

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 540 094**

51 Int. Cl.:

**H01M 8/06** (2006.01)

**H01M 8/04** (2006.01)

**C01B 21/04** (2006.01)

**C01B 13/02** (2006.01)

**C01B 3/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.09.2010 E 10814564 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2015 EP 2474065**

54 Título: **Método para generar un gas que puede utilizarse para el encendido y apagado de una celda de combustible**

30 Prioridad:

**04.09.2009 US 554039**

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

**08.07.2015**

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:

**RIZZO, Sergio**

**ES 2 540 094 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

Método para generar un gas que puede utilizarse para el encendido y apagado de una celda de combustible

**[0001]** La presente solicitud está relacionada con la solicitud de patente estadounidense nº 12/554.460, titulada "Apparatus For Generating A Gas Which May Be Used For Startup And Shutdown Of A Fuel Cell", presentada el 4 de septiembre de 2009.

**Campo de la invención**

**[0002]** La presente invención hace referencia a sistemas de celdas de combustible, y más concretamente, a métodos para generar un gas que pueda utilizarse para el encendido y apagado de una celda de combustible.

**Antecedentes**

**[0003]** Los sistemas de celdas de combustible, tal como centrales eléctricas basadas en celdas de combustible y equipamiento de generación de energía basado en celdas de combustible móviles, generan energía eléctrica mediante reacciones electroquímicas y están siendo cada vez más utilizados puesto que los subproductos de escape resultan normalmente más limpios que las centrales eléctricas tradicionales y puesto que las celdas de combustible pueden generar electricidad de forma más eficaz que las centrales eléctricas tradicionales. Los sistemas de celdas de combustible utilizan apilamientos de celdas de combustible individuales, donde cada celda de combustible incluye normalmente un ánodo, un cátodo y un electrolito colocado entre el ánodo y el cátodo. La carga eléctrica está acoplada al ánodo y al cátodo. El ánodo y el cátodo son conductores de la electricidad y permeables a los gases necesarios, tal como hidrógeno y oxígeno, respectivamente. En una celda de combustible de óxido sólido (SOFC por sus siglas en inglés), el electrolito está configurado para pasar iones de oxígeno y presenta poca o ninguna conductividad eléctrica con el fin de impedir el paso de electrones libres del cátodo al ánodo. Para que las reacciones electroquímicas tengan lugar de forma eficaz, algunas celdas de combustible funcionan con temperaturas elevadas, p. ej., con temperaturas del ánodo, cátodo y electrolito cercanas a 700 °C a 1000 °C o superiores para una SOFC.

**[0004]** Durante el funcionamiento normal, se suministra un gas de síntesis al ánodo y se suministra un oxidante, tal como aire, al cátodo. Algunos sistemas de celdas de combustible incluyen un reformador interno que convierte de manera catalítica el combustible en gas de síntesis mediante el uso de un oxidante. El combustible puede ser un combustible convencional, tal como gas natural, gasolina, gasóleo, o un combustible alternativo, tal como biogás, etc. El gas de síntesis incluye normalmente hidrógeno (H<sub>2</sub>), que es un gas utilizado frecuentemente en celdas de combustible de muchos tipos. El gas de síntesis puede contener otros gases adecuados como combustible, tal como monóxido de carbono (CO), que sirve como reactivo para algunos tipos de celdas de combustible, p. ej., celdas de combustible SOFC, aunque el monóxido de carbono puede ser perjudicial para otros tipos de celdas de combustible, tal como celdas de combustible PEM (membrana de intercambio de protones). Además, el gas de síntesis normalmente incluye otros subproductos reformadores, tal como vapor de agua y otros gases, p. ej., nitrógeno y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (normalmente 1 %), así como residuos de pérdidas de hidrocarburo superiores, tal como etano.

**[0005]** En cualquier caso, el gas de síntesis se oxida en una reacción electroquímica en el ánodo con iones de oxígeno recibidos desde el cátodo por medio de 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 se crean mediante una reducción del oxidante del cátodo utilizando los electrones que vuelven de la carga eléctrica al cátodo.

**[0006]** Una vez se ha iniciado la celda de combustible, los procesos internos mantienen la temperatura necesaria para el funcionamiento. Sin embargo, con el fin de iniciar la celda de combustible, los componentes del sistema de la celda de combustible primarios deben calentarse y algunos componentes del sistema de la celda de combustible deben protegerse del daño durante el encendido. Por ejemplo, el ánodo puede estar sujeto a daños por oxidación en presencia de oxígeno con temperaturas por debajo de la temperatura de funcionamiento ordinaria en ausencia del gas de síntesis. Asimismo, el reformador puede requerir una química específica además del calor, con el fin de iniciar las reacciones catalíticas que generan el gas de síntesis. Además, el encendido del sistema de la celda de combustible debería conseguirse de manera segura, p. ej., de manera que se evite la formación de una mezcla inflamable durante el proceso de encendido. También es recomendable purgar la celda de combustible con un gas no explosivo ni oxidante durante la etapa inicial del encendido.

**[0007]** US2008/226955A1 revela una cámara de combustión de múltiples etapas configurada para iniciar una celda de combustible.

**[0008]** Birmingham, Daniel *et al.*, OSTI TECHNICAL REPORT, US DEPARTMENT OF ENERGY / OFFICE OF SCIENCE AND TECHNICAL INFORMATION, EEUU no. 943976, páginas 1-29 proporciona un informe

relacionado con el desarrollo de un procesador de combustible externo para una celda de combustible de óxido sólido.

**[0009]** Lo que se necesita en la técnica es un aparato y método mejorados para el encendido y apagado de una celda de combustible.

5 **Sumario**

**[0010]** La presente invención proporciona un método para el encendido y apagado de una celda de combustible. Por ejemplo, las formas de realización de la presente invención pueden utilizar un generador de nitrógeno para generar una corriente rica en nitrógeno, p. ej., mediante el uso de una membrana de separación de nitrógeno, que pueda utilizarse para purgar uno o más componentes del subsistema auxiliar u otros componentes de una central eléctrica de celdas de combustible.

**[0011]** Además, la misma y/u otras formas de realización de la presente invención pueden incluir la etapa de generar un oxidante de bajo contenido de oxígeno, al combinar el oxidante con combustible con el fin de producir una mezcla de alimentación y después convertir de forma catalítica la mezcla de alimentación en un gas reductor.

**[0012]** Asimismo, la misma y/u otras formas de realización de la presente invención pueden incluir la variación del contenido de oxígeno del oxidante y también la variación de la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación con el fin de mantener el gas reductor a una temperatura deseada, p. ej., una temperatura de reacción o una temperatura posterior al reactor.

**[0013]** También, la misma y/o formas de realización diferentes de la presente invención pueden incluir el control del contenido de oxígeno del oxidante y también el control de 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 fuerza reductora deseada del gas reductor, p. ej., mediante la variación del contenido de combustibles del gas reductor, mientras que se proporciona un caudal deseado del gas reductor.

**[0014]** También, la misma y/o formas de realización diferentes de la presente invención pueden incluir el control del contenido de oxígeno del oxidante y también el control de 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 fuerza reductora deseada del gas reductor, p. ej., mediante la variación del contenido de combustibles del gas reductor, mientras que se varía el flujo del gas reductor.

**[0015]** Igualmente, la misma y/o formas de realización diferentes de la presente invención pueden incluir el control del contenido de oxígeno del oxidante y también el control de la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación con el fin de mantener una temperatura de salida del catalizador del gas reductor deseada, mientras se varía, p. ej., cambiando la fuerza reductora del gas reductor, p. ej., mediante la variación del contenido de combustibles del gas reductor.

**[0016]** Además, la misma y/o formas de realización diferentes de la presente invención pueden incluir la etapa de mantener una temperatura, p. ej., de un dispositivo térmico, a la temperatura de autoignición de la mezcla de alimentación o por encima de esta con el fin de reducir la cantidad de tiempo requerido para empezar a producir gas reductor.

**Breve descripción de los dibujos**

**[0017]** La descripción en el presente documento hace referencia a los dibujos adjuntos, en los que se ha utilizado la misma referencia numérica para partes similares en todas las vistas y donde: La figura 1 representa de forma esquemática un sistema de la celda de combustible para utilizarse de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. La figura 2 representa de forma esquemática el sistema de la celda de combustible de la figura 1 con más detalle, incluyendo un generador de gas reductor para utilizarse de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. Las figuras 3A-3D son un diagrama de flujo que representan un método para el encendido y apagado de una celda de combustible por medio de un generador de gas reductor de acuerdo con una forma de 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 reductor de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

**Descripción detallada**

**[0018]** Con el fin de promover una comprensión de los principios de la invención, se hará referencia ahora a las formas de realización ilustradas en los dibujos y se utilizará lenguaje específico para describirlas. Se entenderá no obstante que no se pretende limitar el alcance de la invención mediante la ilustración y descripción de determinadas formas de realización de la invención. Además, cualquier cambio y/o modificación de las formas de realización ilustradas y/o descritas se contempla como dentro del alcance de la presente invención. Asimismo,

cualquier otra aplicación de los principios de la invención, tal y como se ilustra y/o describe en el presente documento, como se le ocurriría a alguien experto en la técnica a la que pertenece, se contempla que se encuentran dentro del alcance de la presente invención.

5 **[0019]** Haciendo referencia ahora a las figuras, y en concreto, a la figura 1, se representa un esquema del sistema de una celda de combustible 10 de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. El sistema de la celda de combustible 10 incluye una o más celdas de combustible 12 e incluye un generador de gas reductor 14. El sistema de la celda de combustible 10 está configurado para proporcionar energía a una carga eléctrica 16, p. ej., mediante líneas eléctricas de transporte de energía 18. En la presente forma de realización, la celda de combustible 12 es una celda de combustible de óxido sólido (SOFC), aunque se entiende que la presente invención también es aplicable a otros tipos de celdas de combustible, tal como celdas de combustible alcalinas, celdas de combustible de carbonato fundido (MCFC), celdas de combustible de ácido fosfórico (PAFC) y celdas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM). En la presente forma de realización, el sistema de la celda de combustible 10 es adecuado, sin carácter limitativo, para utilizarse en un sistema híbrido de turbina de celda de combustible donde se utilizan corrientes de alimentación de alta presión.

15 **[0020]** El generador de gas reductor 14 de la presente forma de realización está configurado para generar un gas reductor con un contenido de combustibles (que es principalmente hidrógeno - H<sub>2</sub> y monóxido de carbono - CO) que puede variarse dentro de un intervalo de composición de aproximadamente 3 % de contenido de combustibles a aproximadamente 45 % de contenido de combustibles. En otras formas de realización, se pueden utilizar intervalos de composición diferentes, por ejemplo, un intervalo de aproximadamente 2 % de contenido de combustibles a aproximadamente 50 % de contenido de combustibles en algunas formas de realización, y aproximadamente 1 % de contenido de combustibles a aproximadamente 60 % de contenido de combustibles en otras formas de realización. Tal y como se detalla a continuación, el generador de gas reductor 14 de la presente forma de realización está adaptado para producir un gas de inicio en forma de gas reductor con una función primaria de protección del ánodo de la celda de combustible 12 de la oxidación durante el encendido de la celda de combustible 12, p. ej., durante el calentamiento del sistema anterior a la producción de energía. Cuando se inicia la producción de energía, el gas reductor pasa a detenerse.

30 **[0021]** En la figura 1, se representan diferentes características, componentes e interrelaciones entre ellos de aspectos de un sistema para utilizarse en una forma de realización de la presente invención. Sin embargo, la presente invención no está limitada al uso de la forma de realización específica de la figura 1 ni a los componentes, características e interrelaciones entre ellos tal y como se ilustran en la figura 1 y como se describe en el presente documento. Por ejemplo, otras formas de realización incluidas en la presente invención, siendo manifestada la presente invención en los principios descritos de forma explícita e implícita en el presente documento mediante las presentes figuras y descripción detallada y detallado en las reivindicaciones, pueden incluir un mayor o menor número de componentes, características y/o interrelaciones entre ellos y/o puede emplear diferentes componentes y/o características con la misma naturaleza y/o interrelaciones y/o diferentes, que pueden utilizarse para llevar a cabo funciones similares y/o diferentes relacionadas con las ilustradas en la figura 1 y descritas en el presente documento.

40 **[0022]** Haciendo referencia ahora a la figura 2, se describen con mayor detalle la celda de combustible 12 y el generador de gas reductor 14. La celda de combustible 12 incluye al menos uno de cada de entre un ánodo 20, un electrolito 22, un cátodo 24 y un reformador 26. El ánodo 20, el electrolito 22 y el cátodo 24 se consideran parte de la celda de combustible 12. El reformador 26 es un reformador de vapor interno que recibe vapor como un constituyente de una corriente de gas de producto de la celda de combustible reciclada y calor para el funcionamiento de las reacciones electroquímicas de la celda de combustible 12. El generador de gas reductor 14 no es parte de la celda de combustible 12, sino que está configurado para generar gases que se puedan utilizar en el encendido y apagado de la celda de combustible 12.

50 **[0023]** El ánodo 20 está acoplado eléctricamente a la carga eléctrica 16 mediante una línea eléctrica de transporte de energía 18 y el cátodo 24 también está acoplado eléctricamente a la carga eléctrica 16 mediante otra línea eléctrica de transporte de energía 18. El electrolito 22 está dispuesto entre el ánodo 20 y el cátodo 24. El ánodo 20 y el cátodo 24 son conductores eléctricos y permeables al oxígeno, p. ej., iones de oxígeno. El electrolito 22 está configurado para pasar iones de oxígeno y presenta poca o ninguna conductividad eléctrica, p. ej., de manera que impida el paso de electrones libres del cátodo 24 al ánodo 20.

55 **[0024]** El reformador 26 está acoplado al ánodo 20 y está configurado para recibir un combustible y un oxidante y convertir la mezcla combustible/oxidante en un gas de síntesis consistente principalmente en hidrógeno (H<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), así como otros subproductos del reformador, tal como vapor de agua en forma de vapor y otros gases, p. ej., nitrógeno y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pérdida de metano (CH<sub>4</sub>), así como restantes de pérdida de hidrocarburo. En la presente forma de realización, el oxidante utilizado por la celda de combustible 12 durante el funcionamiento normal, es decir, en el modo de producción de energía para suministrar energía eléctrica a la carga eléctrica 16 es aire, y el combustible es gas natural, aunque se entenderá que se pueden utilizar otros oxidantes y/o combustibles sin alejarse del alcance de la presente invención.

5 **[0025]** El gas de síntesis se oxida en una reacción electroquímica en el ánodo 20 con iones de oxígeno recibidos del cátodo 24 mediante la migración por el electrolito 22. La reacción electroquímica crea vapor de agua y electricidad en forma de electrones libres en el ánodo que se utilizan para alimentar la carga eléctrica 16. Los iones de oxígeno se crean mediante una reducción del oxidante del cátodo utilizando los electrones que vuelven de la carga eléctrica 16 al cátodo 24.

