayudar a iniciar las reacciones catalíticas que alcanzan el gas de reducción. Una vez que se han iniciado las reacciones catalíticas en el reactor catalítico 34, la válvula de control de inicio de tres vías se reorienta para dirigir la totalidad de la mezcla de alimentación directamente al reactor catalítico 34, sin pasar por el calentador de mezcla de alimentación 74. Aunque la presente solicitud se describe utilizando un calentador de mezcla de alimentación 74 con el cuerpo de calentamiento 76 y la bobina de flujo 78, se entenderá que otros tipos de calentadores se pueden emplear en realizaciones que utilizan un calentador de mezcla de flujo.

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

En otras realizaciones, el calentador 82 se puede emplear para calentar el catalizador 36 en o cerca de la ubicación en la que se suministra la mezcla de alimentación del catalizador 36 con el fin de iniciar las reacciones catalíticas. En otras diversas realizaciones, uno o más calentadores 82 se pueden utilizar en lugar de o además de los calentadores 74 y 80.

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

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

En el bloque B122, el contenido de O₂ de la corriente de oxidante y la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación se controlan, cada uno, por el sistema de control 96 para mantener la temperatura de control seleccionada del gas de reducción y para producir el gas de reducción en la forma de un gas de seguridad. En una forma, el contenido de O₂ de la corriente de oxidante se controla por el controlador de flujo de aire 60 que dirige las operaciones de la válvula de control de aire 58, aunque en otras realizaciones, el contenido de O₂ de la corriente de oxidante se puede controlar de manera diferente. En una forma, la relación/combustible oxidante se controla por el controlador de flujo de combustible 44 que dirige las operaciones de la válvula de control de combustible 46 respectiva, aunque en otras realizaciones, la relación/combustible oxidante se puede controlar de manera diferente. Antes de alcanzar la temperatura de control, el control del contenido de O₂ puede basarse en la salida del sensor de oxígeno 66. Una vez que se alcanza una temperatura que indica la combustión catalítica, el algoritmo de control conmuta a la realimentación basándose en el sensor de temperatura de control 84. La temperatura de control en algunas realizaciones puede, por ejemplo, ser una función de reducción del caudal de gas (carga de catalizador), el tiempo en servicio, o algún otro parámetro de operación. En otras realizaciones, la salida de uno o ambos del sensor de oxígeno 66 y la temperatura de control del sensor 84 se pueden emplear durante el arranque y/o operación normal del sistema.

El caudal de la mezcla de alimentación se controla principalmente por el controlador de flujo de oxidante 64 que dirige las operaciones de la válvula de control de oxidante 62. En la forma de un gas de seguridad, es decir, una mezcla de gas de reducción débil, el gas de reducción puede tener un contenido de combustible (por ejemplo, predominantemente CO+ H₂) de aproximadamente el 4,5 %. Otros gases reductores que tienen porcentajes mayores o menores de contenido de combustible se pueden emplear sin apartarse del alcance de la presente invención.

Debido a que el flujo de masa de la mezcla de alimentación se basa predominantemente en el caudal de la corriente de flujo de oxidante, el flujo total de la mezcla de alimentación, y por lo tanto la salida de gas de reducción a través del generador de gas de reducción 14, se basa principalmente en el caudal de la corriente de flujo de control de oxidante como se rige por el controlador de flujo de oxidante 64. El control de la temperatura seleccionada en la presente realización es de 800 °C, que se mide en uno de los puntos más calientes en el catalizador 36, y que en la presente realización alcanza una temperatura media generalizada de 770 °C. La temperatura seleccionada en la presente realización es un valor de temperatura predeterminado seleccionado basado en las consideraciones de la vida de los componentes del generador de gas de reducción 14 y de la pila de combustible 12, así como en la eficacia de la conversión catalítica. Otros valores de temperatura y los lugares de medición se pueden emplear en otras realizaciones.

En el bloque B124, el sistema de derivación se desacopla del modo de derivación, y el gas de reducción en la forma de un gas de seguridad se dirige, por tanto, desde el generador de gas de reducción 14 al ánodo 20 de la pila de combustible 12. En otras realizaciones, el gas de seguridad se puede dirigir al reformador 26.

5 Con referencia a continuación a la Figura 3C, se ilustra un bloque B126. En una forma, el bloque B126 se omite, y el flujo de proceso pasa directamente al bloque B128. En otra forma, en el bloque B126 del contenido de O_2 de la corriente de oxidante y la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación se controla para variar selectivamente la intensidad de reducción del gas de reducción variando selectivamente el contenido de combustible del gas de reducción mientras se mantiene la temperatura seleccionada del gas de reducción del bloque B122.
 10 Como se ha expuesto anteriormente con respecto al bloque B122, en una forma, el contenido de O_2 de la corriente de oxidante se controla por el controlador de flujo de aire 60 que dirige las operaciones de la válvula de control de aire 58. En otras formas, el contenido de O_2 de la corriente de oxidante se puede controlar de manera diferente. En una forma, la relación oxidante/combustible se controla principalmente por el controlador de flujo de combustible 44, y el flujo de gas de reducción se controla principalmente por el controlador de flujo de oxidante 64 que dirige las operaciones de la válvula de control de oxidante 62. En otras formas, la relación oxidante/combustible y la reducción del caudal de gas se pueden controlar de manera diferente.

El control del contenido de O_2 de la corriente de oxidante y de la relación de oxidante/combustible de la mezcla de alimentación para variar selectivamente la intensidad de reducción del gas de reducción mientras se mantiene la temperatura seleccionada y el caudal de salida del gas de reducción a través del reactor catalítico 34 en la presente realización se describe a continuación.

El generador de gas de reducción 14 convierte catalíticamente el oxidante de bajo contenido O_2 y el combustible de hidrocarburo para formar el gas de reducción con suficiente contenido de combustible para proteger el ánodo 20 de la pila de combustible de la pila de combustible 12 durante el arranque y apagado de la planta de potencia del sistema de pila de combustible 10. Mediante el ajuste del contenido de O_2 del gas oxidante en combinación con el cambio de la relación oxidante/combustible, la intensidad del gas de reducción se puede cambiar mientras que la temperatura de operación del catalizador se mantiene constante, por ejemplo, a una temperatura de conversión ideal. Esta temperatura se detecta por el sensor de temperatura de control 84 y se utiliza como entrada al sistema de control 96 para su uso en el mantenimiento de la temperatura de salida del reactor catalítico 34 a la temperatura seleccionada.

Con referencia a continuación a la Figura 4, se representa un ejemplo de los parámetros del reactor catalítico 34. Los parámetros ilustrados incluyen el caudal másico 100 de la corriente de oxidante; caudal másico 102 de la corriente de combustible; el porcentaje (%) de aire estequiométrico 104, que representa la cantidad de porcentaje de aire en la corriente de oxidante en relación con la cantidad de aire necesario para la combustión completa de la corriente de combustible de hidrocarburo; y la relación de oxígeno/carbono (O_2/C) 106. En el gráfico de la Figura 4, la abscisa es el contenido de H_2 del gas de reducción, la ordenada de la izquierda está en unidades porcentuales y también gramos por segundo (g/s), contra la que el % de aire estequiométrico 104 y el caudal másico 100 de la corriente de oxidante se representan. La ordenada de la derecha está en unidades tanto de fracción molar como g/s, contra la que la relación O_2/C 106 y el caudal másico 102 de la corriente de combustible de hidrocarburo se representan.

La Figura 4 ilustra los parámetros de operación del reactor catalítico 34 a través de un intervalo de composiciones de gas de reducción del 2 % al 20 % de H_2 y del 1 % al 10 % de CO (del 3 % al 30 % de $CO + H_2$). Para producir un mayor contenido de combustible ($CO + H_2$), el contenido de O_2 en el oxidante se eleva. A una relación de oxidante/combustible constante de la mezcla de alimentación, por ejemplo, relación aire a combustible, el aumento del 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 el contenido de O_2 en la corriente de oxidante aumenta, la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación disminuye al mismo tiempo, es decir, se hace más rica en combustible, a fin de lograr un mayor contenido de combustible a la misma temperatura operativa.

Mediante la variación de tanto el contenido de O_2 en la corriente de oxidante como de la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación, un amplio intervalo de reducción de intensidades del gas de reducción se puede lograr a una temperatura de operación seleccionada del catalizador, por ejemplo, 770 °C en la presente realización. Por ejemplo, en una forma, el intervalo se puede extender desde una intensidad del gas de reducción que representa las condiciones de operación normales del reformador 26 (~45 % de $CO + H_2$) a condiciones de reducción débil (~3 % de $CO + H_2$). En otras formas, diferentes intervalos se pueden emplear, por ejemplo, como se expone en la presente memoria.