**[0026]** Una vez que la celda de combustible 12 se ha iniciado, los procesos internos mantienen la temperatura necesaria para las funciones de producción de energía ordinarias. Sin embargo, con el fin de iniciar la celda de combustible, los componentes del sistema de la celda de combustible primarios deben calentarse, incluidos el ánodo 20, el electrolito 22, el cátodo 24 y el reformador 26.

10 **[0027]** Además, algunos componentes de la celda de combustible pueden estar protegidos del daño durante el encendido, p. ej., debido a la oxidación. Por ejemplo, el ánodo 20 puede estar sujeto a daños por oxidación en presencia de oxígeno con temperaturas por encima de la temperatura ambiente pero por debajo de la temperatura de funcionamiento ordinaria de la celda de combustible 12 en ausencia del gas de síntesis. Asimismo, el reformador 26 puede requerir una química específica, p. ej., H<sub>2</sub>O en forma de vapor además del calor proporcionado durante el encendido de la celda de combustible 12 con el fin de iniciar las reacciones catalíticas que generan el gas de síntesis. Además, se recomienda que la celda de combustible 12 se encienda de manera segura, p. ej., de manera que se evite la formación de una mezcla inflamable durante el proceso de encendido. Por tanto, puede ser recomendable purgar el ánodo 20 con un gas reductor no inflamable durante el encendido inicial cuando la temperatura del ánodo 20 aumente. En un aspecto, una característica del generador de gas reductor 14 es que el gas reductor puede diluirse suficientemente en combustibles con el fin de impedir la posible formación de una mezcla inflamable (es decir, potencialmente explosiva) tras su mezcla con aire. Esto puede ser recomendable durante la parte de baja temperatura del calentamiento de la celda de combustible 12 donde cualquier combustible que se mezcle con aire se encuentra por debajo de la temperatura de autoignición y, por lo tanto, puede acumularse posiblemente y formar cantidades peligrosas de posibles gases inflamables presurizados dentro del recipiente que contiene la celda de combustible 12.

20 **[0028]** La fuerza del gas reductor para proteger el ánodo 20 de la celda de combustible 12 de la migración de oxígeno puede ser bastante alta, p. ej., hasta un 45 % de contenido de combustibles en la presente forma de realización, hasta un 50 % en otras formas de realización y hasta un 60 % de contenido de combustibles en otras formas de realización. Los mecanismos que provocan la migración de oxígeno por el electrolito 22 al lado del ánodo 20 de la celda de combustible 12 dependen a veces de la temperatura e incluyen permeación de oxígeno a través del electrolito 22 o transferencia de oxígeno inducida por corrientes de cortocircuitos. Asimismo, los mecanismos de filtración física pueden empeorar con la temperatura ya que los materiales se expanden de forma diferencial. Por lo tanto, la capacidad del generador de gas reductor 14 para aumentar el contenido de combustibles con altas temperaturas de la celda de combustible 12 durante el encendido puede ser especialmente útil a la hora de proteger el ánodo 20 del daño por oxidación.

30 **[0029]** Desde una perspectiva de seguridad, puede ser posible avanzar hacia una fuerza reductora superior con temperaturas más altas durante el encendido de la celda de combustible 12, puesto que la posibilidad de mezclar el gas reductor con un volumen presurizado de aire con el fin de formar una mezcla de combustible en la celda de combustible 12 o cerca de ella se reduce si el gas reductor se encuentra por encima de la temperatura de autoignición, puesto que el gas reductor tendería a arder inmediatamente tras su mezcla con aire. Además, esto puede impedir la acumulación de una mezcla inflamable que puede deflagrarse posiblemente si la mezcla entrara en contacto de forma repentina con una fuente de ignición, puesto que una mezcla como tal tendería a arder inmediatamente cuando se encuentre por encima de la temperatura de autoignición, en lugar de acumular una gran cantidad de la mezcla.

45 **[0030]** Por lo tanto, en algunas formas de realización, puede ser recomendable accionar el generador de gas reductor 14 de forma que el gas reductor sea inicialmente débil y esté bastante por debajo del límite de inflamabilidad, p. ej., 3 % de contenido de combustibles en la presente forma de realización, aunque se pueden utilizar otros valores, por ejemplo, 2 % de contenido de combustibles en algunas formas de realización y 1 % de contenido de combustibles o inferior en otras formas de realización. En otras formas de realización, el contenido de combustibles puede ser superior al 3 %. El contenido de combustibles puede cambiarse posteriormente a una condición fuertemente reductora (es decir, combustibles superiores) (fuerza reductora superior) cuando las condiciones de temperatura en la celda de combustible 12, p. ej., ánodo 20, sean lo bastante altas para asegurar que el gas reductor está muy por encima de su límite de inflamabilidad. Por ejemplo, la condición fuertemente reductora puede presentar hasta un 45 % de contenido de combustibles en la presente forma de realización, hasta un 50 % de contenido de combustibles en otras formas de realización y hasta un 60 % de contenido de combustibles o superior en otras formas de realización, dependiendo de las condiciones en la celda de combustible 12. La aportación de energía aumentada al sistema con un gas reductor más fuerte puede compensarse mediante la disminución del flujo de combustible al quemador de gas de la central eléctrica de celdas de combustible para centrales equipadas de ese modo.

**[0031]** Por consiguiente, las formas de realización de la presente invención pueden utilizar el generador de gas reductor 14 para generar un gas de purga para purgar la celda de combustible 12 de oxidantes, en concreto, el cátodo 24, así como para generar un gas seguro, es decir, un gas reductor débil con un nivel relativamente bajo de combustibles.

5 **[0032]** Además, las formas de realización de la presente invención también pueden utilizar el generador de gas reductor 14 para producir un gas reductor de fuerza reductora variable. La composición de gas reductor proporcionada por el generador de gas reductor 14 puede también configurarse para contener el vapor adecuado con el fin de iniciar el funcionamiento del reformador interno 26 cuando se inicia el flujo de corriente de combustible normal de la celda de combustible 12, p. ej., gas natural. Por consiguiente, el gas reductor  
10 suministrado a la celda de combustible 12 del generador de gas reductor 14 puede considerarse gas de transición al tiempo que se aumenta la producción de energía por parte de la celda de combustible 12. De forma adicional, el generador de gas reductor 14 de la presente forma de realización puede ser capaz de un encendido rápido, p. ej., para la protección del ánodo 20 en caso de darse el apagado de la celda de combustible 12 de emergencia, por ejemplo, manteniendo determinados elementos del generador de gas reductor 14 a  
15 temperaturas elevadas con el fin de acelerar el inicio de las reacciones catalíticas que producen el gas reductor.

**[0033]** En la presente forma de realización, tal y como se ilustra en la figura 2, el generador de gas reductor 14 incluye un sistema de combustible 28, un sistema oxidante 30, una cámara de fusión 32 y un reactor catalítico 34 con un catalizador 36. En la presente forma de realización, la producción del sistema de combustible 28 y del sistema oxidante 30 se combinan en la cámara de fusión 32 y se dirigen a la celda de combustible 12 mediante el  
20 reactor catalítico 34 con el fin de proporcionar de forma selectiva gas de purga, gas seguro y gas reductor de fuerza variable al ánodo 20 y al reformador 26.

**[0034]** En la figura 2, se representan diferentes características, componentes e interrelaciones de aspectos de un sistema para utilizarse en una forma de realización de la presente invención. Sin embargo, la presente invención no está limitada al uso del sistema específico de la figura 2 ni a los componentes, características e interrelaciones entre ellos tal y como se ilustran en la figura 2 y se describen en el presente documento. Por ejemplo, otras  
25 formas de realización incluidas en la presente invención, estando la presente invención manifestada en los principios descritos explícita e implícitamente en el presente documento mediante las presentes figuras y descripción detallada y detallado en las reivindicaciones, pueden incluir un mayor o menor número de componentes, características y/o interrelaciones entre ellos, y/o puede emplear diferentes componentes y/o  
30 características con la misma naturaleza y/o interrelaciones y/o diferentes, que pueden utilizarse para llevar a cabo funciones similares y/o diferentes relacionadas con las ilustradas en la figura 2 y descritas en el presente documento.

**[0035]** En cualquier caso, en la figura 2, el sistema de combustible 28 incluye una entrada de combustible 38, un regulador de presión 40, un material absorbente captor de azufre 42, un controlador de flujo de combustible 44 y una válvula de control de salida/posición de combustible variable 46. La entrada de combustible 38 está  
35 configurada para recibir un combustible de hidrocarburo, p. ej., gas natural y sirve como fuente del combustible de hidrocarburo utilizado por el generador de gas reductor 14. El regulador de presión 40 se acopla flexiblemente a la entrada de combustible 38 y regula la presión del combustible de hidrocarburo. El material absorbente captor de azufre 42 se acopla flexiblemente al regulador de presión 40 y se configura para capturar azufre de la corriente de combustible recibida desde el regulador de presión. El controlador de flujo de combustible 44 y la  
40 válvula de control de combustible 46 están acoplados a la salida del material absorbente captor de azufre 42 y están configurados para controlar la cantidad de combustible distribuido a la cámara de fusión 32.

**[0036]** El sistema oxidante 30 funciona como fuente oxidante para el generador de gas reductor 14 e incluye una entrada de aire 48, un compresor de aire 50 como fuente de aire presurizado, un regulador de presión 52, un  
45 generador de nitrógeno 54 con una membrana de separación de nitrógeno 56, una válvula de control de posición/salida de aire variable 58, un controlador de flujo de aire 60, una válvula de control de posición/salida de oxidante 62, un controlador de flujo oxidante 64 y un sensor de oxígeno 66.

**[0037]** La entrada de aire 48 puede ser cualquier estructura o abertura capaz de proporcionar aire y está acoplada flexiblemente a un compresor de aire 50 que comprime el aire ambiente recibido de la atmósfera. El regulador de presión 52 es acoplado flexiblemente al compresor de aire 50 y regula la presión de aire distribuido al generador de gas reductor 14. La válvula de control de aire 58 es parte de un sistema de carga de aire  
50 estructurado para añadir aire de forma variable al gas rico en nitrógeno recibido del generador de nitrógeno 54 con el fin de producir un oxidante con contenido de O<sub>2</sub> variable.

**[0038]** El contenido de O<sub>2</sub> puede detectarse mediante el sensor de oxígeno 66 que puede ser utilizado por el sistema de control del generador de gas reductor 14 con el fin de variar el contenido de O<sub>2</sub> del oxidante suministrado a la cámara de fusión 32. Por ejemplo, con condiciones de funcionamiento normales, el contenido de O<sub>2</sub> se controla según una temperatura control, p. ej., la temperatura del catalizador 36 en la presente forma de  
55 realización, aunque se pueden utilizar otras temperaturas en otras formas de realización, p. ej., la temperatura de

la salida de gas reductor por el generador de gas reductor 14. Sin embargo, durante el encendido del generador de gas reductor 14, se puede utilizar el detector de oxígeno 66 para proporcionar retroalimentación hasta que la temperatura esté disponible como retroalimentación. La cantidad o flujo del oxidante con el contenido de O<sub>2</sub> variable se controla mediante la válvula de control de oxidante 62 y el controlador de flujo oxidante 64.

5 **[0039]** El generador de nitrógeno 54 está configurado para generar una corriente rica en nitrógeno, que puede utilizarse como gas de purga y que puede también combinarse con aire para formar una corriente oxidante de bajo contenido de oxígeno (O<sub>2</sub>), p. ej., una corriente de aire con nitrógeno diluido, utilizada por el generador de gas reductor 14 con el fin de formar un gas reductor. La pureza de la corriente rica en nitrógeno puede variar según las necesidades de la aplicación específica, por ejemplo, y puede consistir básicamente en nitrógeno. De forma alternativa, se ha considerado que en otras formas de realización, se puedan emplear otros gases en lugar de nitrógeno o además de su adición, tal como argón o helio, para utilizarse como gas de purga y/o como constituyente de una corriente oxidante de bajo contenido de O<sub>2</sub>, p. ej., como disolvente (diluyente) de aire. "Oxidante de bajo contenido de O<sub>2</sub>" indica en el presente documento que el contenido de oxígeno de la corriente oxidante es inferior al del aire atmosférico con las mismas condiciones de temperatura y presión.

15 **[0040]** El generador de nitrógeno 54 y la válvula de control de aire 58 están acoplados flexiblemente en paralelo con el regulador de presión 52, y reciben aire presurizado del compresor de aire 50 para utilizarse en el funcionamiento del generador de gas reductor 14. El generador de nitrógeno 54 presenta una salida 54A, p. ej., una abertura o canal estructurado para descargar los productos del generador de nitrógeno 54. El generador de nitrógeno 54 se estructura para recibir aire de una entrada de aire 48, extraer oxígeno (O<sub>2</sub>) del aire, y descargar el restante en forma de gas rico en nitrógeno desde la salida. El O<sub>2</sub> extraído se descarga del generador de nitrógeno 54 a la atmósfera en la presente forma de realización, aunque se entenderá que en otras formas de realización, el O<sub>2</sub> extraído puede utilizarse para otros fines relacionados con la celda de combustible 12 y/o el generador de gas reductor 14, p. ej., como parte de una corriente oxidante.

25 **[0041]** La membrana de separación de nitrógeno 56 del generador de nitrógeno 54 está configurada para separar el oxígeno del aire recibido de la entrada de aire 48 y proporciona la corriente rica en nitrógeno, que a continuación se combina con el aire suministrado por la válvula de control de aire 58 con el fin de producir el oxidante de bajo contenido en O<sub>2</sub>, que se distribuye a la válvula de control de oxidante 62. La válvula de control de oxidante 62 está acoplada flexiblemente a las salidas del generador de nitrógeno 54 y de la válvula de control de aire 58. El sensor de oxígeno 66, que puede estar en forma de analizador de O<sub>2</sub>, está acoplado flexiblemente en una posición posterior a la válvula de control de oxidante 62 y proporciona una señal de control mediante una línea de control 68 que acopla de forma comunicativa 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 en función de la entrada control del sensor de oxígeno 66.

35 **[0042]** 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 con el combustible y el oxidante incluyendo el gas rico en nitrógeno en el reactor catalítico 34. El reactor catalítico 34 está estructurado para recibir la mezcla de alimentación y convertir de forma catalítica la mezcla de alimentación en el gas reductor. La forma de la cámara de fusión 32 es una simple conexión de tuberías que une la corriente oxidante con la corriente de combustible en la presente forma de realización, aunque puede utilizarse cualquier disposición que se estructure para combinar una corriente oxidante con una corriente de combustible sin alejarse del alcance de la presente invención. Por ejemplo, puede utilizarse una cámara de fusión específica con aletas en remolino para mezclar las corrientes.