Como se acerca el 20 % del contenido de H_2 en el gas de reducción se acerca, las condiciones en el reactor catalítico 34, podrán acercarse a las que se producen normalmente en el reformador 26 en el modo de producción de potencia a medida que el oxidante se acerca al aire con respecto al % de contenido de O_2 y la relación molar O_2 a C alcanza 0,65. A medida que el gas de reducción se vuelve en más rico en combustibles, el flujo de combustible puede aumentar por un factor de aproximadamente el 4 al 20 % de H_2 en relación con las condiciones de reducción débil. El porcentaje del combustible quemado puede disminuir de manera significativa ya que las condiciones se

acercan a aquellas en el reformador 26. La temperatura se puede mantener debido a que el menor porcentaje de oxígeno de combustión se compensa con la combinación del mayor caudal de combustible y menor disipación de calor a través de menos dilución de N₂ en el oxidante. Por tanto, a pesar de que la concentración de O₂ en el oxidante aumenta para una mayor intensidad de reducción, como un porcentaje del oxígeno requerido para consumir completamente el combustible, el nivel de oxígeno disminuye. En la presente realización, el contenido de porcentual de CO es de aproximadamente $\frac{1}{2}$ del contenido porcentual de H₂ a la temperatura de operación deseada, y por lo tanto el contenido de combustible del gas de reducción es de aproximadamente 1,5 veces el contenido porcentual de H₂ en el gas de reducción. Si bien se describe en la presente solicitud con respecto a un sistema de pila de combustible, se entenderá que el generador de gas de reducción 14 es igualmente aplicable a otros sistemas, tales como sistemas de generación de gas de reducción para otros fines.

Con referencia de nuevo a la Figura 3C, en el bloque B128, el gas de reducción se suministra al reformador 26, y al ánodo 20, por ejemplo, a través de reformador 26.

En el bloque B130, se inicia una transición de la pila de combustible 12 en el modo de producción de potencia, lo que incluye suministrar a la pila de combustible 12 flujos del combustible primario y del oxidante primario que se proporcionan normalmente a la pila de combustible 12 para la operación en el modo de producción de potencia, en contraste con el oxidante y el combustible de hidrocarburo suministrados al generador de gas de reducción 14 para generar el gas de reducción para su uso durante el arranque o la apagado de la pila de combustible 12. La transición al modo de producción de potencia incluye también porciones de calentamiento de la pila de combustible 12, incluyendo el ánodo 20 y el reformador 26, a la temperatura de operación normal de manera controlada a fin de reducir las tensiones mecánicas que podrían resultar de gradientes térmicos dentro y entre dichos componentes. El calentamiento de la pila de combustible 12 se puede realizar antes, durante y después de la provisión del gas de reducción a la pila de combustible 12, y se puede realizar hasta que se alcanzan las temperaturas de operación satisfactorias en tales porciones, por ejemplo, el ánodo 20 y reformador 26. Durante la transición al modo de producción de potencia, el sistema de derivación puede transicionar en el modo de derivación.

En el bloque B132, la pila de combustible 12 se opera en el modo de producción de potencia, es decir, el modo de operación normal, para suministrar potencia a la carga eléctrica 16.

En el bloque B134, el flujo de aire y flujo de combustible suministrado al generador de gas de reducción 14 se terminan, poniendo fin a la producción de gas de reducción a través del generador de gas de reducción 14.

Con referencia a continuación a la Figura 3D, en el bloque B136, la temperatura del dispositivo de calentamiento se mantiene en 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 pila de combustible en el modo de producción de potencia, por ejemplo, a fin de proporcionar una reanudación rápida del generador de gas de reducción 14, incluyendo la reanudación rápida del catalizador 36, en caso de tener que apagar la pila de combustible 12.

En el bloque B138, una orden para apagar la pila de combustible 12 desde el modo de producción de potencia se recibe por el sistema de control 96, por ejemplo, a través de una entrada humana o un proceso automatizado. Se observará que en algunas realizaciones, el bloque B136 se puede realizar con posterioridad a la recepción de la instrucción de apagar la pila de combustible 12. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el dispositivo de calentamiento puede no calentarse a una temperatura de o por encima de la temperatura de encendido del catalizador hasta que la orden de apagar la pila de combustible 12 se recibe.

En el bloque B140, el generador de gas de reducción 14 genera el gas de reducción en respuesta a la orden, por ejemplo, mediante la realización de todas o algunas de las acciones que se indican anteriormente con respecto a los bloques B102 a B128, incluyendo el control del contenido de O₂ en la corriente de oxidante y la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación para variar selectivamente la intensidad de reducción del gas de reducción variando selectivamente el contenido de combustible del gas de reducción a un nivel deseado, mientras se mantiene una temperatura seleccionada, por ejemplo, la temperatura seleccionada del bloque B122, anterior.

En el bloque B142, el gas de reducción generado por el generador de gas de reducción 14 se suministra al ánodo 20 de la pila de combustible 12 desconectando el sistema de derivación del modo de derivación. Esto puede ayudar a evitar el daño oxidativo del ánodo 20 durante el apagado de la pila de combustible 12. Inicialmente, el gas de reducción puede tener una alta intensidad de reducción, que puede disminuir a medida que la temperatura de pila de combustible 12 disminuye.

En el bloque B144, se inicia una transición de la pila de combustible 12 fuera del modo de producción de potencia, incluyendo la reducción gradual del flujo al ánodo 20 del combustible primario que normalmente se proporciona durante la operación en el modo de producción de potencia.

En el bloque B146, el flujo de aire y el flujo de combustible suministrado al generador de gas de reducción 14 se terminan, poniendo fin a la producción de gas de reducción a través del generador de gas de reducción 14. El bloque

B146 se puede ejecutar después de que el ánodo 20 está lo suficientemente frío a una temperatura a la que el daño oxidativo no es una preocupación, que puede variar con los materiales utilizados para la fabricación de ánodos 20.

5 Un generador de gas de reducción de acuerdo con algunas realizaciones de la presente solicitud puede incluir un suministro de aire comprimido que alimenta una membrana polimérica de separación de nitrógeno, que utiliza la alta presión para separar el oxígeno del nitrógeno a través de una fibra de polímero. Tales realizaciones pueden evitar la necesidad de nitrógeno mineral. En otras realizaciones, se pueden emplear otras fuentes de nitrógeno. El gas producto es una corriente rica en nitrógeno que se agota 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 la mezcla con la corriente rica en nitrógeno. En algunas realizaciones, el flujo de aire de derivación es directamente proporcional al contenido de oxígeno final de las corrientes combinadas. La corriente mezclada de gas de producto rico en nitrógeno y aire de derivación se puede denominar como una corriente de oxidante, que pasa a través de un dispositivo de control de flujo que establece el flujo de oxidante al proceso. La válvula de derivación controla las proporciones de aire de derivación y el gas rico en nitrógeno para alcanzar el contenido de oxígeno deseado en la corriente de oxidante.

20 Una cantidad relativamente pequeña de combustible de hidrocarburo se puede dosificar en la corriente de oxidante a través de un dispositivo de control de flujo. En un modo de flujo en estado estacionario, la mezcla de oxidante y combustible premezclada se alimenta directamente en un reactor catalítico que convierte la mezcla de alimentación en el gas de reducción. En comparación con la combustión ordinaria en el aire, la corriente de oxidante con contenido de oxígeno reducido se puede traducir en menos de combustible por unidad de combustibles conseguido en el gas de reducción. Por lo tanto, la entrada de energía química requerida (es decir, la carga térmica debido a la entrada de combustible) por unidad de producción de combustibles (por ejemplo, H₂ y CO) se puede reducir también, y por lo tanto, puede tener que extraerse 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 lo que puede ser preferible para el catalizador, y puede no exceder los límites de materiales 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 necesiten un refrigerante líquido, o de otra manera un muy alto flujo volumétrico de gas refrigerante, y por lo tanto, tendrían una carga térmica relativamente grande con el fin de proteger los materiales del reactor de la temperatura excesiva. En contraste, el reactor catalítico de algunas realizaciones de la presente invención se puede diseñar para operar a una temperatura más baja y sin la necesidad de enfriamiento externo.

35 La oxidación del combustible con un oxidante agotado en oxígeno puede producir un intervalo dado de concentración de combustible (o flujo molar) en un intervalo mucho más amplio de relación aire-combustible en relación con la combustión normal con aire, lo que hace que el control del contenido de combustible sea más fácil de conseguir.

40 Termopar o termopares pueden monitorizar la temperatura de salida a 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 cayese muy por debajo del punto de consigna, una señal de control abriría la derivación en cierta cantidad, puesto que un flujo 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 establece lo suficientemente alta como para conseguir una conversión completa de la mezcla de alimentación inflamable para la composición de gas equilibrada, pero no demasiado elevada como para acercarse a las temperaturas límites de operación de los materiales, ya sea para el catalizador o el intercambiador de calor aguas abajo.

50 Un sensor de oxígeno 66 puede medir el contenido de oxígeno basándose en el volumen 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 situar la válvula de control de derivación de aire de modo que la temperatura de salida se mantiene a un valor de punto de consigna. Esto puede ser preferible en el arranque antes de que una temperatura de salida representativa del reactor en estado estacionario esté disponible para establecer la posición de la válvula de derivación.