45 **[0043]** El generador de gas reductor 14 incluye una válvula de control de inicio con un elemento de válvula 70 y un elemento de válvula 72; y un calentador de mezcla de alimentación 74 que puede utilizarse para iniciar el proceso de la producción de gas reductor. En una forma, los elementos de válvula 70 y 72 son parte de un elemento de válvulas combinado. Las entradas de los elementos de válvula 70 y 72 están acopladas flexiblemente a la cámara de fusión 32 en una posición posterior a esta. La salida del elemento de válvula 70 está acoplada flexiblemente al reactor catalítico 34 para proporcionar la mezcla de alimentación al catalizador 36 del reactor catalítico 34. La salida del elemento de válvula 72 está acoplada flexiblemente a la entrada del calentador de mezcla de alimentación 74. En una forma, la válvula de control de inicio está dispuesta como una válvula de tres vías que hace funcionar los elementos de válvula 70 y 72 para dirigir el flujo que entra en la válvula de control de inicio al reactor catalítico 34 directamente o a través del calentador de mezcla de alimentación 74. También se ha considerado alternativamente que se puedan utilizar otras disposiciones, tal como un par de válvulas de control de inicio individuales en lugar de la válvula de control de inicio con los elementos de válvula 70 y 72.

**[0044]** El calentador de la mezcla de alimentación 74 incluye un cuerpo térmico 76 y una bobina de flujo 78 dispuesta junto al cuerpo térmico 76. La salida del calentador de la mezcla de alimentación 74 está acoplada flexiblemente al reactor catalítico 34 para proporcionar la mezcla de alimentación calentada al catalizador 36 del

reactor catalítico 34. En el modo de funcionamiento normal, los elementos de válvula 70 y 72 dirigen toda la mezcla de alimentación directamente al reactor catalítico 34. En el modo de encendido, la mezcla de alimentación se dirige por el calentador de la mezcla de alimentación 74. En una forma, toda la mezcla de alimentación se dirige por el calentador de mezcla de alimentación 74, aunque en otras formas de realización, se pueden calentar cantidades más pequeñas.

**[0045]** El calentador de mezcla de alimentación 74 está configurado 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 a continuación se suministra al reactor catalítico 34. En una forma, la mezcla de alimentación se calienta mediante el calentador de mezcla de alimentación 74 a una temperatura de precalentamiento por encima de la temperatura de activación del catalizador (la temperatura de activación del catalizador es la temperatura a la cual se inician las reacciones sobre el catalizador, p. ej., el catalizador 36). Una vez que el catalizador 36 se enciende, las reacciones exotérmicas que tienen lugar en el catalizador 36 mantienen la temperatura del reactor catalítico 34 a un nivel controlado, tal como se detalla a continuación. Asimismo, una vez que el catalizador 36 se enciende ya no hace falta calentar la mezcla de alimentación, en cuyo caso los elementos de válvula 70 y 72 se colocan para dirigir toda la mezcla de alimentación directamente al reactor catalítico 34, rodeando el calentador de mezcla de alimentación 74.

**[0046]** Con el fin de proporcionar un suministro rápido de gas reductor en caso de apagado repentino de la celda de combustible 12, el cuerpo térmico 76 está configurado para mantener de forma continua una temperatura suficiente para encender el catalizador 36 durante el funcionamiento de producción de energía normal de la celda de combustible 12. Es decir, mientras que la celda de combustible 12 funciona con el modo de producción de energía para suministrar energía a la carga eléctrica 16 que se encuentra en modo de funcionamiento normal para la celda de combustible 12, el cuerpo térmico 76 mantiene una temperatura de precalentamiento suficiente para calentar la mezcla de alimentación con el fin de ser capaz de encender rápidamente el catalizador para el encendido del generador de gas reductor 14 de forma que el gas reductor se suministre a la celda de combustible 12 durante el apagado.

**[0047]** Además, se disponen uno o más calentadores de catalizadores 80 junto al reactor catalítico 34 y se configuran para calentar el catalizador 36 y mantener el catalizador 36 con una temperatura de precalentamiento que se encuentre a la temperatura de activación del catalizador o por encima de ella para la mezcla de alimentación suministrada al reactor catalítico 34. Esta temperatura de precalentamiento se mantiene durante el funcionamiento normal de la celda de combustible 12 en modo de producción de energía en caso de existir una necesidad urgente de gas reductor, p. ej., en caso de necesitarlo para el apagado de la celda de combustible 12.

**[0048]** En otras formas de realización, se considera de forma alternativa que se pueda utilizar otro calentador 82 en lugar de los calentadores 74 y 80 o además de estos, p. ej., un calentador 82 colocado junto al reactor catalítico 34 en el lado de entrada anterior. Se puede utilizar una disposición como tal para suministrar calor de forma más directa al catalizador 36 con el fin de iniciar la reacción catalítica de la mezcla de alimentación en una parte anterior del reactor catalítico 34.

**[0049]** En la presente forma de realización, los calentadores 74, 80 y 82 son calentadores eléctricos, aunque se considera de forma alternativa que en otras formas de realización, se puedan utilizar calentadores de combustión indirecta además de los calentadores eléctricos o en su lugar. Asimismo, aunque la presente forma de realización utiliza tanto el calentador de mezcla de alimentación 74 como calentadores 80 para encender rápidamente la mezcla de alimentación en el catalizador, se considera de forma alternativa que en otras formas de realización, se pueda emplear solo un calentador o un número superior de calentadores, sin alejarse del alcance de la presente invención.

**[0050]** Se coloca un sensor de temperatura control 84 junto al catalizador 36 del reactor catalítico 34 y se incorpora para medir la temperatura del catalizador 36. En una forma, el sensor de temperatura control 84 se incorpora para proporcionar una señal que indique la temperatura de una parte del catalizador 36 mediante una línea de detección 92 que acopla de forma comunicativa el controlador de flujo de aire 60 con el sensor de temperatura control 84. La temperatura control es una temperatura utilizada por el sistema de control 96 para regular la salida del generador de gas reductor 14. El controlador de flujo de aire 60 está configurado para dirigir el funcionamiento de la válvula de control de aire 58 según la señal recibida del sensor de temperatura control 84 junto con la señal recibida del sensor de oxígeno 66. En otra forma, pueden detectarse otras temperaturas con el fin de controlar el generador de gas reductor 14. Por ejemplo, en una forma de realización como tal, la temperatura del gas reductor producido por el generador de gas reductor 14, p. ej., como la producción por el reactor catalítico 34, puede medirse y utilizarse como retroalimentación de temperatura control para dirigir el funcionamiento de la válvula de control de aire 58.

**[0051]** Un sensor de detección de combustibles del gas reductor 86, que en la presente forma de realización está en forma de sensor de hidrógeno ( $H_2$ ) o analizador de  $H_2$ , está configurado para determinar la cantidad de uno o más combustibles, p. ej., porcentaje molar, presente en la producción de gas reductor por el reactor catalítico 34.

En otras formas de realización, el sensor de detección de combustibles del gas reductor 86 puede estar en forma de sensor o analizador de monóxido de carbono (CO) además del sensor/analizador de H<sub>2</sub> o en lugar de este. En cualquier caso, una línea control 94 acopla de forma comunicativa el controlador de flujo de combustible 44 y el sensor de detección de combustibles del gas reductor 86. El sensor de detección de combustibles del gas reductor 86 está configurado para suministrar una señal que refleje el contenido de combustibles del gas reductor al controlador de flujo de combustible 44. El controlador de flujo de combustible 44 está configurado para controlar la cantidad de combustible distribuido a la cámara de fusión 32.

**[0052]** La producción de gas reductor por el 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 formas de realización, se pueden utilizar otros tipos de intercambiadores de calor. En una forma, el sensor de detección de combustibles del gas reductor 86 se coloca en una posición posterior al intercambiador de calor 88. En otras formas, el sensor de detección de combustibles del gas reductor 86 puede colocarse en otras ubicaciones, por ejemplo, anterior al intercambiador de calor 88 o dentro del intercambiador de calor 88 o fijado en este.

**[0053]** La salida de presión del reactor catalítico 34 se mantiene mediante un regulador de contrapresión 90 posterior al intercambiador de calor 88. El intercambiador de calor 88 mantiene la temperatura del gas reductor después del reactor catalítico 34 con un nivel adecuado para impedir el daño al regulador de contrapresión 90. En una forma, el gas reductor se enfría hasta un intervalo de temperatura entre 100 °C y 150 °C utilizando aire de refrigeración. En otras formas de realización, se pueden utilizar otros fluidos adecuados tal como el disipador térmico y utilizarse otras temperaturas. En una forma, se puede utilizar un circuito de control (no mostrado) para controlar la temperatura del gas reductor que sale del intercambiador de calor 88 mediante la variación del flujo de aire de refrigeración u otro fluido de refrigeración.

**[0054]** La salida del generador de gas reductor 14 está acoplada flexiblemente al reactor catalítico 34 y está en comunicación fluida con el ánodo 20, p. ej., ya sea directamente o mediante el reformador 26. La salida del regulador de contrapresión 90 sirve como salida de gas reductor en la presente forma de realización y funciona para dirigir el gas reductor al ánodo 20 y al reformador 26. La "salida del gas reductor" es la salida del generador de gas reductor 14 que descarga el producto del generador de gas reductor 14 en la celda de combustible 12 y puede ser uno o más de cualquier abertura o paso diseñado para descargar los productos del generador de gas reductor 14.

**[0055]** 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 se estructura para controlar la composición química y la temperatura de la mezcla de producto suministrada desde el reactor catalítico 34 según la salida de señales del sensor de oxígeno 66 (durante el encendido en la presente forma de realización), el sensor de temperatura control 84 y el sensor de detección de combustibles del gas reductor 86. En concreto, la válvula de control de aire 58 se controla mediante el controlador de flujo de aire 60 con el fin de regular el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante suministrada a la cámara de fusión 32, p. ej., la cantidad de O<sub>2</sub> expresada como porcentaje molar del O<sub>2</sub> en la corriente oxidante. La válvula de control oxidante 62 se controla por el controlador de flujo de oxidante 64 con el fin de regular el flujo de la corriente oxidante formada por gas rico en nitrógeno y aire suministrado a la cámara de fusión 32. La válvula de control de combustible 46 se controla mediante el controlador de flujo de combustible 44 con el fin de regular la cantidad de combustible de hidrocarburo suministrado a la cámara de fusión 32.

**[0056]** Por lo tanto, en la presente forma de realización, el sistema de control 96 está configurado para controlar el contenido de oxígeno (O<sub>2</sub>) de la corriente oxidante y también para controlar 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 y la cantidad de combustible de hidrocarburo en la mezcla de alimentación, p. ej., el caudal másico de la corriente oxidante con respecto al caudal másico de la corriente de combustible de hidrocarburo. En concreto, el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante suministrada a la cámara de fusión 32 se controla mediante la válvula de control de aire 58 mediante la salida del controlador de flujo de aire 60 según la señal recibida del sensor de oxígeno 66. Además, la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación suministrada al reactor catalítico 34 se controla mediante 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 el controlador de flujo de oxidante 64, respectivamente. En una forma, el flujo de la producción de gas reductor por el generador de gas reductor 14 se controla mediante la válvula de control oxidante 62, p. ej., incluyendo una compensación o similar para representar la cantidad de combustible en la mezcla de alimentación, mientras que la relación oxidante/combustible se controla a continuación con la válvula de control de combustible 46. En otras formas de realización, se pueden utilizar otros sistemas de control.

**[0057]** En la presente forma de realización, cada uno de entre el controlador de flujo de combustible 44, el controlador de flujo de aire 60 y el controlador de flujo de oxidante 64 se basan en un microprocesador y ejecutan instrucciones de programa en forma de software con el fin de llevar las acciones descritas en el presente documento. Sin embargo, se contempla de forma alternativa que cada controlador y las correspondientes

instrucciones de programan estén en forma de cualquier combinación de software, firmware y hardware, y puedan reflejar la salida de dispositivos discretos y/o circuitos integrados, que pueden colocarse en una ubicación específica o distribuirse a través de más de una ubicación, incluyendo cualquier dispositivo digital y/o analógico configurado para conseguir los mismos resultados o similares como controladores basados en un procesador que ejecutan instrucciones basadas en software o firmware, sin alejarse del alcance de la presente invención. Además, se entenderá que cada uno de entre el controlador de flujo de combustible 44, el controlador de flujo de aire 60 y el controlador de flujo de oxidante 64 pueden ser parte de un único sistema de control integrado, p. ej., un microordenador, sin alejarse del alcance de la presente invención.

**[0058]** En cualquier caso, el sistema de control 96 está configurado para ejecutar instrucciones de programa para variar tanto el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante como la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación mientras se mantiene una temperatura seleccionada del gas reductor con el fin de conseguir un contenido de combustibles seleccionado con el caudal deseado. El caudal puede variarse, p. ej., dependiendo de la aplicación específica o fase de funcionamiento. El sistema de control 96 varía el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante y la relación de oxidante/combustible de la mezcla de alimentación según la salida del sensor de temperatura control 84, el sensor de oxígeno 66 y el sensor de detección de combustibles del gas reductor 86.

**[0059]** El generador de gas reductor 14 puede utilizarse durante el encendido y apagado de la celda de combustible 12, p. ej., para proporcionar gas reductor de diferentes fuerzas reductoras, incluido gas reductor en forma de gas seguro (no inflamable) y, en algunas formas de realización, para proporcionar un gas de purga sin combustibles.

**[0060]** El gas reductor se genera por la combinación de la corriente rica en nitrógeno con aire suministrado por la válvula de control de aire 58 con el fin de formar la corriente oxidante, que se regula mediante la válvula de control de oxidante 62 y se combina con el combustible de hidrocarburo suministrado mediante la válvula de control de combustible 46 con el fin de formar la mezcla de alimentación que se convierte de manera catalítica en el reactor catalítico 34 en el gas reductor. Tal y como se detalla en el presente documento, el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante y la relación de oxidante/combustible se varían mediante el sistema de control 96 con el fin de regular la temperatura control, p. ej., en el reactor catalítico 34, mientras también se controla la fuerza reductora del gas reductor con el fin de conseguir el contenido de combustibles seleccionado con el caudal deseado.

**[0061]** El contenido de combustibles puede elegirse con el fin de proporcionar la configuración química de gas reductor apropiada durante diferentes fases en los procesos de encendido y apagado de la celda de combustible 12. En la presente forma de realización, el sistema de control 96 se estructura para mantener la temperatura control, p. ej., la temperatura del catalizador 36, mientras se varía el contenido de combustibles. Por ejemplo, la fuerza reductora puede variarse desde una fuerza reductora débil, es decir, una fuerza reductora baja, con el fin de formar un gas seguro, hasta una fuerza reductora alta con un mayor contenido de combustibles. El contenido de combustibles se encuentra principalmente en forma de hidrógeno (H<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO).

**[0062]** El gas seguro puede suministrarse a la celda de combustible 12 durante el aumento de la temperatura de funcionamiento de la celda de combustible 12. En una forma, el gas reductor puede suministrarse a la celda de combustible 12 en forma de gas seguro para poner el reformador 26 en servicio. En otra forma, cuando la temperatura de funcionamiento de la celda de combustible 12 aumenta, p. ej., la temperatura del ánodo 20 y el reformador 26, se puede aumentar la fuerza del gas reductor mediante el aumento del contenido de combustibles del gas reductor, que puede proteger por tanto el ánodo 20 a temperaturas superiores a las que se puede producir una cantidad importante de daños por oxidación, p. ej., debido a la migración de oxígeno por el electrolito 22 u otras filtraciones. Además, cuando el ánodo 20 (y/o reformador 26, en algunas formas de realización) alcanza temperaturas de funcionamiento normales, el contenido de combustibles del gas reductor puede aumentarse de forma adicional con el fin de conseguir niveles de contenido de combustibles similares a los del gas de síntesis que produce el reformador 26 durante el funcionamiento de producción de energía normal de la celda de combustible 12 que puede ayudar a iniciar las reacciones de producción de energía eléctrica normales del ánodo 20. En formas de realización en las que se suministra al reformador 26, esto puede ayudar a iniciar las reacciones catalíticas de funcionamiento normal del reformador 26.

**[0063]** Con respecto al gas de purga, en algunas formas de realización, se puede generar un gas de purga no inflamable mediante el generador de nitrógeno 54 en forma de corriente rica en nitrógeno, p. ej., consistente principalmente en nitrógeno, que puede suministrarse a la celda de combustible 12 mediante el regulador de contrapresión 90, aunque se pueden utilizar de forma alternativa otros sistemas de tuberías para dirigir la salida del generador de nitrógeno 54 a la celda de combustible 12. En una forma, el gas de purga puede suministrarse a la celda de combustible 12, p. ej., para purgar uno o más de entre el cátodo 24, y/u otros componentes de la celda de combustible 12, p. ej., cuando se desee un inicio frío de la celda de combustible 12. En otra forma, el gas de purga puede suministrarse a la celda de combustible 12 para purgar la celda de combustible 12 antes del mantenimiento. En otra forma, el generador de nitrógeno 54 y/o segundo generador de nitrógeno puede utilizarse para crear gas de purga. Por ejemplo, en el caso de una pérdida del suministro de aire principal de la central

eléctrica durante un apagado de emergencia, se puede suministrar una purga del cátodo rico en nitrógeno al cátodo 24 con, p. ej., 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 reductor suministrado al circuito del ánodo 20. Tales formas de realización pueden utilizarse para asegurarse que las mezclas no inflamables "seguras" se encuentran en el recipiente de la celda de combustible 12.

**[0064]** Tras haber descrito medios de ejemplo para variar el contenido de combustibles de la producción de gas reductor por el reactor catalítico 34 mientras se mantiene una temperatura de salida de gas reductor constante del reactor catalítico 34, incluidos los medios para variar el contenido de O<sub>2</sub> en el oxidante suministrado a la cámara de fusión 32 y los medios para variar la relación oxidante/combustible que sale de la cámara de fusión 32, a continuación se describe una forma de realización de ejemplo de un método para generar un gas de purga y un gas reductor para el encendido y apagado de una celda de combustible. La forma de realización de ejemplo se describe con respecto a las figuras 3A-3D, que forman un diagrama de flujo con bloques control B100-B146 que representan un método para encender y apagar una celda de combustible. Aunque en el presente documento se ilustra y se describe una secuencia específica de acontecimientos, se entenderá que la presente invención no está limitada de este modo y que pueden utilizarse otras secuencias con las mismas acciones o diferentes con números menores o mayores y con el mismo orden o diferente sin alejarse del alcance de la presente invención.

**[0065]** Haciendo referencia ahora a la figura 3A, en el bloque B100, se recibe una orden para iniciar la celda de combustible 12 mediante el sistema de control 96, p. ej., mediante un operador de la celda de combustible 12.

**[0066]** En el bloque B102, se utiliza un sistema de derivación. El sistema de derivación abre una línea de ventilación para ventilar la salida del generador de gas reductor 14 y cierra la trayectoria de flujo a la celda de combustible 12. La salida del generador de gas reductor se ventila hasta que el circuito de control, p. ej., el sistema de control 96, mantiene los parámetros del proceso dentro de los límites preestablecidos, momento en el que el sistema de derivación cierra la línea de ventilación y abre la trayectoria de flujo a la celda de combustible 12.

**[0067]** A continuación, se suministra aire al generador de gas reductor 14, p. ej., por una entrada de aire 48, iniciando el funcionamiento del compresor de aire 50.

**[0068]** En el bloque B104, el compresor de aire 50 comprime el aire recibido desde la entrada de aire 48. En una forma, se comprime el aire hasta una presión que varía desde 5 bares de presión absoluta a 14 bares de presión absoluta. En otras formas de realización, la presión del aire comprimido puede encontrarse dentro de un intervalo diferente, por ejemplo, un intervalo que varía de 2 bares de presión absoluta a 25 bares de presión absoluta en algunas formas de realización y, en otras formas de realización, de 1 bar de presión absoluta a 30 bares de presión absoluta. 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.

**[0069]** En el bloque B106, la corriente de gas rico en nitrógeno se genera en el generador de nitrógeno 54 del generador de gas reductor 14 mediante el suministro de aire comprimido a la membrana de separación de nitrógeno 56. El O<sub>2</sub> extraído del aire por membrana de separación de nitrógeno 54 como un subproducto del proceso de generación de nitrógeno se dirige externamente, p. ej., para utilizarse en otra parte, o simplemente se ventila, mientras que la corriente resultante rica en nitrógeno se dirige hacia la válvula de control de oxidante 62. En la presente forma de realización, la corriente rica en nitrógeno contiene oxígeno, no obstante en niveles inferiores a los del aire ambiente. En otras formas de realización, la corriente de nitrógeno puede consistir básicamente en nitrógeno (p. ej., <1 % O<sub>2</sub>).

**[0070]** En el bloque B110, se añade aire comprimido a la corriente rica en nitrógeno de forma controlada mediante una válvula de control de aire 58 bajo la dirección del controlador de flujo de aire 60 con el fin de formar una corriente oxidante con bajo contenido de oxígeno (O<sub>2</sub>), es decir, una corriente oxidante con menos O<sub>2</sub> que el aire atmosférico.

**[0071]** En el bloque 112, se inicia un flujo de combustible de hidrocarburo al generador de gas reductor 14 mediante una válvula de control de combustible 46 bajo la dirección del control de flujo de combustible 44. El flujo de combustible puede establecerse inicialmente a un valor por defecto anticipado con el fin de conseguir el contenido de combustibles deseado del gas reductor y la temperatura control y puede ajustarse posteriormente.

**[0072]** En el bloque B114, la corriente oxidante se combina con la corriente de combustible de hidrocarburo en la cámara de fusión 32 con el fin de formar la mezcla de alimentación con la relación oxidante/combustible, p. ej., definida mediante la relación del caudal másico de la corriente oxidante en la mezcla de alimentación y el caudal másico de la corriente de combustible de hidrocarburo en la mezcla de alimentación.

**[0073]** Haciendo referencia ahora a la figura 3B, en el bloque B116, los dispositivos térmicos funcionan con una

temperatura por encima de la temperatura de activación del catalizador de la mezcla de alimentación o igual que esta y la salida de calor por los dispositivos térmicos se suministra a la mezcla de alimentación. En una forma, los dispositivos térmicos se encienden inmediatamente después de recibir la orden de iniciar la celda de combustible 12, p. ej., inmediatamente después del bloque B100. En otras formas de realización, los dispositivos térmicos pueden encenderse en otros momentos adecuados para la aplicación, p. ej., dependiendo de cuánto tiempo le lleve a los calentadores alcanzar la temperatura deseada. En la presente forma de realización, los dispositivos térmicos son el calentador de la mezcla de alimentación 74 y el calentador 80, aunque en otras formas de realización, se puede utilizar solo un calentador o una pluralidad de calentadores en lugar de uno o ambos de entre el calentador de mezcla de alimentación 74 y el calentador 80 o además de estos. Los tipos o formas de calentadores utilizados en otras formas de realización pueden variar según las necesidades de la aplicación.

**[0074]** El cuerpo térmico 76 y la bobina de flujo 78 se mantienen a la temperatura de la temperatura de activación del catalizador de la mezcla de alimentación o por encima de ella. El calor del cuerpo térmico 76 y la bobina de flujo 78 se suministran a la mezcla de alimentación mediante la desviación de la mezcla de alimentación por el calentador de la mezcla de alimentación 74, en concreto, la bobina de flujo 78. En una forma, toda la mezcla de alimentación se desvía por el calentador de la mezcla de alimentación 74. En otra forma, una parte de la mezcla de alimentación se desvía por el calentador de la mezcla de alimentación 74. La mezcla de alimentación se desvía por la bobina de flujo 78 mediante el control de la salida de la válvula de control de inicio con el fin de hacer funcionar los elementos de válvula 70 y 72. La mezcla de alimentación calentada resultante se dirige al catalizador 36 del reactor catalítico 34 con el fin de ayudar a iniciar las reacciones catalíticas que producen el gas reductor. Una vez las reacciones catalíticas en el reactor catalítico 34 han empezado, la válvula de control de inicio de tres vías se reorienta para dirigir toda la mezcla de alimentación directamente al reactor catalítico 34, pasando por el calentador de mezcla de alimentación 74. Aunque la presente solicitud se describe utilizando un calentador de mezcla de alimentación 74 con un cuerpo térmico 76 y una bobina de flujo 78, se entenderá que se pueden utilizar otros tipos de calentadores en formas de realización que utilizan un calentador de mezcla de flujo.

**[0075]** El calentador 80 de la presente forma de realización se encuentra en forma de resistencia de abrazadera eléctrica y mantiene el catalizador 36 a la temperatura de activación del catalizador de la mezcla de alimentación o por encima de esta, lo que promueve la rápida activación (y por tanto, reactivación) del catalizador 36. Se entenderá que se pueden utilizar otros tipos de calentadores sin alejarse del alcance de la presente invención.

**[0076]** En otras formas de realización, el calentador 82 puede utilizarse para calentar el catalizador 36 en la ubicación en la que se suministra la mezcla de alimentación al catalizador 36 o cerca de ella con el fin de iniciar las reacciones catalíticas. En diferentes formas de realización, se pueden utilizar uno o más calentadores 82 en lugar de los calentadores 74 y 80 o además de estos.

**[0077]** En el bloque B118, la mezcla de alimentación calentada se dirige al catalizador 36 donde se inician las reacciones catalíticas. En una forma, las reacciones catalíticas se inician según el calor recibido desde el calentador de la mezcla de alimentación 74. En otras formas diferentes, se pueden iniciar las reacciones según el calor recibido del calor de la mezcla de alimentación 74 y/o el calentador 80 y/o calentador 82).

**[0078]** En el bloque B120, la mezcla de alimentación se convierte de forma catalítica en gas reductor en el reactor catalítico 34 del generador de gas reductor 14.

**[0079]** En el bloque B122, el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante y la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación se controla mediante el sistema de control 96 con el fin de mantener la temperatura control seleccionada del gas reductor y para producir el gas reductor en forma de gas seguro. En una forma, el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante se controla mediante el controlador de flujo de aire 60 que dirige el funcionamiento de la válvula de control de aire 58 aunque en otras formas de realización, el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante puede controlarse de forma diferente. En una forma, la relación oxidante/combustible se controla mediante el controlador de flujo de combustible 44 que dirige el funcionamiento de la respectiva válvula de control de combustible 46, aunque en otras formas de realización, la relación oxidante/combustible puede controlarse de forma diferente. Antes de alcanzar la temperatura control, el control del contenido de O<sub>2</sub> puede basarse en la salida del sensor de oxígeno 66. Una vez se ha conseguido la temperatura que indica la combustión catalítica, el algoritmo de control cambia la retroalimentación en función del sensor de temperatura control 84. La temperatura control en algunas formas de alimentación puede ser, por ejemplo, una función del caudal del gas reductor (carga del catalizador), del tiempo en funcionamiento o algún otro parámetro de funcionamiento. En otras formas de realización, la salida del sensor de oxígeno 66 y del sensor de temperatura control 84 o ambos puede utilizarse durante el encendido del sistema y/o funcionamiento normal.

**[0080]** El caudal de la mezcla de alimentación se controla principalmente mediante el controlador de flujo oxidante 64 que dirige el funcionamiento de la válvula de control de oxidante 62. En la forma de gas seguro, es decir, una mezcla de gas reductor débil, el gas reductor puede presentar un contenido de combustibles (p. ej., CO+H<sub>2</sub> predominantemente) de aproximadamente 4,5 %. Se pueden utilizar otros gases con porcentajes de contenido de combustibles superiores o inferiores sin alejarse del alcance de la presente invención.

**[0081]** Puesto que el flujo másico de la mezcla de alimentación se basa principalmente en el caudal de la corriente de flujo oxidante, el flujo total de la mezcla de alimentación y, por tanto, la producción de gas reductor por el generador de gas reductor 14 se basa principalmente en el caudal de la corriente de flujo de control de oxidante regulado por el controlador de flujo de oxidante 64. La temperatura control seleccionada en la presente forma de realización es 800 °C, que se mide con uno de los puntos más calientes en el catalizador 36 y que en la presente forma de realización produce una temperatura media de 770 °C. La temperatura elegida en la presente forma de realización es un valor de temperatura predeterminada elegido según consideraciones de los componentes del generador de gas reductor 14 y la celda de combustible 12, así como la eficacia de la conversión catalítica. Se pueden utilizar otros valores de temperatura y ubicaciones de medición en otras formas de realización.

**[0082]** En el bloque B124, el sistema de derivación se desconecta del modo derivación y, por tanto, el gas reductor en forma de gas seguro se dirige del generador de gas reductor 14 al ánodo 20 de la celda de combustible 12. En otras formas de realización, el gas seguro puede dirigirse al reformador 26.

**[0083]** Haciendo referencia ahora a la figura 3C, se ilustra un bloque B126. En una forma, el bloque B126 se desvía y el flujo de proceso pasa directamente al bloque B128. En otra forma, en el bloque B126 el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante y la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación se controlan para variar de forma selectiva la fuerza reductora del gas reductor mediante la variación selectiva del contenido de combustibles del gas reductor mientras se mantiene la temperatura seleccionada del gas reductor del bloque B122. Tal y como se detalla anteriormente con respecto al bloque B122, en una forma, el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante se controla mediante el controlador de flujo de aire 60 que dirige el funcionamiento de la válvula de control de aire 58. En otras formas, el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante puede controlarse de forma diferente. En una forma, la relación oxidante/combustible se controla principalmente mediante el controlador de flujo de combustible 44 y el flujo de gas reductor se controla principalmente mediante el controlador de flujo oxidante 64 que dirige el funcionamiento de la válvula de control de oxidante 62. En otras formas, la relación oxidante/combustible y el caudal de gas reductor pueden controlarse de forma diferente.