60 El sensor de oxígeno puede ser un sensor de zirconia pequeño mantenido a una alta temperatura, por ejemplo, alrededor de 600 °C para algunas realizaciones, que desarrolla un potencial de Nernst cuando se expone al oxígeno, que se relaciona con el contenido de oxígeno del gas. El sensor se puede situar *en situ*. Sin embargo, como alternativa, el sensor se puede sumergir en una estela pequeña controlada que se elimina descendientemente por soplado de la línea de proceso principal a través de un orificio de flujo crítico. El software de control puede determinar la relación entre la desviación del contenido de oxígeno medido con respecto al valor objetivo, y la cantidad incremental de la válvula de derivación se abre como resultado de ello. El sensor puede tener una respuesta rápida a los cambios en el contenido de oxígeno del gas de proceso, y por lo tanto, los parámetros de ajuste optimizados en el bucle de control de la válvula de derivación de aire pueden proporcionar un control más

fiable a través de un intervalo más amplio de condiciones.

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

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

Un método para la medición continua de hidrógeno utiliza un sensor de hidrógeno de conductividad térmica calibrado en el intervalo permisible de contenido de hidrógeno del gas de reducción. Al igual que con el sensor de oxígeno, un orificio de flujo crítico se puede utilizar como una forma relativamente barata y fácil de medir una estela muy pequeña del gas de reducción en el flujo de gas de muestra correcto al sensor.

Un método para la reanudación rápida del catalizador desde una condición de espera para llevar el generador de gas de reducción de nuevo en línea lo más rápido posible para eventos imprevistos en el sistema de pila de combustible que requerirán un suministro inmediato de gas de reducción de seguridad se puede proporcionar también por las realizaciones de la presente invención. Una capacidad de reanudación rápida puede evitar la necesidad de un almacenamiento en botellas del gas de reducción necesario para cubrir la brecha entre el momento en que se exige el gas y el tiempo requerido para llevar el generador de gas de reducción en línea. Un método de reanudación rápida puede emplear un calentador con una masa térmica elevada situado justo aguas arriba del reactor catalítico y, por ejemplo, un par de válvulas o una válvula de tres vías para desviar el flujo de mezcla de alimentación a través del calentador. Durante la operación normal, la válvula dirige la mezcla directamente en el reactor catalítico, sin pasar por el calentador. En el arranque, el flujo se puede desviar a través del calentador. En ausencia de flujo, por ejemplo, en condiciones de inactividad del generador de gas de reducción, el calentador se suministra continuamente con potencia suficiente para mantener el metal a la temperatura de precalentamiento deseada, mientras se equilibra una pérdida de calor relativamente pequeña, y por lo tanto, esta demanda de potencia puede ser pequeña. Dentro del calentador, una bobina de flujo se puede envolver con un cuerpo metálico. El calentador puede contener suficiente masa térmica de manera que cuando el flujo se inicia en un intento de reanudación, la corriente del proceso adquiere inmediatamente la temperatura de ignición diana.

Un diseño de este tipo puede ser relativamente de seguridad, debido a que puede lograr un buen aislamiento eléctrico entre la mezcla inflamable y la fuente de alimentación que actúa sobre el cuerpo metálico. Antes de una secuencia de reanudación, el calentador regula la potencia del metal interno a la temperatura requerida antes de la introducción del flujo, y solo debe mantener la potencia para compensar la pérdida de calor a través del aislamiento circundante en esta condición.

En un intento de arranque, la potencia puede aumentar inmediatamente para mantener o elevar la temperatura de precalentamiento de consigna hasta que se logre la reacción de la mezcla de alimentación del catalizador. Una vez esto se consigue, por ejemplo, como se indica por un aumento suficiente de la temperatura a la salida del catalizador, el flujo se puede desviar alrededor del calentador de ignición directamente en el catalizador (modo de flujo operativo normal) para evitar el sobrecalentamiento del catalizador.

Para promover aún más la reanudación rápida, 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 encendido del catalizador antes de que se inicie el flujo en el arranque. Antes del arranque, los calentadores de banda proporcionarían preferentemente la energía para compensar la pérdida de calor a través del aislamiento que rodea a los calentadores de banda. Una vez que el catalizador está encendido, los calentadores de banda se pueden apagar cuando la temperatura superficial se eleva por encima de la temperatura de consigna de los calentadores. La alimentación al calentador se puede desactivar o interrumpir para mantener la masa térmica del calentador en el punto de consigna de temperatura para la reanudación siguiente.

Otras realizaciones alternativas podrían simplificar el sistema de calentamiento mediante el empleo de un calentador estrechamente acoplado a la entrada del catalizador. Este enfoque puede utilizar un calentador de masa térmica baja que iniciaría localmente la reacción cerca de la parte frontal del catalizador mediante acoplamiento térmico estrecho, que en tales realizaciones puede reducir potencialmente el número de piezas y el coste del generador de gas de reducción.

5 En una realización adicional, el generador de gas de reducción puede reemplazar el reformador interno para el sistema de pila de combustible para aquellas realizaciones en las que el generador de gas de reducción está estructurado para producir un gas de reducción que es adecuado para la producción de potencia en el sistema de pila de combustible. En algunas de tales realizaciones, el generador de gas de reducción se puede utilizar para la producción de un gas de reducción de una composición para el arranque y apagado del sistema de pila de combustible, y para la producción de un gas de reducción de una composición alternativa para la operación normal del sistema de pila de combustible.

10 Las realizaciones de la presente invención incluyen un generador de gas de reducción para el arranque y apagado de una pila de combustible que incluye una fuente de oxidante estructurada para suministrar un oxidante con bajo contenido de oxígeno (O_2), teniendo el oxidante con bajo contenido de O_2 un contenido de O_2 inferior al del aire atmosférico. El generador de gas de reducción de la presente invención incluye también una entrada de combustible configurada para recibir un combustible de hidrocarburo, una cámara de fusión en comunicación fluida con dicha fuente de oxidante y en comunicación fluida con la entrada de combustible, estando la cámara de fusión estructurada para recibir el combustible de hidrocarburo y el oxidante con bajo contenido de oxígeno (O_2), y para descargar una mezcla de alimentación que contiene tanto el combustible de hidrocarburo, como el oxidante con bajo contenido de oxígeno (O_2). El generador de gas de reducción incluye también un reactor catalítico en comunicación fluida con la cámara de fusión, estando el reactor catalítico estructurado para recibir la mezcla de alimentación y para convertir catalíticamente la mezcla de alimentación en un gas de reducción. El generador de gas de reducción incluye también una salida de gas de reducción acoplada de manera fluida al reactor catalítico y en comunicación fluida con al menos uno de un ánodo y un reformador de la pila de combustible, la salida del gas de reducción operativa para dirigir el gas de reducción a al menos uno del ánodo y del reformador de la pila de combustible, incluyendo además el generador de gas de reducción un sistema de control configurado para ejecutar instrucciones de programa para regular una temperatura de control mediante la variación tanto del oxidante con bajo contenido de O_2 como de la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación.

25 Un perfeccionamiento de la realización puede incluir un generador de nitrógeno que puede operar para extraer el oxígeno (O_2) del aire y descargar el equilibrio en la forma de un gas rico en nitrógeno, formando el gas rico en nitrógeno de al menos una parte del oxidante con bajo contenido de O_2 .

30 Otro perfeccionamiento de la realización puede incluir un sistema de carga de aire acoplado a la salida del generador de nitrógeno. El sistema de carga de aire está estructurado para añadir de forma variable aire al gas rico en nitrógeno para variar el contenido de O_2 del oxidante con bajo contenido de O_2 .

35 Otro perfeccionamiento de la realización puede incluir una válvula estructurada para añadir una cantidad controlada de aire a uno del gas rico en nitrógeno y de la mezcla de alimentación.

40 Otro perfeccionamiento de la realización puede incluir el generador de nitrógeno que puede incluir una membrana de separación de nitrógeno configurada para separar el nitrógeno del aire.

El generador de gas de reducción de la presente invención incluye un sistema de control configurado para ejecutar instrucciones de programa para regular una temperatura de control mediante la variación tanto del el contenido de O_2 del oxidante con bajo contenido de O_2 como la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación.

45 Otro perfeccionamiento de la realización puede incluir un sensor de temperatura de control y un sensor de O_2 acoplado en comunicación al sistema de control.

50 Otro perfeccionamiento de la realización puede incluir una válvula de control de oxidante acoplada en comunicación al sistema de control. La válvula de control oxidante puede estar estructurada para controlar un flujo del oxidante como se indica por el sistema de control y una válvula de control de combustible acoplada en comunicación al sistema de control. La válvula de control de combustible puede estar estructurada para controlar un flujo del combustible de hidrocarburo como se indica por el sistema de control, en el que el sistema de control se configura para ejecutar instrucciones de programa para variar la relación oxidante/combustible mediante el control de la salida de al menos una de la válvula de control de combustible y la válvula de control oxidante.