**[0084]** A continuación se describe el control del contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante y la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación para variar de forma selectiva la fuerza reductora del gas reductor mientras se mantiene la temperatura y el caudal seleccionados de la producción de gas reductor por el reactor catalítico 34 en la presente forma de realización.

**[0085]** El generador de gas reductor 14 convierte de forma catalítica el oxidante con bajo contenido de O<sub>2</sub> y el combustible de hidrocarburo con el fin de formar gas reductor con suficiente contenido de combustibles para proteger el ánodo 20 de la celda de combustible 12 durante el encendido y apagado del la central eléctrica con sistema de celdas de combustible 10. Al regular el contenido de O<sub>2</sub> del gas oxidante junto con el cambio de la relación oxidante/combustible, la fuerza del gas reductor se puede cambiar mientras la temperatura de funcionamiento del catalizador se mantenga constante, p. ej., con una temperatura de conversión ideal. Esta temperatura se detecta mediante el sensor de temperatura control 84 y se utiliza como entrada al sistema de control 96 para utilizarse en el mantenimiento de la temperatura de salida del reactor catalítico 34 con la temperatura seleccionada.

**[0086]** Haciendo referencia ahora a la figura 4, se representa un ejemplo de los parámetros del reactor catalítico 34. Los parámetros ilustrados incluyen el caudal másico de la corriente oxidante 100; el caudal másico de la corriente de combustible de hidrocarburo 102; el aire en porcentaje (%) estequiométrico que representa el porcentaje de la cantidad de aire en la corriente oxidante en relación con la cantidad de aire necesaria para completar la combustión de la corriente de combustible de hidrocarburo y la relación oxígeno/carbono (O<sub>2</sub>/C) 106. En el gráfico de la figura 4, la abscisa es el contenido de H<sub>2</sub> del gas reductor, la ordenada de la izquierda se encuentra en unidades de porcentaje y también en gramos por segundo (g/s), frente a los cuales se muestra el aire en % estequiométrico 104 y el caudal másico de la corriente oxidante 100. La ordenada de la derecha se encuentra en unidades tanto de fracción molar como g/s, frente a las cuales se muestra la relación O<sub>2</sub>/C 106 y el caudal másico de la corriente de combustible de hidrocarburo 102.

**[0087]** La figura 4 ilustra los parámetros de funcionamiento del reactor catalítico 34 sobre un intervalo de composición de gas reductor del 2 % al 20 % de H<sub>2</sub> y del 1 % a 10 % de CO (de 3 % a 30 % de CO+H<sub>2</sub>). Con el fin de producir un contenido de combustibles superior (CO+H<sub>2</sub>), se aumenta el contenido de O<sub>2</sub> en el oxidante. Con una relación de oxidante/combustible constante de la mezcla de alimentación, p. ej., la relación aire y combustible, el hecho de aumentar el contenido de O<sub>2</sub> en la corriente oxidante reduce los combustibles y aumenta la temperatura de funcionamiento. Sin embargo, en la presente forma de realización, cuando se aumenta el contenido de O<sub>2</sub> en la corriente oxidante, la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación disminuye simultáneamente, es decir, se hace más rica en combustible, con el fin de conseguir un mayor contenido de combustibles con la misma temperatura de funcionamiento.

**[0088]** Al variar tanto el contenido de O<sub>2</sub> en la corriente oxidante como la relación de oxidante/combustible de la

mezcla de alimentación, se puede conseguir un amplio intervalo de fuerzas de gas reductor con una temperatura de funcionamiento del catalizador seleccionada, p. ej., 770 °C en la presente forma de realización. Por ejemplo, en una forma, el intervalo puede extenderse desde una fuerza de gas reductor que representa condiciones de funcionamiento normales para el reformador 26 (~45 % CO+H<sub>2</sub>) a condiciones reductoras débiles (~3 % CO+H<sub>2</sub>). En otras formas, se pueden utilizar diferentes intervalos p. ej., tal y como se detalla en el presente documento.

**[0089]** Cuando se alcanza el contenido de 20 % de H<sub>2</sub> en el gas reductor, las condiciones en el reactor catalítico 34 pueden alcanzar las que se dan normalmente en el reformador 26 en modo de producción de energía cuando el oxidante alcanza el aire con respecto al % de contenido de O<sub>2</sub> y la relación molar de O<sub>2</sub> y C llega a 0,65. Cuando el gas reductor se vuelve más rico en combustibles, el flujo de combustible puede aumentar mediante un factor de aproximadamente 4 a 20 % de H<sub>2</sub> en relación con las condiciones reductoras débiles. El porcentaje de combustible quemado puede disminuir de forma significativa cuando las condiciones alcanzan las del reformador 26. La temperatura puede mantenerse puesto que el porcentaje inferior de oxígeno de combustión se compensa mediante la combinación del caudal de combustible elevado y la disipación térmica disminuida mediante una menor dilución de N<sub>2</sub> en el oxidante. Así, aunque la concentración de O<sub>2</sub> en el oxidante aumenta para una fuerza reductora aumentada, como porcentaje de oxígeno necesario para consumir completamente el combustible, el nivel de oxígeno disminuye. En la presente forma de realización, el porcentaje del contenido de CO es aproximadamente ½ del porcentaje del contenido de H<sub>2</sub> con la temperatura de funcionamiento deseada y, por tanto, el contenido de combustibles del gas reductor es aproximadamente 1,5 veces el porcentaje del contenido de H<sub>2</sub> en el gas reductor. Aunque se describe en la presente solicitud con respecto a un sistema de la celda de combustible, se entenderá que el generador de gas reductor 14 se puede aplicar igualmente a otros sistemas, tal como sistemas para generar gas reductor con otros fines.

**[0090]** Haciendo referencia ahora a la figura 3C, en el bloque B128, el gas reductor se suministra al reformador 26 y al ánodo 20, p. ej., mediante el reformador 26.

**[0091]** En el bloque B130, se inicia una transición de la celda de combustible 12 al modo de producción de energía, que incluye el suministro a la celda de combustible 12 de flujos del combustible primario y del oxidante primario que se proporcionan normalmente a la celda de combustible 12 para su funcionamiento en modo de producción de energía, a diferencia del oxidante y el combustible de hidrocarburo proporcionado al generador de gas reductor 14 con el fin de generar gas reductor para utilizarlo durante el encendido o apagado de la celda de combustible 12. La transición al modo de producción de energía también incluye el calentamiento de partes de la celda de combustible 12, incluidos el ánodo 20 y el reformador 26 a una temperatura de funcionamiento normal de manera controlada con el fin de reducir las tensiones mecánicas que podrían resultar de los gradientes térmicos dentro de tales componentes y entre ellos. El calentamiento de la celda de combustible 12 puede llevarse a cabo antes, durante y después del suministro de gas reductor a la celda de combustible 12 y puede llevarse a cabo hasta que se consigan las temperaturas de funcionamiento satisfactorias en dichas partes, p. ej., el ánodo 20 y el reformador 26. Durante la transición al modo de producción de energía, el sistema de derivación puede cambiarse al modo de derivación.

**[0092]** En el bloque B132, la celda de combustible 12 funciona en modo de producción de energía, es decir, el modo de funcionamiento normal, para suministrar energía a la carga eléctrica 16.

**[0093]** En el bloque B134, se finalizan el flujo de aire y el flujo de combustible suministrado al generador de gas reductor 14, terminando la producción de gas reductor por el generador de gas reductor 14.

**[0094]** Haciendo referencia ahora a la figura 3D, en el bloque B136, la temperatura del dispositivo térmico se mantiene a la temperatura requerida para iniciar la reacción catalítica de la mezcla de alimentación en el catalizador 36 o por encima de esta. Esta temperatura se mantiene durante el funcionamiento de la celda de combustible en el modo de producción de energía, p. ej., con el fin de proporcionar un reinicio rápido del generador de gas reductor 14, incluido el reinicio rápido del catalizador 36, en caso de que sea necesario apagar la celda de combustible 12.

**[0095]** En el bloque B138, se recibe por parte del sistema de control 96 una orden para apagar la celda de combustible 12 desde el modo de producción de energía, p. ej., mediante una entrada humana o un proceso automatizado. Cabe destacar que en algunas formas de realización, el bloque B136 puede llevarse a cabo tras la recepción de la orden de apagado de la celda de combustible 12. Por ejemplo, en algunas formas de realización, el dispositivo térmico puede no calentarse a la temperatura de activación catalítica o por encima de esta hasta que se reciba la orden de apagado de la celda de combustible 12.

**[0096]** En el bloque B140, el generador de gas reductor 14 genera gas reductor como respuesta a la orden, p. ej., llevando a cabo alguna o todas las acciones indicadas anteriormente con respecto a los bloques B102 a B128, incluido el control del contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante y la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación para variar de forma selectiva la fuerza reductora del gas reductor variando de forma

selectiva el contenido de combustibles del gas reductor hasta un nivel deseado mientras se mantiene una temperatura seleccionada, p. ej., la temperatura seleccionada del bloque B122, anterior.

**[0097]** En el bloque B142, el gas reductor generado por el generador de gas reductor 14 se suministra al ánodo 20 de la celda de combustible 12 desconectado el sistema de derivación del modo de derivación. Esto puede ayudar a impedir daños por oxidación al ánodo 20 durante el apagado de la celda de combustible 12. Inicialmente, el gas reductor puede presentar una alta fuerza reductora, que puede disminuirse cuando la temperatura de la celda de combustible 12 disminuye.

**[0098]** En el bloque B144, se inicia una transición de la celda de combustible 12 fuera del modo de producción de energía, incluida la reducción gradual del flujo al ánodo 20 del combustible primario que normalmente se suministra durante el funcionamiento en modo de producción de energía.

**[0099]** En el bloque B146, se finalizan el flujo de aire y el flujo de combustible suministrados al generador de gas reductor 14, lo que concluye la producción de gas reductor por el generador de gas reductor. 14. El bloque B146 puede ejecutarse una vez que el ánodo 20 se haya enfriado lo suficiente hasta una temperatura en la que cual el daño por oxidación no sea una preocupación, lo que puede variar con los materiales utilizados para fabricar el ánodo 20.

**[0100]** Un generador de gas reductor para utilizarse de acuerdo con algunas formas de realización 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 segregar oxígeno del nitrógeno a través de una fibra polimérica. Tales formas de realización pueden excluir la necesidad de nitrógeno embotellado. En otras formas de realización, se pueden utilizar otras fuentes de nitrógeno. El gas producto es una corriente rica en nitrógeno en la que se agota el oxígeno. Una válvula de derivación de posición variable puede desviar una corriente relativamente pequeña de aire suministrado alrededor del generador de nitrógeno para mezclarla con la corriente rica en nitrógeno. En algunas formas de realización, el flujo de derivación es directamente proporcional al contenido de oxígeno final de las corrientes mezcladas. Se puede denominar a la corriente mezclada de gas producto rico en nitrógeno y aire de derivación como corriente oxidante, que pasa por un dispositivo de control de flujo que configura el flujo de oxidante en el proceso. La válvula de derivación controla las proporciones de aire de derivación y de gas rico en nitrógeno para conseguir el contenido de oxígeno deseado de la corriente oxidante.

**[0101]** Se puede medir una cantidad relativamente pequeña de combustible de hidrocarburo en la corriente oxidante a través de un dispositivo de control de flujo. En un modo de flujo en estado estacionario, la mezcla de combustible y oxidante mezclada previamente se suministra directamente en el reactor catalítico que convierte la mezcla de alimentación en gas reductor. Comparada con la combustión ordinaria en el aire, la corriente oxidante con contenido reducido de oxígeno puede traducirse en menos combustible por unidad de producción de combustibles en el gas reductor. De este modo, la entrada de energía química necesaria (es decir, la carga térmica debido a la entrada de combustible) por unidad de producción de combustibles (p. ej., H<sub>2</sub> y CO) también puede disminuirse, y por tanto, puede que se necesite extraer menos calor del gas de proceso para enfriar la corriente del producto hasta una temperatura requerida. La dilución de nitrógeno de la corriente oxidante puede también disminuir la temperatura de reacción al intervalo que sea preferible para el catalizador y puede no exceder los límites de material en el intercambiador de calor posterior. A diferencia de las formas de realización de la presente invención, un reactor diseñado para la combustión con aire normal (a diferencia del oxidante rico en nitrógeno utilizado en formas de realización de la presente invención) con la escala requerida podría resultar complejo y podría requerir camisas de refrigeración que podrían requerir un refrigerante líquido o por otro lado un flujo volumétrico muy elevado de gas refrigerante y, por lo tanto, presentaría una carga térmica relativamente grande para proteger los materiales del reactor de la temperatura excesiva. Por el contrario, el reactor catalítico de algunas formas de realización de la presente invención puede diseñarse para que funcione con una temperatura inferior sin necesidad de un enfriamiento externo.

**[0102]** La oxidación del combustible con un oxidante vacío de oxígeno puede proporcionar un intervalo determinado de concentración de combustibles (o flujo molar) por encima de un intervalo más amplio de la relación aire y combustible con respecto a la combustión ordinaria con aire, lo que hace que sea más fácil conseguir el control del contenido de combustibles.

**[0103]** El termopar o termopares pueden controlar la temperatura de salida en la salida del catalizador. El termopar puede actuar como la entrada de control para la válvula de derivación de aire. Si la temperatura de salida estuviera muy por debajo del punto establecido, una señal de control abriría la derivación por alguna cantidad puesto que una corriente oxidante con una proporción superior de O<sub>2</sub> eleva la temperatura de salida (oxidando más combustible) y viceversa. La temperatura de referencia se establece lo bastante alto como para conseguir la conversión completa de la mezcla de alimentación inflamable en composición de gas equilibrada, pero no demasiado alto como para alcanzar temperaturas límite de funcionamiento del material tanto para el catalizador como para el intercambiador de calor posterior.

5 **[0104]** Un sensor de oxígeno 66 puede medir el contenido de oxígeno en función del volumen de la corriente oxidante después del punto de mezcla para el aire de derivación y la corriente rica en nitrógeno que sale del generador de nitrógeno. Una forma de realización alternativa puede utilizar la concentración de oxígeno medida en lugar de la temperatura de salida para colocar la válvula de control de derivación de aire de forma que la temperatura de salida se mantenga a un valor de referencia. Esto puede ser preferible en el encendido antes de que la temperatura de salida de un reactor en estado estacionario representativo esté disponible para establecer la posición de la válvula de derivación.

10 **[0105]** El sensor de oxígeno puede ser un pequeño sensor de circonita que se mantiene a una alta temperatura, p. ej., alrededor de 600 °C para algunas formas de realización, que desarrolla un potencial de Nernst cuando se expone a oxígeno, lo cual está relacionado con el contenido de oxígeno del gas. El sensor puede ubicarse in situ. Sin embargo, el sensor puede sumergirse de forma alternativa en una pequeña estela controlada que se desplaza de la línea de proceso principal a través de un orificio de flujo crítico. El software de control puede dictar la relación entre la desviación del contenido de oxígeno medido a partir del valor objetivo y la cantidad gradual que se abre la válvula de derivación como resultado. El sensor puede presentar una respuesta rápida a los cambios en el contenido de oxígeno del gas de proceso y, por lo tanto, los parámetros de ajustes optimizados en el circuito de control de la válvula de derivación de aire pueden proporcionar un control más fiable sobre un intervalo más amplio de condiciones.