55 Otro perfeccionamiento de la realización puede incluir un sistema de control configurado para ejecutar instrucciones de programa para variar selectivamente un contenido de combustible del gas de reducción mientras se mantiene una temperatura seleccionada del gas de reducción variando tanto el contenido de O_2 del oxidante como la mezcla de alimentación oxidante/combustible.

60 Otro perfeccionamiento de la realización puede incluir al menos dos de un sensor de temperatura de control, un sensor de oxígeno y un sensor de detección de combustibles en el gas de reducción acoplado en comunicación al sistema de control.

65 Otro perfeccionamiento de la realización puede incluir un intercambiador de calor acoplado de manera fluida aguas abajo del reactor catalítico, en el que el intercambiador de calor puede estar configurado para controlar una

temperatura del gas de reducción.

Otro perfeccionamiento de la realización puede incluir un calentador de aguas arriba del reactor catalítico, en el que el calentador se puede configurar para iniciar una reacción catalítica en el catalizador del reactor catalítico mediante el calentamiento de al menos una porción de la mezcla de alimentación y el suministro de mezcla caliente al reactor catalítico.

En otro perfeccionamiento de la realización el calentador puede incluir un cuerpo configurado para mantener continuamente una temperatura en uno de y por encima de la temperatura de encendido del catalizador de la mezcla de alimentación durante las operaciones normales de la pila de combustible.

Otro perfeccionamiento de la realización puede incluir al menos uno de un calentador del catalizador configurado para mantener el catalizador del reactor catalítico a una temperatura de y por encima de una temperatura de encendido del catalizador de la mezcla de alimentación durante las operaciones normales de la pila de combustible o un otro calentador dispuesto adyacente a la entrada del reactor catalítico y estructurado para iniciar la reacción catalítica de la mezcla de alimentación en una porción aguas arriba del reactor catalítico.

Otro perfeccionamiento de la realización puede incluir medios para variar un contenido de combustible del gas de reducción mientras se mantiene una temperatura de control constante.

En otro perfeccionamiento de la realización la mezcla de alimentación incluye un oxidante que tiene un contenido de O_2 . Los medios para variar pueden incluir un medio para variar el contenido de O_2 en el oxidante o un medio para variar una relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación.

Otra realización de la presente invención es un sistema de pila de combustible que incluye una pila de combustible, que incluye un ánodo, un cátodo, un electrolito acoplado al ánodo y el cátodo, y un reformador, incluyendo el sistema de pila de combustible un generador de gas de reducción configurado para el arranque y apagado de la pila de combustible, incluyendo el generador de gas de reducción una fuente de oxidante estructurada para suministrar una corriente de oxidante con bajo contenido de oxígeno (O_2), teniendo la corriente de oxidante con bajo contenido de O_2 un contenido de O_2 inferior al del aire atmosférico. El generador de gas de reducción incluye también una entrada de combustible configurada para recibir un combustible de hidrocarburo y una cámara de fusión en comunicación fluida con dicha fuente de oxidante y en comunicación fluida con la entrada de combustible, estando la cámara de fusión estructurada para recibir el combustible de hidrocarburo y la corriente de oxidante con bajo contenido de O_2 , y para descargar una mezcla de alimentación que contiene tanto el combustible de hidrocarburo, como la corriente de oxidante con bajo contenido O_2 . El generador de gas de reducción incluye también un reactor catalítico en comunicación fluida con la cámara de fusión, estando el reactor catalítico estructurado para recibir la mezcla de alimentación y para convertir catalíticamente la mezcla de alimentación en un gas de reducción, incluyendo también el generador de gas de reducción una salida de gas de reducción acoplada de manera fluida al reactor catalítico y en comunicación fluida con al menos uno de un ánodo y un reformador, la salida del gas de reducción operativa para dirigir el gas de reducción a al menos uno del ánodo y del reformador, incluyendo además el generador de gas de reducción un sistema de control configurado para ejecutar instrucciones de programa para regular una temperatura de control mediante la variación tanto del contenido de O_2 del oxidante con bajo contenido de O_2 como la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación.

Un perfeccionamiento de la realización puede incluir una entrada de aire o un generador de nitrógeno en comunicación fluida con la entrada de aire. El generador de nitrógeno puede tener una salida del generador de nitrógeno y estructurarse para recibir aire de la entrada de aire para extraer O_2 del aire recibido de la entrada de aire, y descargar desde la salida del generador de nitrógeno el equilibrio en la forma de un gas rico en nitrógeno. El gas rico en nitrógeno puede formar al menos una parte de la corriente de oxidante con bajo contenido de O_2 .

También se describe un generador de gas de reducción que puede incluir una fuente de oxidante estructurada para suministrar corriente de oxidante con bajo contenido de oxígeno (O_2). La corriente de oxidante con bajo contenido de O_2 puede tener un contenido de O_2 inferior al del aire atmosférico. El generador de gas de reducción también puede incluir una fuente de combustible acoplada de manera fluida a la fuente de oxidante y estructurada para suministrar un combustible de hidrocarburo. El generador de gas de reducción también puede incluir una cámara de fusión acoplada de manera fluida a la fuente de combustible y a la fuente de oxidante. La cámara de fusión puede estar estructurada para combinar el oxidante y el combustible de hidrocarburo en una mezcla de alimentación. La mezcla de alimentación puede tener una relación oxidante/combustible definida por una relación de la cantidad del oxidante en la mezcla de alimentación con respecto a la cantidad del combustible de hidrocarburo en la mezcla de alimentación. El generador de gas de reducción puede incluir también un reactor catalítico acoplado de forma fluida a la cámara de fusión y estructurado para convertir catalíticamente la mezcla de alimentación para generar un gas de reducción. El generador de gas de reducción también puede incluir un sistema de control configurado para ejecutar instrucciones de programa para controlar el caudal de la mezcla de alimentación y ambos el contenido de O_2 de la corriente de oxidante y la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación para mantener una temperatura de control predeterminada mientras se varía un contenido de combustible de la salida del gas de reducción a través del reactor catalítico.

En un perfeccionamiento de la realización la fuente de oxidante emplea un generador de nitrógeno para suministrar un gas rico en nitrógeno.

5 En otro perfeccionamiento de la realización el generador de nitrógeno incluye un polímero de separación de nitrógeno.

10 En otro perfeccionamiento de la realización el generador de gas de reducción puede estar estructurado para suministrar el gas de reducción a una pila de combustible que tiene al menos uno de un ánodo y un reformador. De acuerdo con la invención, el generador de gas de reducción puede incluir una salida de gas de reducción acoplada de manera fluida al reactor catalítico y en comunicación fluida con al menos uno del ánodo y el reformador, la salida del gas de reducción operativa para dirigir el gas de reducción a al menos uno de dicho ánodo y reformador.

15 En la presente memoria se divulga un generador de gas de reducción que puede incluir un medio para proporcionar una corriente de oxidante, un medio para suministrar un combustible de hidrocarburo, y un medio para combinar el oxidante y el combustible de hidrocarburo en una mezcla de alimentación. La mezcla de alimentación puede tener una relación oxidante/combustible definida por una relación de la cantidad del oxidante en la mezcla de alimentación con respecto a la cantidad del combustible de hidrocarburo en la mezcla de alimentación. El generador de gas de reducción puede incluir también un medio para convertir catalíticamente la mezcla de alimentación en un gas de reducción. El generador de gas de reducción puede incluir también un medio para controlar tanto el contenido de O₂ en la corriente de oxidante como la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación para variar selectivamente un contenido de combustible del gas de reducción mientras se mantiene una temperatura de control seleccionada.

25 También se divulga un sistema para purgar una pila de combustible que puede incluir una entrada de aire estructurada para recibir aire atmosférico. El sistema para purgar una pila de combustible también puede incluir un compresor acoplado de manera fluida a la entrada de aire. El compresor puede estar estructurado para comprimir el aire atmosférico recibido de la entrada de aire a una presión superior a la presión atmosférica ambiente. El sistema para purgar una pila de combustible puede incluir también un generador de nitrógeno acoplado de forma fluida al compresor y acoplado de forma fluida a la pila de combustible. El generador de nitrógeno puede estar estructurado para generar una corriente rica en nitrógeno del aire comprimido y proporcionar la corriente rica en nitrógeno para purgar al menos un componente asociado con la pila de combustible.

35 El generador de nitrógeno puede incluir una membrana de separación de nitrógeno estructurada para separar el oxígeno del aire comprimido con la presión del aire comprimido para suministrar la corriente rica en nitrógeno.

Un regulador de presión se puede incluir acoplado de forma fluida entre el compresor y el generador de nitrógeno. El regulador de presión puede estar estructurado para regular automáticamente la presión del aire comprimido hasta el nivel deseado.