20 **[0106]** El intercambiador de calor posterior enfría el gas reductor a una temperatura que sea necesaria para la introducción del gas reductor en el proceso posterior. Un circuito de control de temperatura puede variar un flujo de aire de enfriamiento u otro medio de enfriamiento en el intercambiador de calor en función de la desviación de la temperatura de salida del catalizador a partir de la temperatura de referencia del gas de salida. El intercambiador de calor puede ser un diseño de cerámica o acero de aleación compacto para soportar la temperatura del gas que sale del catalizador.

25 **[0107]** Un sensor de combustibles o hidrógeno puede extraer una estela del gas de proceso después del intercambiador de calor para medir el porcentaje de volumen de hidrógeno o combustibles como constituyente del gas reductor. El software de control puede comparar el % de H<sub>2</sub> medido con un valor de referencia y en función de la diferencia enviar una señal de control a la válvula de control de combustible. Si el % de H<sub>2</sub> medido se desvía muy por debajo del punto de referencia, el suministro de combustible se aumentaría y viceversa. El software de control puede dictar la relación entre la desviación del % de H<sub>2</sub> medido con el % de H<sub>2</sub> objetivo y la cantidad gradual que se abre o cierra la válvula de combustible.

30 **[0108]** Un enfoque para medir de forma continua el hidrógeno emplea un sensor de hidrógeno termoconductor calibrado sobre un intervalo aceptable de contenido de hidrógeno para el gas reductor. Parecido al sensor de oxígeno, se puede utilizar un orificio de flujo crítico como forma relativamente barata y simple de medir una estela muy pequeña de gas reductor en el flujo de gas de muestra correcto hacia el sensor.

35 **[0109]** También puede proporcionarse mediante formas de realización de la presente invención un método para el reinicio rápido del catalizador a partir de un estado de espera para volver a activar el generador de gas reductor tan pronto como sea posible en casos imprevistos dentro del sistema de la celda de combustible que requerirán un suministro inmediato de gas reductor seguro. Una capacidad de reinicio rápido puede evitar la necesidad de almacenamiento embotellado de un gas reductor necesario para salvar la distancia entre el tiempo en el que se solicita el gas y el tiempo necesario para volver a activar el generador de gas reductor. Un método de reinicio rápido puede utilizar un calentador con una masa térmica alta ubicada justo antes del reactor catalítico y, p. ej., un par de válvulas o una válvula de tres vías para desviar el flujo de la mezcla de alimentación por el calentador. Durante el funcionamiento normal la válvula dirige la mezcla directamente al reactor catalítico. En el encendido, el flujo puede dirigirse por el calentador. En ausencia de flujo, p. ej., bajo condiciones inactivas del generador de gas reductor, el calentador se suministra de forma continua con la suficiente energía para mantener el metal a la temperatura de precalentamiento deseada mientras se equilibra una pérdida de calor relativamente pequeña y, por tanto, esta demanda de energía puede ser pequeña. Dentro del calentador, se puede envolver una bobina de flujo con un cuerpo metálico. El calentador puede contener suficiente masa térmica de forma que cuando se inicie el flujo tras el intento de reinicio, la corriente de proceso adquiera inmediatamente la temperatura de ignición objetivo.

45 **[0110]** Un diseño como tal puede ser relativamente seguro porque puede conseguir un buen aislamiento eléctrico entre la mezcla inflamable y el suministro de energía que actúa en el cuerpo metálico. Antes de la secuencia de reinicio, el calentador regula la energía en el metal interno a la temperatura necesaria antes de la introducción de flujo y únicamente debe mantener la energía para compensar la pérdida de calor en el aislamiento circundante en este estado.

50 **[0111]** En un intento de encendido, se puede aumentar la energía de forma inmediata para mantener o elevar la temperatura de precalentamiento establecida hasta que se consiga la reacción de la mezcla de alimentación del catalizador. Una vez se ha conseguido esto, p. ej., según se indica mediante un aumento suficiente de la

temperatura en la salida del catalizador, el flujo puede desviarse alrededor del calentador de ignición directamente al catalizador (en modo de flujo de funcionamiento normal) con el fin de impedir el precalentamiento del catalizador.

5 **[0112]** Para fomentar el reinicio rápido, las resistencias de abrazadera pueden proporcionar una fuente de calor adicional. Las resistencias de abrazadera pueden rodear el reactor del catalizador para mantener el catalizador a la temperatura de activación del catalizador o por encima de esta antes de iniciar el flujo en el encendido. Antes del encendido, las resistencias de abrazadera proporcionarían preferiblemente la energía para compensar la pérdida de calor en el aislamiento alrededor de las resistencias de abrazadera. Una vez se ha encendido el catalizador, las resistencias de abrazadera pueden apagarse cuando la temperatura de la piel aumenta por encima de la temperatura de referencia de los calentadores. La energía al calentador puede apagarse o reducirse para mantener la masa térmica del calentador a la temperatura de referencia para el próximo reinicio.

10 **[0113]** Otras formas de realización alternativas simplificarían el sistema de calentamiento al utilizar un calentador acoplado estrechamente a la entrada del catalizador. Este enfoque puede utilizar un calentador de masa térmica baja que podría iniciar localmente la reacción cerca del lado frontal del catalizador mediante un acoplamiento térmico cercano, que en tales formas de realización puede reducir de forma potencial el número de piezas y el coste del generador de gas reductor.

15 **[0114]** En una forma de realización adicional, el generador de gas reductor puede reemplazar el reformador interno por el sistema de la celda de combustible para aquellas formas de realización en las que el generador de gas reductor se estructura para producir un gas reductor que sea adecuado para la producción de energía en el sistema de la celda de combustible. En algunas formas de realización, el generador de gas reductor puede utilizarse para producir un gas reductor de una composición para el encendido y apagado del sistema de la celda de combustible y para producir un gas reductor de una composición diferente para el funcionamiento normal del sistema de la celda de combustible.

20 **[0115]** Las formas de realización de la presente invención incluyen un método para el encendido y apagado de una celda de combustible que utiliza un generador de gas reductor que incluye la etapa de recibir aire en una entrada de aire del generador de gas reductor; generar una corriente oxidante de bajo contenido de oxígeno (O<sub>2</sub>) con un contenido de oxígeno inferior al del aire atmosférico bajo las mismas condiciones de presión y temperatura utilizando al menos en parte aire recibido de la entrada de aire; iniciar el flujo de una corriente de combustible de hidrocarburo en el generador de gas reductor; combinar la corriente de combustible de hidrocarburo con la corriente oxidante de bajo contenido de O<sub>2</sub> para producir una mezcla de alimentación; dirigir la mezcla de alimentación a un catalizador; convertir de forma catalítica la mezcla de alimentación en un gas reductor; dirigir el gas reductor a al menos uno de entre un ánodo y un reformador de la celda de combustible e iniciar una transición de la celda de combustible a un modo de producción de energía o una transición de la celda de combustible fuera del modo de producción de energía.

25 **[0116]** Una mejora de la forma de realización puede incluir la transición de la celda de combustible al modo de producción de energía que puede incluir el suministro de flujos de un combustible primario y un oxidante primario a la celda de combustible. La transición de la celda de combustible fuera del modo de producción de energía puede incluir la finalización de los flujos del combustible primario y el oxidante primario a la celda de combustible.

30 **[0117]** Otra mejora de la forma de realización puede incluir el hecho de dirigir el gas reductor al ánodo de la celda de combustible que puede incluir el hecho de dirigir el gas reductor al ánodo por el reformador.

**[0118]** Otra mejora de la forma de realización puede incluir el hecho de generar una corriente rica en nitrógeno a partir del aire recibido de la entrada de aire. La corriente rica en nitrógeno puede formar al menos una parte de la corriente oxidante de bajo contenido de oxígeno (O<sub>2</sub>).

35 **[0119]** Otra mejora de la forma de realización puede incluir el mantenimiento de una temperatura control seleccionada mediante la variación independiente tanto del contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante como de la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación.

**[0120]** Otra mejora de la forma de realización puede incluir la detección de la temperatura control.

**[0121]** Otra mejora de la forma de realización puede incluir el control de la temperatura control seleccionada en función de la temperatura control detectada.

40 **[0122]** Otra mejora de la forma de realización puede incluir la detección del contenido de O<sub>2</sub> en al menos uno de entre la corriente oxidante y la mezcla de alimentación.

**[0123]** Otra mejora de la forma de realización puede incluir el control de la temperatura control seleccionada en función del contenido de O<sub>2</sub> detectado.

- [0124] Otra mejora de la forma de realización puede incluir la detección del contenido de combustibles en el gas reductor.
- [0125] Otra mejora de la forma de realización puede incluir el control de la temperatura control seleccionada en función del contenido de combustibles detectado.
- 5 [0126] Otra mejora de la forma de realización puede incluir el control del caudal de la mezcla de alimentación mientras se lleva a cabo el mantenimiento de la temperatura control seleccionada mediante la variación tanto del contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante como de la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación.
- [0127] Otra mejora de la forma de realización puede incluir la variación selectiva del contenido de combustibles del gas reductor mientras se mantiene una temperatura control seleccionada mediante la variación independiente tanto del contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante como de la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación.
- 10 [0128] Otra mejora de la forma de realización puede incluir la detección de la temperatura control.
- [0129] Otra mejora de la forma de realización puede incluir la variación selectiva del contenido de combustibles del gas reductor mientras que el mantenimiento de la temperatura control seleccionada se lleva a cabo en función de la temperatura control detectada.
- 15 [0130] Otra mejora de la forma de realización puede incluir la detección del contenido de O<sub>2</sub> en al menos uno de entre la corriente oxidante y la mezcla de alimentación.
- [0131] Otra mejora de la forma de realización puede incluir la variación selectiva del contenido de combustibles del gas reductor mientras se mantiene la temperatura control seleccionada en función del contenido de O<sub>2</sub> detectado.
- 20 [0132] Otra mejora de la forma de realización puede incluir la detección del contenido de combustibles en el gas reductor.
- [0133] Otra mejora de la forma de realización puede incluir la variación selectiva del contenido de combustibles del gas reductor mientras se mantiene la temperatura control seleccionada en función del contenido de combustibles detectado.
- 25 [0134] Otra mejora de la forma de realización puede incluir el control del caudal de la mezcla de alimentación mientras se lleva a cabo la variación selectiva del contenido de combustibles del gas reductor mientras se mantiene la temperatura control elegida.
- [0135] Otra mejora de la forma de realización puede incluir la etapa en la que el gas reductor se produce inicialmente como gas seguro dirigido a la celda de combustible durante la transición de la celda de combustible al modo de producción de energía, que comprende además el aumento de la fuerza reductora del gas reductor mediante el aumento del contenido de combustibles del gas reductor.
- 30 [0136] Otra mejora de la forma de realización puede incluir el calentamiento de al menos una parte de la mezcla de alimentación; la dirección de la mezcla de alimentación calentada al catalizador y el calentamiento del catalizador utilizando la mezcla de alimentación calentada.
- 35 [0137] Otra mejora de la forma de realización puede incluir el mantenimiento de una superficie a una temperatura de precalentamiento, una de entre la temperatura de activación del catalizador de la mezcla de alimentación o por encima de esta; y la dirección de la al menos una parte de la mezcla de alimentación por la superficie con el fin de llevar a cabo el calentamiento.
- 40 [0138] Otra mejora de la forma de realización puede incluir la preparación para el apagado de la celda de combustible manteniendo la superficie a la temperatura de precalentamiento mientras la celda de combustible funciona en modo de producción de energía.
- [0139] Otra mejora de la forma de realización puede incluir el calentamiento del catalizador a una temperatura de precalentamiento configurado para la autoignición catalítica de la mezcla de alimentación (p. ej., la temperatura de activación catalítica) antes de dirigir la mezcla de alimentación al catalizador.
- 45 [0140] Otra mejora de la forma de realización puede incluir el calentamiento de al menos una parte de la mezcla de alimentación antes de dirigir la mezcla de alimentación al catalizador.
- [0141] Otra mejora de la forma de realización puede incluir el hecho de generar una corriente rica en nitrógeno a partir del aire recibido de la entrada de aire y dirigir al menos parte de la corriente rica en nitrógeno para purgar

un componente asociado a la celda de combustible.

**[0142]** Otra mejora de la forma de realización puede ser la corriente oxidante que incluye un gas inerte elegido del grupo consistente en nitrógeno, argón y helio.

5 **[0143]** En el presente documento se expone un método para generar un gas reductor con un contenido de combustibles variable. El método para generar un gas reductor con un contenido de combustibles variable puede incluir la disposición de una corriente oxidante rica en nitrógeno. La corriente oxidante puede presentar un contenido de nitrógeno superior al del aire ambiente. La corriente oxidante puede también presentar una contenido de oxígeno (O<sub>2</sub>). El método para generar un gas reductor con un contenido de combustibles variable puede también incluir la disposición de una corriente de combustible de hidrocarburo, combinando la corriente de combustible de hidrocarburo y la corriente oxidante en la mezcla de alimentación, presentando la mezcla de alimentación una relación oxidante/combustible y haciendo reaccionar la mezcla de alimentación en el reactor catalítico para generar el gas reductor. El método para generar un gas reductor con un contenido de combustibles variable puede también incluir el control tanto del contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante como de la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación para mantener una temperatura control predeterminada mientras también se varía de forma independiente tanto el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante como la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación para obtener un contenido de combustibles seleccionado del gas reductor.

**[0144]** Una mejora puede incluir el suministro del gas reductor a la celda de combustible.

20 **[0145]** Otra mejora puede incluir la generación de una corriente rica en nitrógeno y la combinación de la corriente rica en nitrógeno con aire para producir la corriente oxidante rica en nitrógeno.

**[0146]** Otra mejora puede incluir la corriente oxidante rica en nitrógeno generada mediante la extracción de nitrógeno del aire utilizando una membrana de separación de nitrógeno.

**[0147]** Otra mejora puede incluir la temperatura predeterminada del gas reductor.

**[0148]** Otra mejora puede incluir la temperatura predeterminada de un catalizador del reactor catalítico.

25 **[0149]** Otra mejora puede incluir la disposición de información de retroalimentación perteneciente a al menos dos de entre el contenido de O<sub>2</sub>, la temperatura del gas reductor y al menos uno de entre un contenido de hidrógeno (H<sub>2</sub>) del gas reductor y un contenido de monóxido de carbono (CO) del gas reductor. El control tanto del contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante así como de la relación de oxidante/combustible de la mezcla de alimentación para mantener la temperatura predeterminada se lleva a cabo en función de la información de retroalimentación.