40 También se describe un sistema de pila de combustible que puede incluir una pila de combustible y un sistema de purga acoplado a la pila de combustible. El sistema de purga puede incluir una entrada de aire estructurada para recibir el aire atmosférico. El sistema de purga puede también incluir un compresor acoplado de manera fluida a la entrada de aire. El compresor puede estar estructurado para comprimir el aire atmosférico recibido de la entrada de aire a una presión superior a la presión atmosférica ambiente. El sistema de purga también puede incluir un generador de nitrógeno dispuesto de manera fluida entre el compresor y la pila de combustible. El generador de nitrógeno puede estar estructurado para generar una corriente rica en nitrógeno del aire comprimido y para proporcionar la corriente rica en nitrógeno para purgar al menos un componente asociado con la pila de combustible.

50 En la presente memoria se divulga un sistema de control estructurado para ejecutar instrucciones de programa para controlar un caudal de una mezcla de alimentación y ambos del contenido O₂ de una corriente de oxidante y la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación para mantener una temperatura de control predeterminada en uno de un reactor catalítico y una salida de gas de reducción a través del reactor catalítico.

55 El sistema de control puede estar estructurado para ejecutar instrucciones de programa para mantener la temperatura de control predeterminada mientras se varía un contenido de combustible de la salida de gas de reducción a través del reactor catalítico.

60 El sistema de control puede estar estructurados para ejecutar instrucciones de programa para descargar selectivamente el gas de reducción en uno o ambos de un ánodo de una pila de combustible y un reformador de una pila de combustible.

En otro perfeccionamiento de la realización la cantidad de gas de reducción descargada en cada uno del ánodo y del reformador varía entre el 0 % y el 100 % de la cantidad total descargada desde el reactor catalítico.

65

Si bien la invención se ha descrito en conexión con lo que se considera actualmente que es la realización más práctica y preferida, se debe entender que la invención no está limitada a la realización o realizaciones divulgadas, sino que por el contrario, pretende cubrir diversas modificaciones y disposiciones equivalentes incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Además se debe entender que aunque el uso de la palabra preferible, de preferencia, o preferida/o En la descripción anterior indica que la característica así descrita puede ser más deseable, sin embargo, puede no ser necesaria y cualquier realización que carezca de la misma puede contemplarse como estando dentro de la alcance de la invención, alcance que se define por las siguientes reivindicaciones. En la lectura de las reivindicaciones se pretende que cuando se utilizan palabras tales como "un", "una", "al menos uno" y "al menos una porción", no haya ninguna intención de limitar la pretensión de un solo artículo a menos que se especifique de lo contrario en la reivindicación. Además, cuando se utiliza la expresión "al menos una porción" y/o "una porción" el artículo puede incluir una porción y/o todo el artículo a menos que se indique específicamente lo contrario.

REIVINDICACIONES

1. Un generador de gas de reducción (14) para el arranque y el apagado de una pila de combustible (12), que comprende:
- 5 una fuente de oxidante estructurada para suministrar un oxidante con bajo contenido de oxígeno (O₂), teniendo el oxidante con bajo contenido de O₂ un contenido de O₂ inferior al del aire atmosférico;
una entrada de combustible (38) configurada para recibir un combustible de hidrocarburo;
una cámara de fusión (32) en comunicación fluida con dicha fuente de oxidante y en comunicación fluida con
10 dicha entrada de combustible, estando dicha cámara de fusión estructurada para recibir el combustible de hidrocarburo y el oxidante con bajo contenido de oxígeno (O₂), y para descargar una mezcla de alimentación que contiene tanto el combustible de hidrocarburo como el oxidante con bajo contenido de oxígeno (O₂);
un reactor catalítico (34) en comunicación fluida con dicha cámara de fusión, estando dicho reactor catalítico
15 estructurado para recibir la mezcla de alimentación y para convertir catalíticamente la mezcla de alimentación en un gas de reducción; y
una salida de gas de reducción acoplada de manera fluida a dicho reactor catalítico y en comunicación fluida con al menos uno de un ánodo (20) y un reformador (26) de la pila de combustible, dicha salida del gas de reducción operativa para dirigir el gas de reducción a dicho al menos uno del ánodo y del reformador de la pila de combustible,
- 20 incluyendo además el generador de gas de reducción un sistema de control (6) configurado para ejecutar instrucciones de programa para regular una temperatura de control mediante la variación tanto del contenido de O₂ del oxidante con bajo contenido de O₂ como de la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación.
- 25 2. El generador de gas de reducción (14) de la reivindicación 1, que comprende además un generador de nitrógeno (54) operable para extraer el oxígeno (O₂) del aire y descargar el equilibrio en la forma de un gas rico en nitrógeno, formando el gas rico en nitrógeno al menos una parte del oxidante con bajo contenido de O₂.
- 30 3. El generador de gas de reducción (14) de la reivindicación 2, que comprende además un sistema de carga de aire acoplado a dicha salida del generador de nitrógeno, estando dicho sistema de carga de aire estructurado para añadir de forma variable aire al gas rico en nitrógeno para variar el contenido de O₂ del oxidante con bajo contenido de O₂.
4. El generador de gas de reducción (14) de la reivindicación 2, que incluye además una válvula estructurada para añadir una cantidad controlada de aire a uno del gas rico en nitrógeno y de la mezcla de alimentación.
- 35 5. El generador de gas de reducción (14) de la reivindicación 2, en el que dicho generador de nitrógeno incluye una membrana de separación de nitrógeno (56) configurada para separar el nitrógeno del aire.
6. El generador de gas de reducción (14) de la reivindicación 1, que comprende además un sensor de temperatura de control (84) y un sensor de O₂ (66) acoplado en comunicación a dicho sistema de control (96).
- 40 7. El generador de gas de reducción (14) de la reivindicación 1, que comprende además:
- 45 una válvula de control de oxidante (62) acoplada en comunicación a dicho sistema de control (96), dicha válvula de control oxidante estructurada para controlar un flujo del oxidante de acuerdo con las indicaciones de dicho sistema de control; y
una válvula de control de combustible (46) acoplada en comunicación a dicho sistema de control, dicha válvula de control de combustible estructurada para controlar un flujo del combustible de hidrocarburo de acuerdo con las indicaciones de dicho sistema de control,
- 50 en el que dicho sistema de control está configurado para ejecutar instrucciones de programa para variar la relación oxidante/combustible mediante el control de la salida de al menos una de dicha válvula de control de combustible y dicha válvula de control oxidante.
- 55 8. El generador de gas de reducción (14) de la reivindicación 1, en el que el sistema de control (96) está configurado para ejecutar instrucciones de programa para variar selectivamente un contenido de combustible del gas de reducción mientras se mantiene una temperatura seleccionada del gas de reducción variando tanto el contenido de O₂ del oxidante como la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación.
- 60 9. El generador de gas de reducción (14) de la reivindicación 8, que comprende además al menos dos de un sensor de temperatura de control (84), un sensor de oxígeno (66) y un sensor de detección de combustibles (86) en el gas de reducción acoplados comunicativamente a dicho control de sistema (96).
- 65 10. El generador de gas de reducción (14) de la reivindicación 1, que comprende además un intercambiador de calor (88) acoplado de manera fluida aguas abajo de dicho reactor catalítico (34), dicho intercambiador de calor configurado para controlar una temperatura de dicho gas de reducción.

11. El generador de gas de reducción (14) de la reivindicación 1, que comprende además un calentador (74) aguas arriba de dicho reactor catalítico (34), dicho calentador configurado para iniciar una reacción catalítica en el catalizador (36) de dicho reactor catalítico mediante el calentamiento de al menos una porción de la mezcla de alimentación y el suministro de la mezcla caliente a dicho reactor catalítico.
- 5 12. El generador de gas de reducción (14) de la reivindicación 11, en el que dicho calentador (74) incluye un cuerpo (76) configurado para mantener continuamente una temperatura a, o por encima de, una temperatura de encendido del catalizador (36) de la mezcla de alimentación durante las operaciones normales de la pila de combustible (12).
- 10 13. El generador de gas de reducción (14) de la reivindicación 1, que comprende además al menos uno de:
- un calentador (80) del catalizador configurado para mantener el catalizador (36) de dicho reactor catalítico (34) a una temperatura de, o por encima de, una temperatura de encendido del catalizador de la mezcla de alimentación durante las operaciones normales de la pila de combustible (12); y
- 15 otro calentador (82) dispuesto adyacente a la entrada de dicho reactor catalítico y estructurado para iniciar la reacción catalítica de la mezcla de alimentación en una porción aguas arriba de dicho reactor catalítico.
14. Un sistema de pila de combustible (10), que comprende:
- 20 una pila de combustible (12), que incluye un ánodo (20), un cátodo (24), un electrolito (22) acoplado a dicho ánodo y a dicho cátodo, y un reformador (26); y
- un generador de gas de reducción (14) configurado para el arranque y el apagado de la pila de combustible, incluyendo el generador de gas de reducción:
- 25 una fuente de oxidante estructurada para suministrar una corriente de oxidante con bajo contenido de oxígeno (O₂), teniendo la corriente de oxidante con bajo contenido de O₂ un contenido de O₂ inferior al del aire atmosférico;
- una entrada de combustible (38) configurada para recibir un combustible de hidrocarburo;
- 30 una cámara de fusión (32) en comunicación fluida con dicha fuente de oxidante y en comunicación fluida con dicha entrada de combustible, estando dicha cámara de fusión estructurada para recibir el combustible de hidrocarburo y la corriente de oxidante con bajo contenido de O₂, y para descargar una mezcla de alimentación que contiene tanto el combustible de hidrocarburo como la corriente de oxidante con bajo contenido de O₂;
- 35 un reactor catalítico (34) en comunicación fluida con dicha cámara de fusión, estando dicho reactor catalítico estructurado para recibir dicha mezcla de alimentación y para convertir catalíticamente dicha mezcla de alimentación en un gas de reducción; y
- una salida de gas de reducción acoplada de manera fluida a dicho reactor catalítico y en comunicación fluida con al menos uno de dicho ánodo y dicho reformador, dicha salida del gas de reducción operativa para dirigir el gas de reducción a dicho al menos uno de dicho ánodo y dicho reformador,
- 40 incluyendo además el generador de gas de reducción un sistema de control (96) configurado para ejecutar instrucciones de programa para regular una temperatura de control mediante la variación tanto del contenido de O₂ de la corriente de oxidante con bajo contenido de O₂ como la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación.

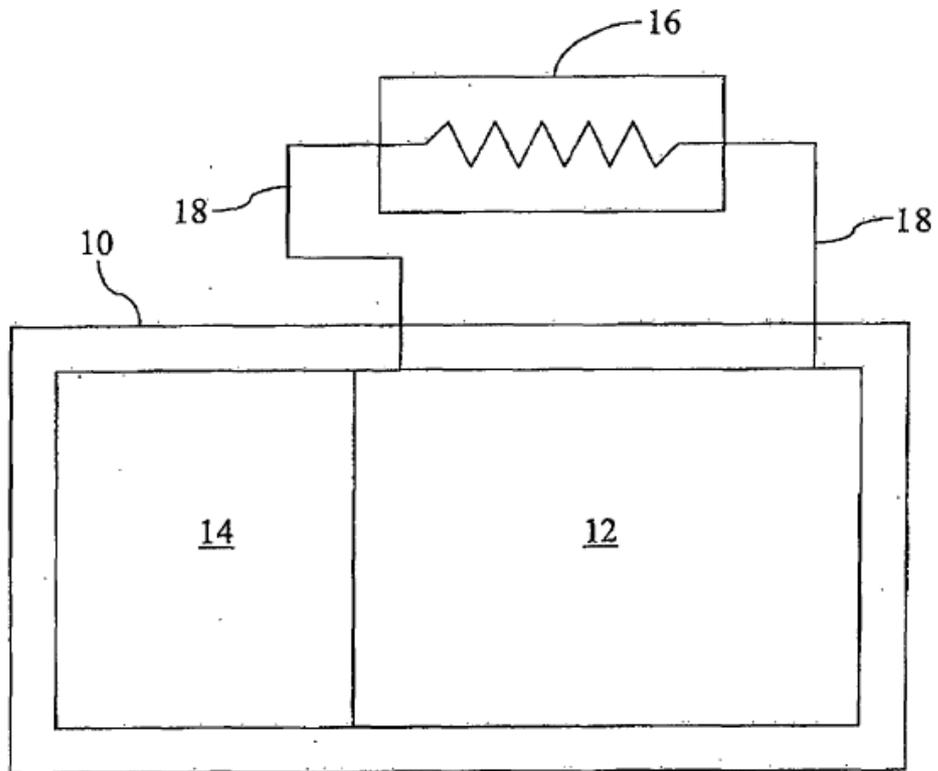


FIG. 1

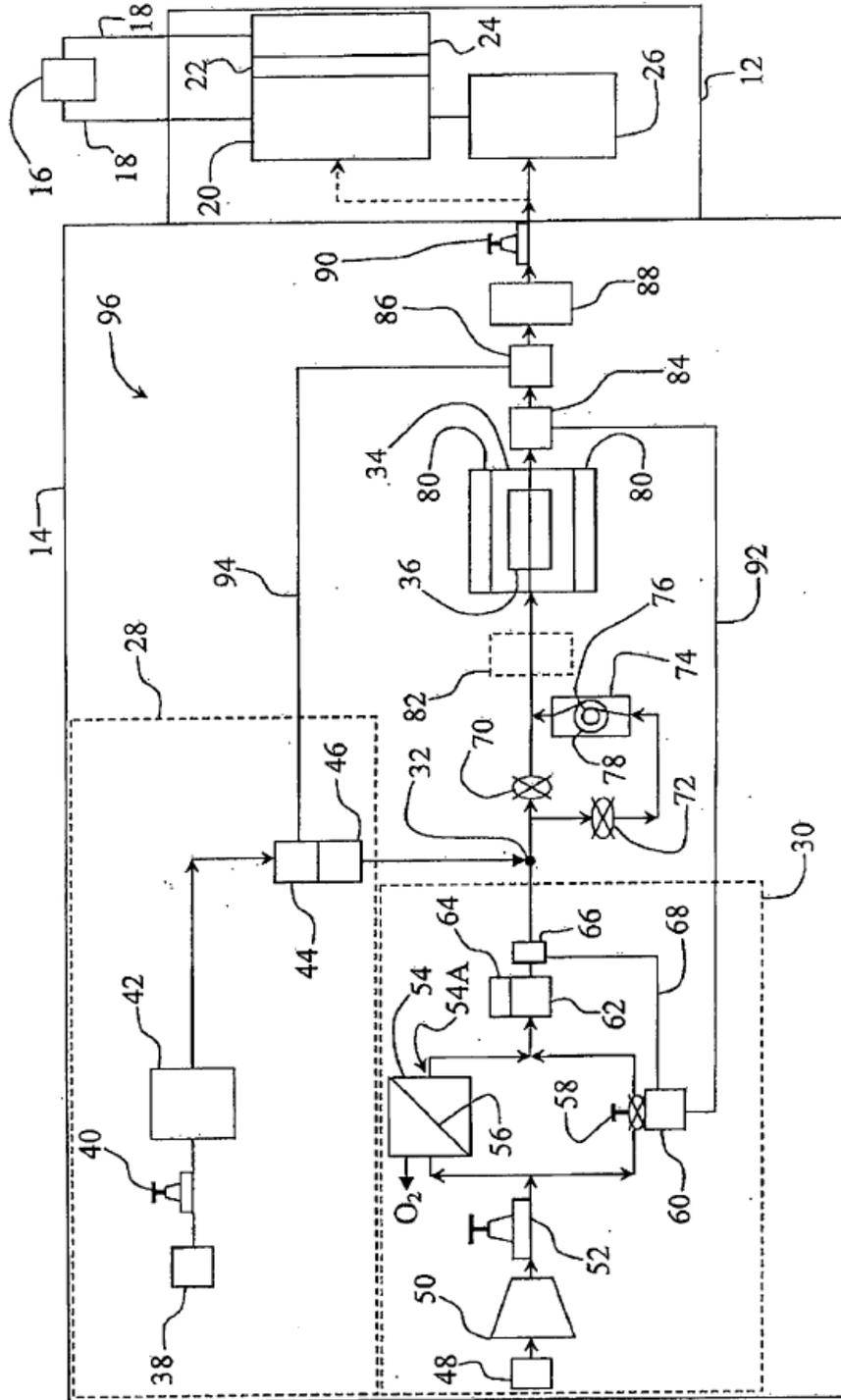


FIG. 2