30 **[0150]** También se expone en el presente documento un método para generar un gas reductor y utilizar el gas reductor en una celda de combustible. El método para generar un gas reductor y utilizar el gas reductor en una celda de combustible puede incluir una etapa para proporcionar una corriente oxidante; una etapa para suministrar un combustible de hidrocarburo; una etapa para combinar el oxidante y dicho combustible de hidrocarburo en una mezcla de alimentación, presentando la mezcla de alimentación una relación oxidante/combustible; y una etapa para convertir de forma catalítica la mezcla de alimentación para que genere un gas reductor. El método para generar un gas reductor y utilizar el gas reductor en una celda de combustible puede también incluir una etapa para controlar tanto el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante como la relación de oxidante/combustible de la mezcla de alimentación con el fin de mantener una temperatura predeterminada del gas reductor mientras se varía de forma independiente al menos uno de entre el contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante y la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación con el fin de obtener el contenido de combustibles seleccionado del gas reductor y una etapa para dirigir el gas reductor a la celda de combustible.

45 **[0151]** Otra forma de realización puede incluir un método para apagar una celda de combustible, incluidas las etapas de: recibir una orden para apagar la celda de combustible del modo de producción de energía; recibir aire de una entrada de aire; generar una corriente de gas rica en nitrógeno mediante la extracción de oxígeno (O<sub>2</sub>) del aire recibido de la entrada de aire; iniciar el flujo de una corriente de combustible de hidrocarburo como respuesta a la orden; combinar la corriente de combustible de hidrocarburo con la corriente de gas rica en nitrógeno para producir una mezcla de alimentación; dirigir la mezcla de alimentación a al menos uno de entre un calentador, un catalizador y una entrada al catalizador, donde el al menos uno de entre el calentador, catalizador y entrada al catalizador se calienta a una temperatura de precalentamiento elegida para la autoignición catalítica de la mezcla de alimentación; convertir la mezcla de alimentación en un gas reductor utilizando el catalizador y dirigir el gas reductor a al menos uno de entre un ánodo y un reformador de la celda de combustible.

**[0152]** En una mejora, el método puede incluir el mantenimiento de al menos uno de entre el calentador, el

catalizador y la entrada al catalizador a la temperatura de precalentamiento seleccionada para la autoignición catalítica de la mezcla de alimentación durante el funcionamiento de la celda de combustible en modo de producción de energía antes de recibir la orden de apagado de la celda de combustible.

- 5 **[0153]** Aunque la invención se ha descrito en relación a lo que actualmente se considera que es la forma de realización más práctica y preferida, ha de entenderse que la invención no ha de limitarse a la(s) forma(s) de realización expuesta(s), sino al contrario, se pretende cubrir diferentes modificaciones y disposiciones equivalentes incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Además, debe entenderse que aunque el uso de la palabra preferible, preferiblemente o preferido en la descripción anterior indica que la característica así descrita puede ser más recomendable, sin embargo puede no ser necesaria y cualquier forma
- 10 de realización que carezca de esto puede contemplarse como dentro del alcance de la invención, alcance definido por las siguientes reivindicaciones. Con la lectura de las reivindicaciones se pretende que cuando se utilizan palabras tales como "un", "una", "al menos un" y "al menos una parte", no se busca limitar la reivindicación a una sección únicamente a menos que se indique lo contrario de forma específica en la reivindicación. Además, cuando se utiliza el lenguaje "al menos una parte" y/o "una parte" la sección puede incluir
- 15 una parte y/o toda la sección a menos que se indique lo contrario de forma específica.

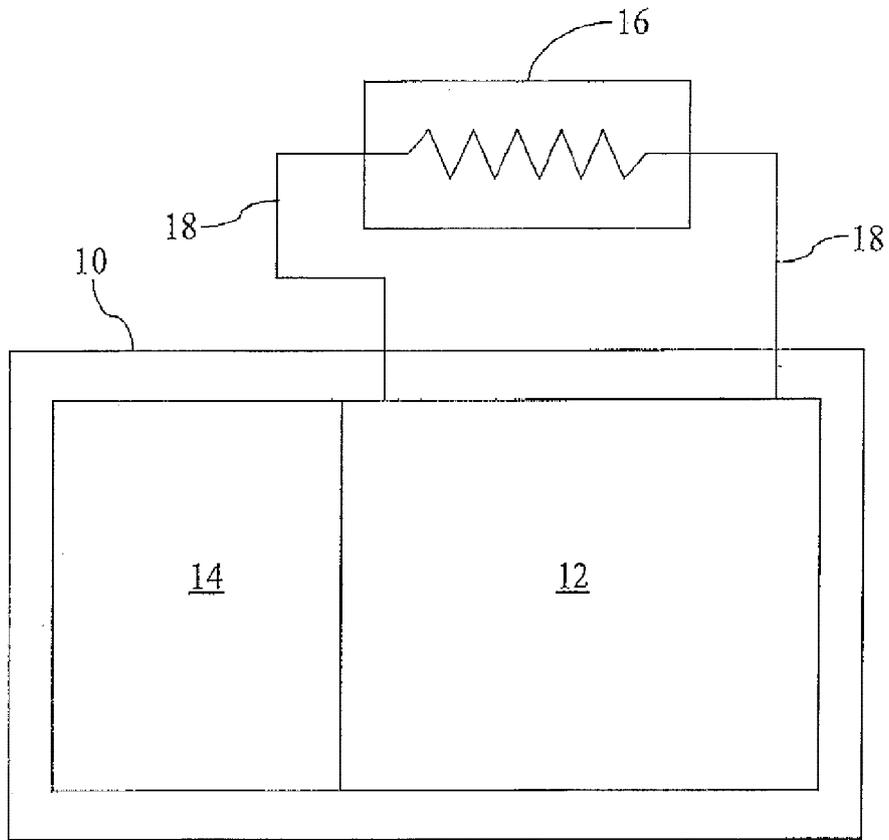
**Reivindicaciones**

1. Método para el encendido y apagado de una celda de combustible (12) mediante un generador de gas reductor (14), que comprende las etapas de:
  - 5 recibir aire en una entrada de aire del generador de gas reductor (48);
  - generar una corriente oxidante de bajo contenido de oxígeno (O<sub>2</sub>) con un contenido de oxígeno inferior al del aire atmosférico bajo las mismas condiciones de presión y temperatura utilizando al menos en parte el aire recibido desde la entrada de aire;
  - iniciar un flujo de una corriente de combustible de hidrocarburo en el generador de gas reductor;
  - 10 combinar la corriente de combustible de hidrocarburo con la corriente oxidante de bajo contenido de O<sub>2</sub> con el fin de producir una mezcla de alimentación;
  - dirigir la mezcla de alimentación a un catalizador (36);
  - convertir de forma catalítica la mezcla de alimentación en un gas reductor;
  - 15 dirigir el gas reductor a al menos uno de entre un ánodo (20) y un reformador (26) de la celda de combustible; e
  - iniciar uno de entre:
    - una transición de la celda de combustible al modo de producción de energía; y
    - una transición de la celda de combustible fuera del modo de producción de energía.
  
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha transición de la celda de combustible (12) al modo de producción de energía incluye el suministro de flujos de un combustible primario y un oxidante primario a la celda de combustible; y en el que dicha transición de la celda de combustible fuera del modo de producción de energía incluye la finalización de los flujos del combustible primario y el oxidante primario hacia la celda de combustible.
  
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además la etapa de generar una corriente rica en nitrógeno a partir del aire recibido desde la entrada de aire (48), corriente rica en nitrógeno que forma al menos una parte de la corriente oxidante de bajo contenido de oxígeno (O<sub>2</sub>).
  
4. Método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además la etapa de mantener una temperatura control elegida mediante la variación independiente tanto del contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante como de la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación.
  
5. Método de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende el control de la temperatura control elegida en función de un contenido de O<sub>2</sub> detectado en al menos una de entre la corriente oxidante y la mezcla de alimentación.
  
6. Método de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende además el control de un caudal de la mezcla de alimentación mientras que se lleva a cabo dicho mantenimiento de la temperatura control elegida mediante la variación tanto del contenido de O<sub>2</sub> de la corriente oxidante como de la relación oxidante/combustible de la mezcla de alimentación.
  
7. Método de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende además la variación selectiva del contenido de combustibles del gas reductor.
  
8. Método de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además la variación selectiva del contenido de combustibles del gas reductor mientras se mantiene la temperatura control elegida en función de un contenido de O<sub>2</sub> detectado en al menos uno entre el oxidante y la mezcla de alimentación.
  
9. Método de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además el control del caudal de la mezcla de alimentación mientras se lleva a cabo dicha variación selectiva del contenido de combustibles del gas reductor mientras se mantiene la temperatura control elegida.
  
10. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el gas reductor se produce inicialmente como gas seguro dirigido a la celda de combustible (12) durante la transición de la celda de combustible al modo de producción de energía, que comprende además el aumento de la fuerza reductora del gas reductor mediante el aumento del contenido de combustibles del gas reductor.
  
11. Método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además las etapas de:
  - 50 generar una corriente rica en nitrógeno a partir del aire recibido de la entrada de aire (48); y
  - dirigir al menos parte de la corriente rica en nitrógeno para purgar un componente asociado a una celda de combustible (12).

**12.** Método para apagar una celda de combustible (12), que comprende las etapas de:

5 recibir una orden para apagar la celda de combustible del modo de producción de energía;  
recibir aire desde una entrada de aire (48);  
generar una corriente de gas rica en nitrógeno mediante la extracción de oxígeno (O<sub>2</sub>) del aire recibido desde la entrada de aire;  
10 iniciar un flujo de una corriente de combustible de hidrocarburo como respuesta a la orden;  
combinar la corriente de combustible de hidrocarburo con la corriente de gas rica en nitrógeno con el fin de producir una mezcla de alimentación;  
dirigir la mezcla de alimentación a al menos uno de entre un calentador (74), un catalizador (36) y una  
15 entrada al catalizador, donde el al menos uno de entre el calentador, el catalizador y la entrada al catalizador se calienta hasta una temperatura de precalentamiento elegida para la autoignición catalítica de la mezcla de alimentación;  
convertir la mezcla de alimentación en un gas reductor por medio del catalizador; y  
dirigir el gas reductor hacia al menos uno de entre un ánodo (20) y un reformador (26) de la celda de combustible.

**13.** Método de acuerdo con la reivindicación 12, que comprende además el mantenimiento de al menos uno de entre el calentador, el catalizador y la entrada al catalizador con la temperatura de precalentamiento seleccionada para la autoignición catalítica de la mezcla de alimentación durante el funcionamiento de la celda de combustible en modo de producción de energía antes de recibir la orden de apagado de la celda de combustible.