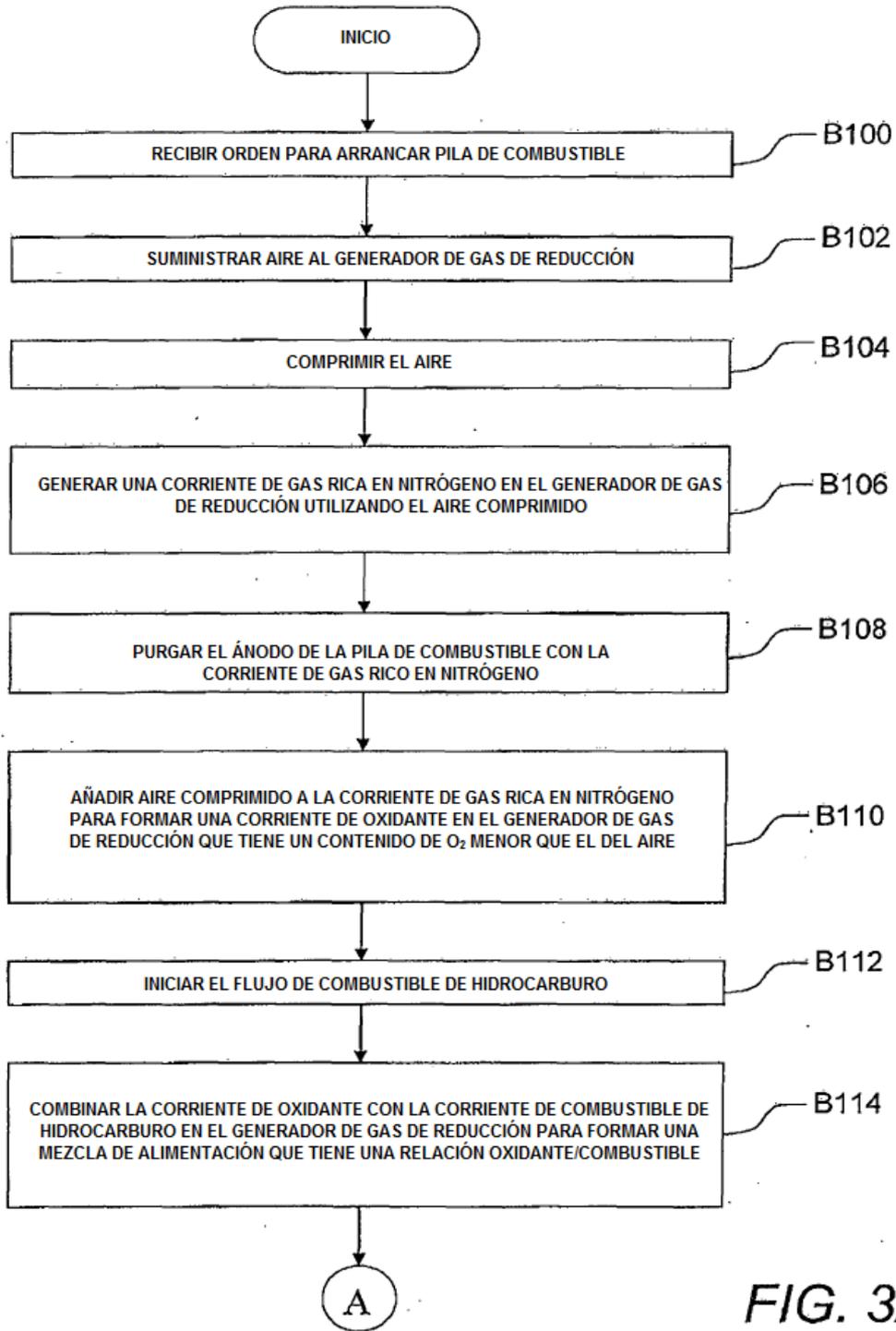


FIG. 3A

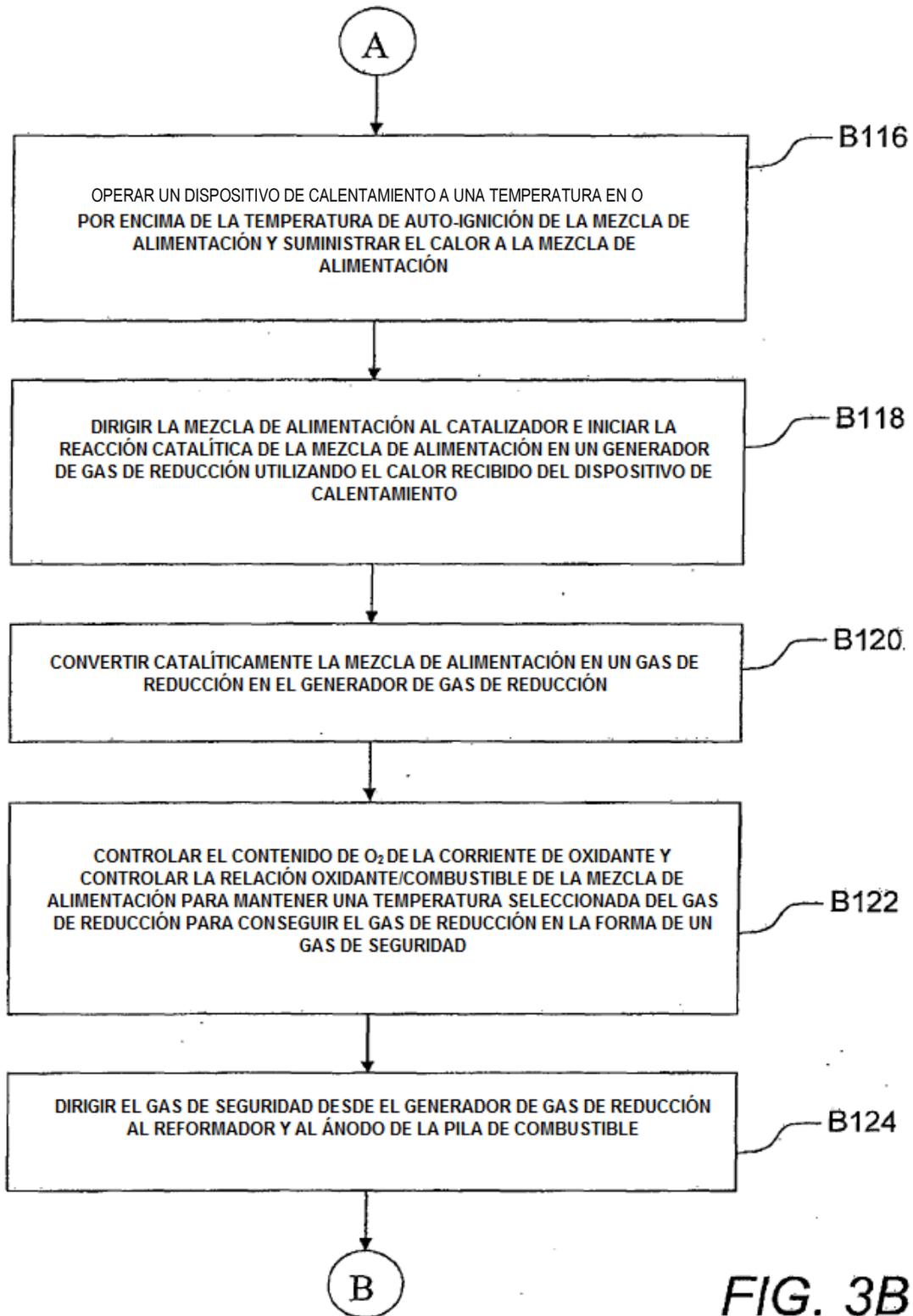


FIG. 3B

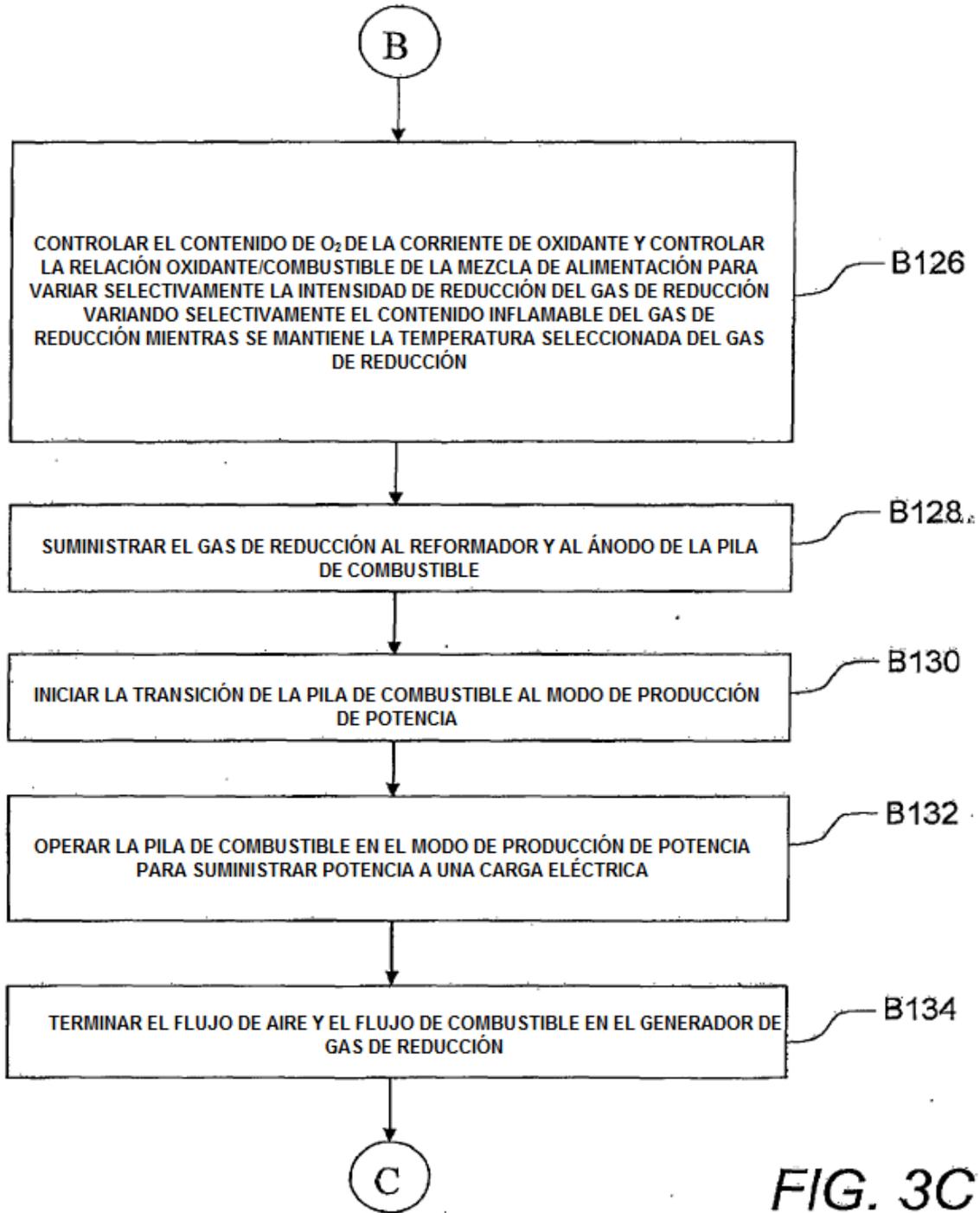


FIG. 3C

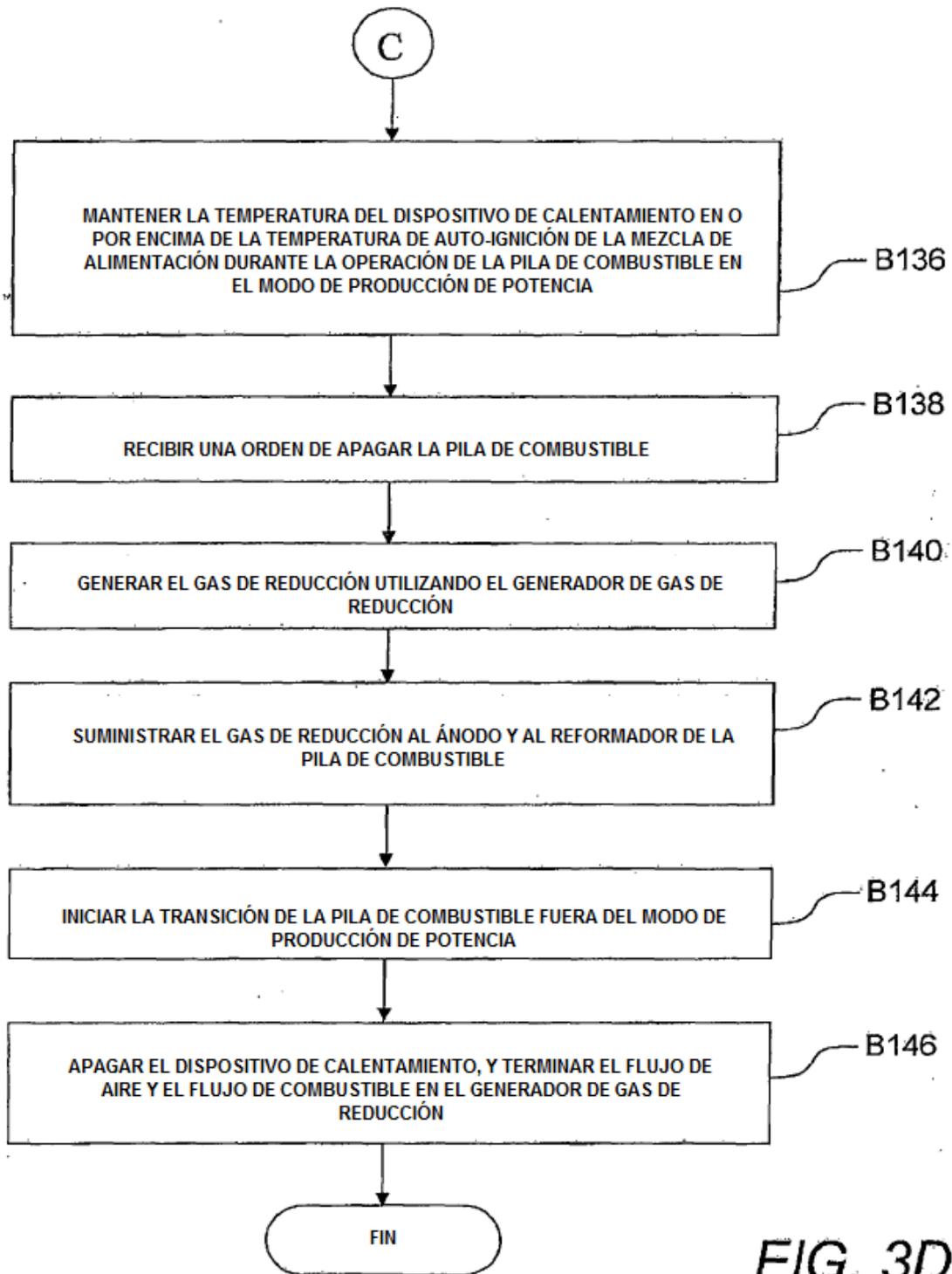


FIG. 3D

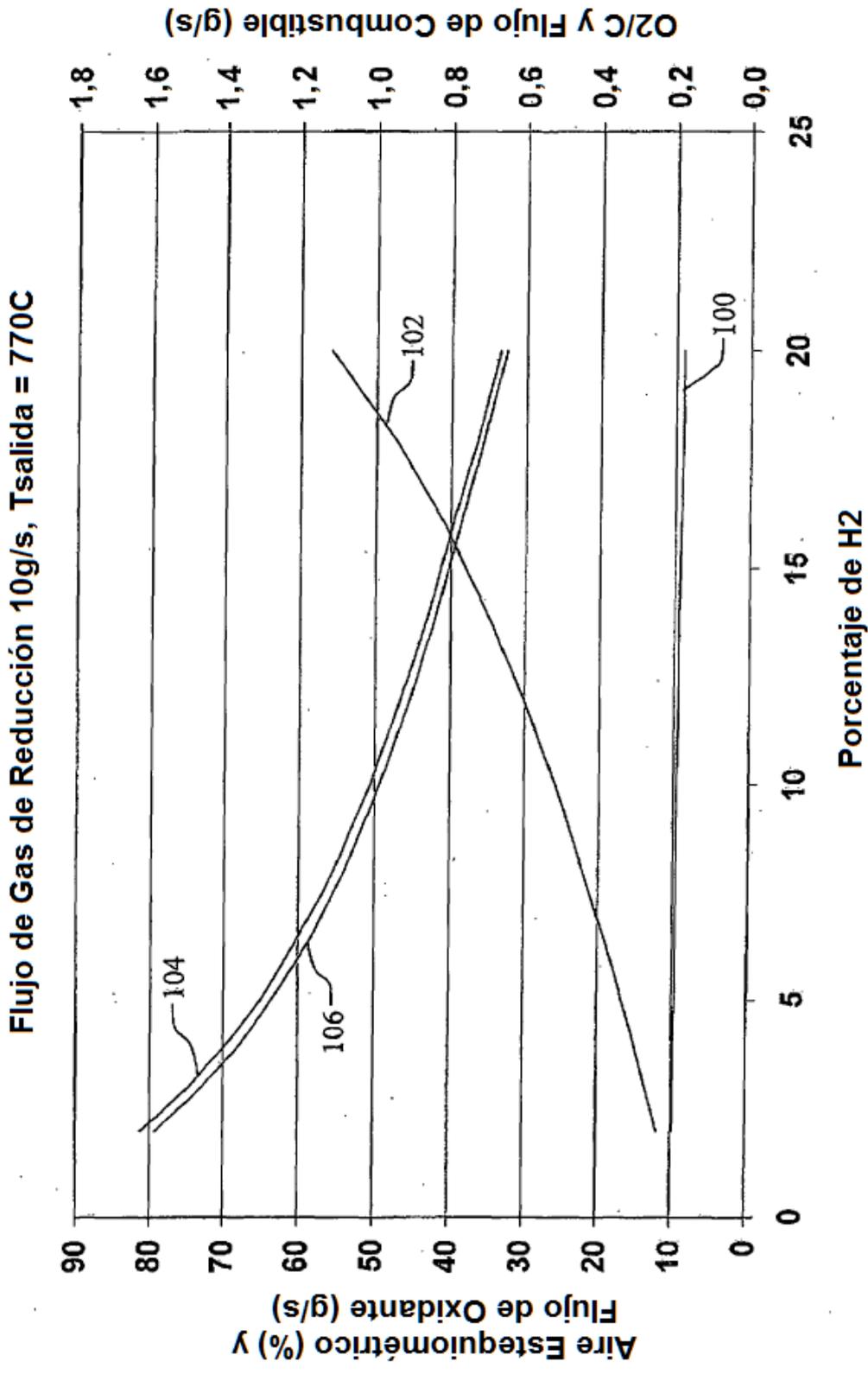


FIG. 4