*FIG. 1*

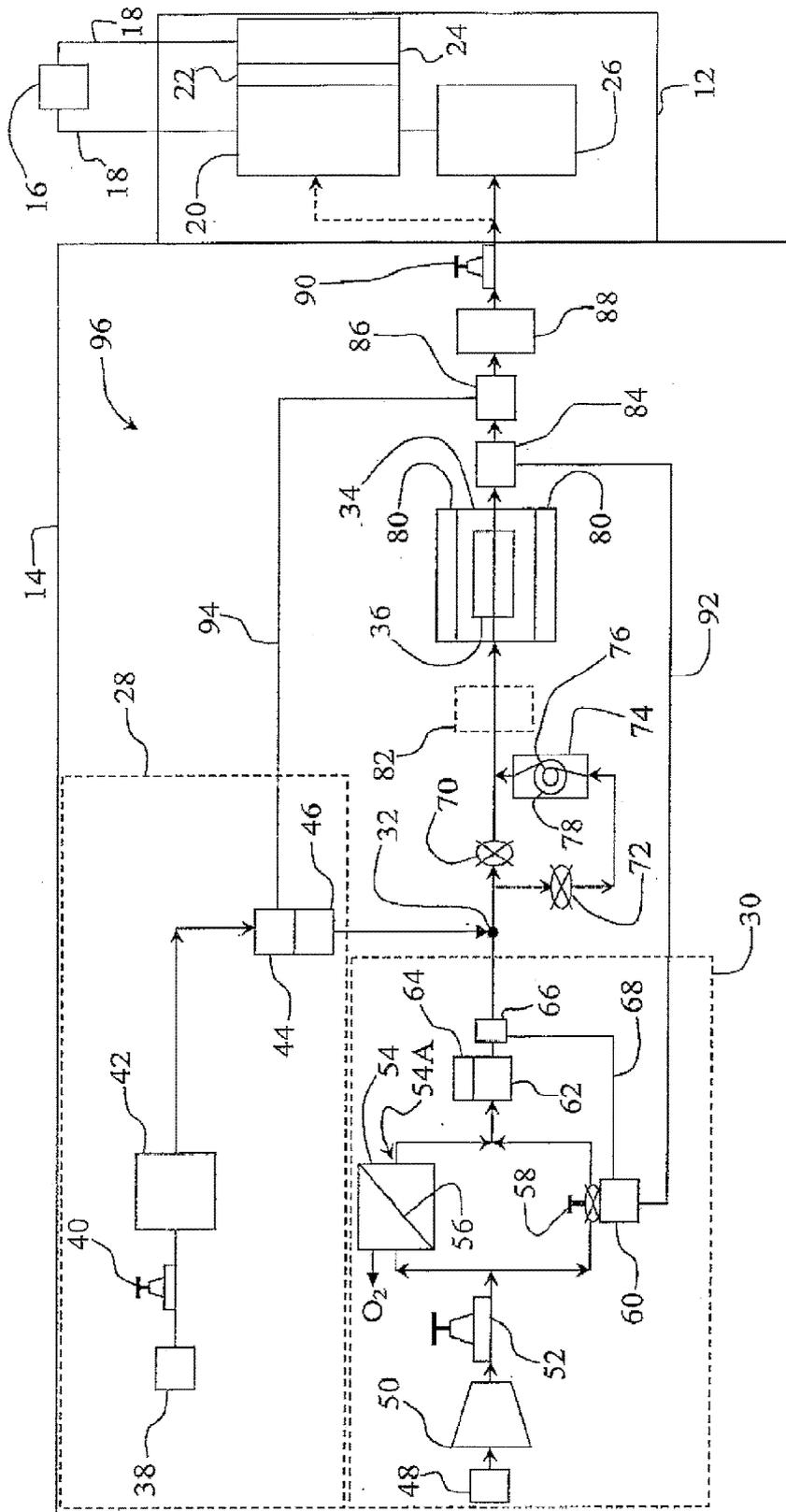


FIG. 2

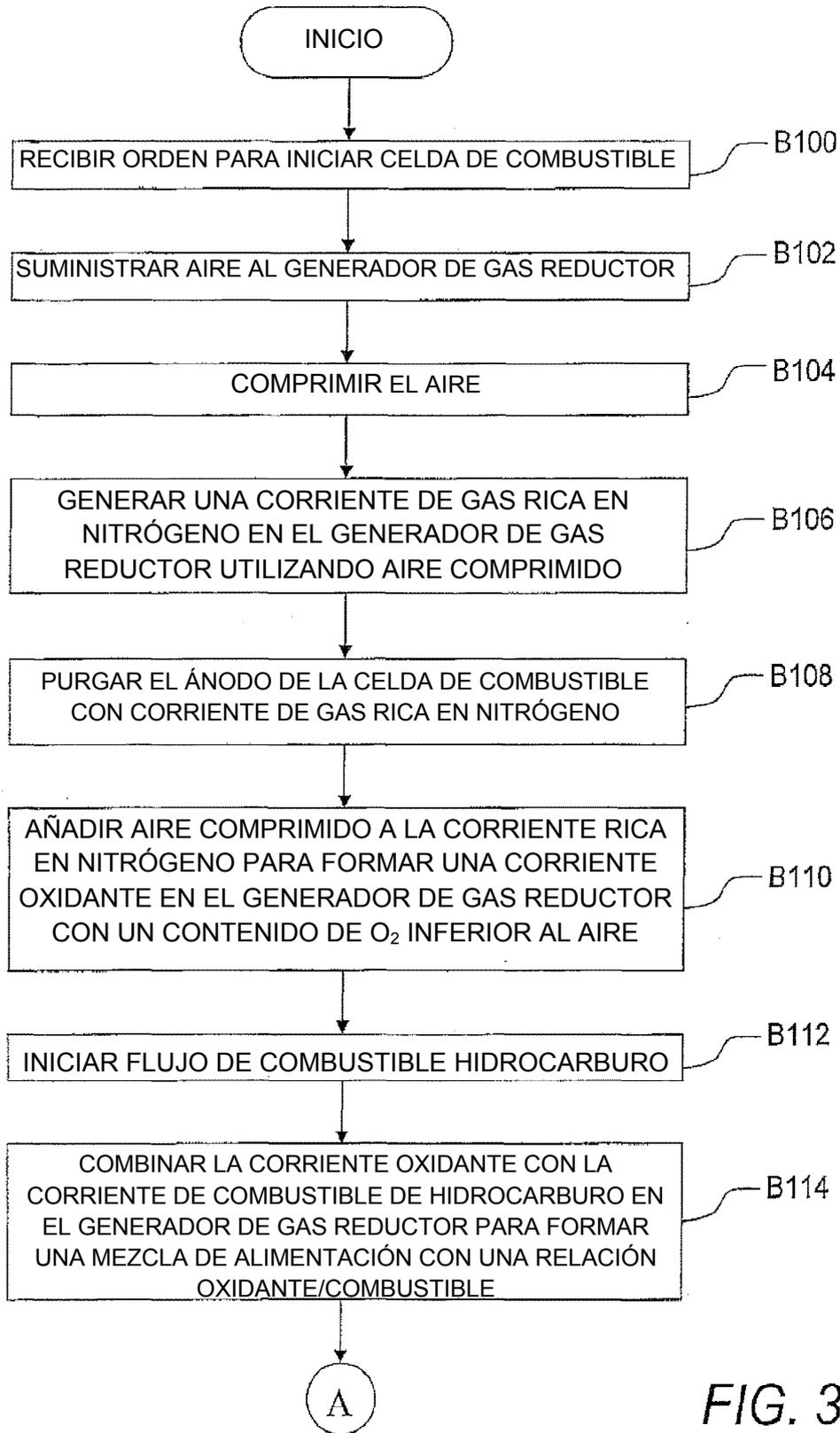


FIG. 3A

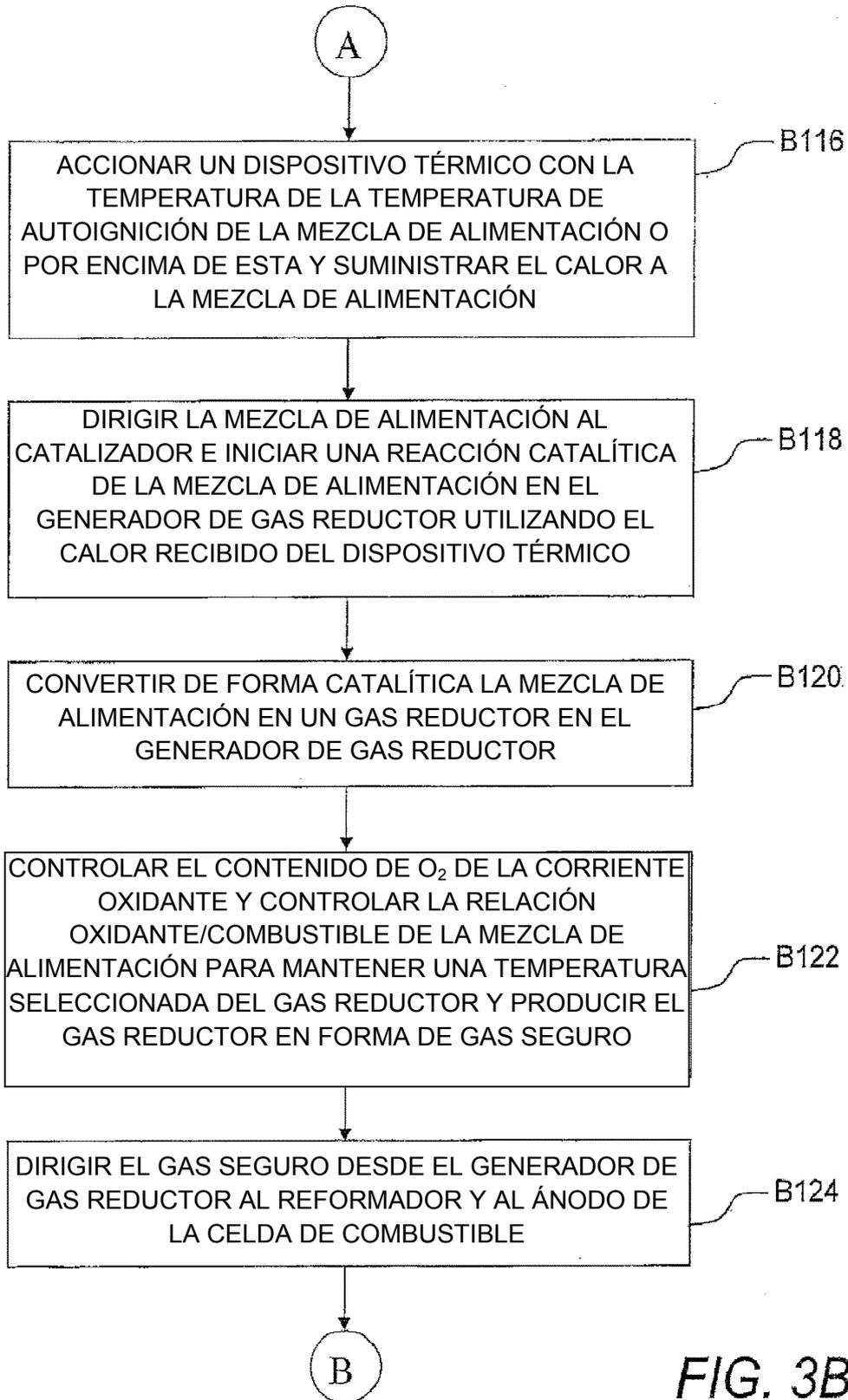


FIG. 3B

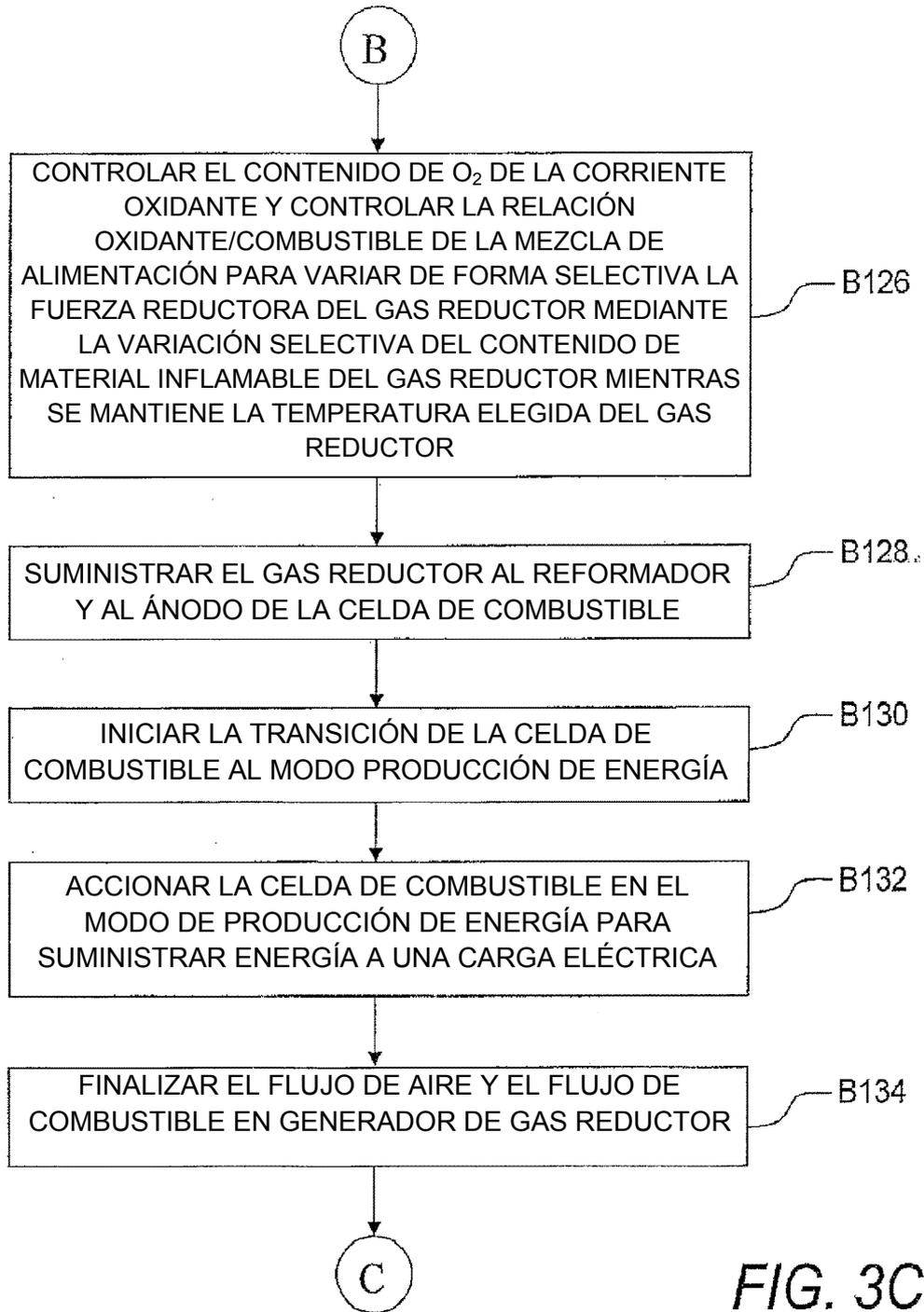


FIG. 3C

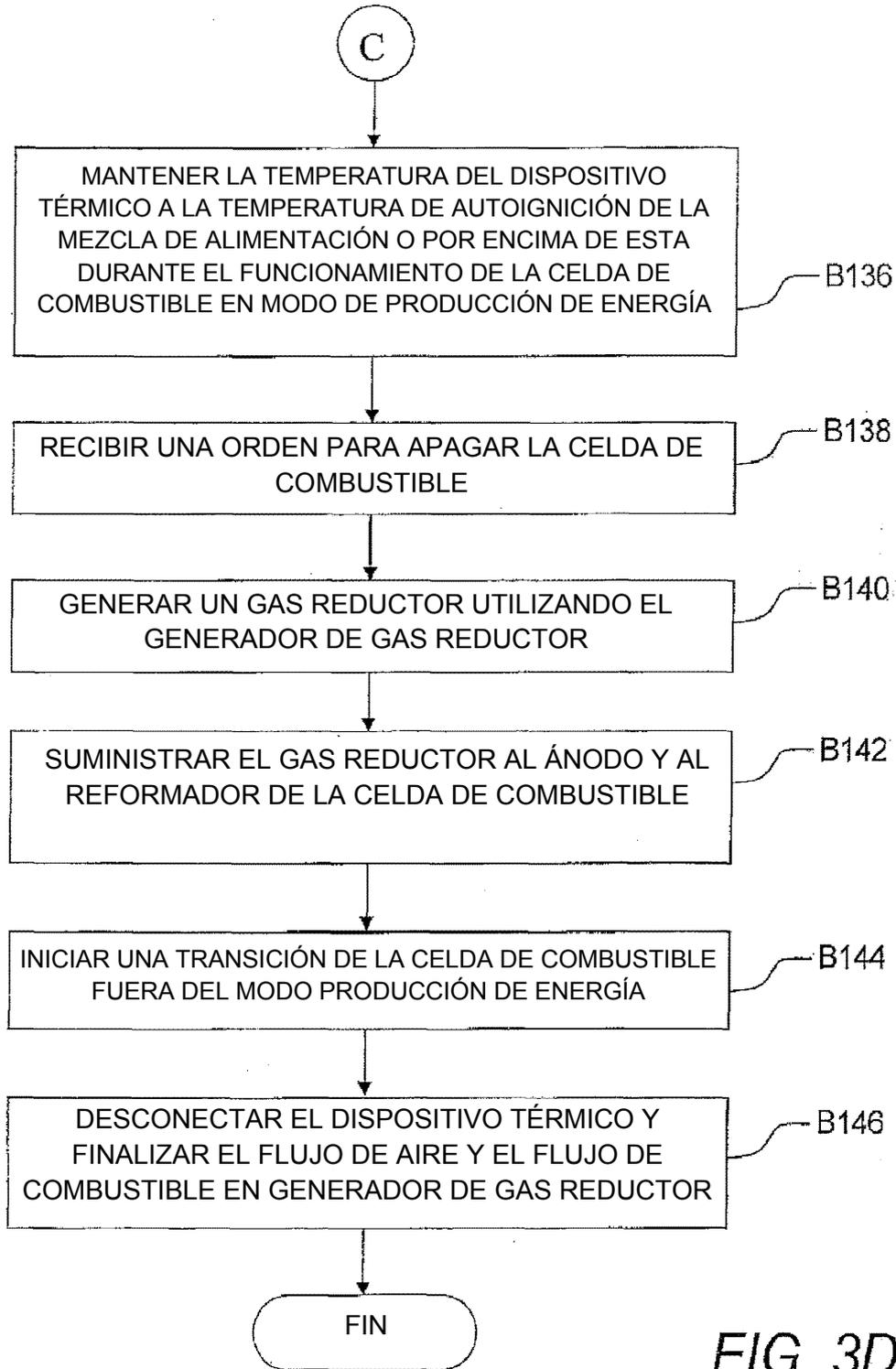


FIG. 3D

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

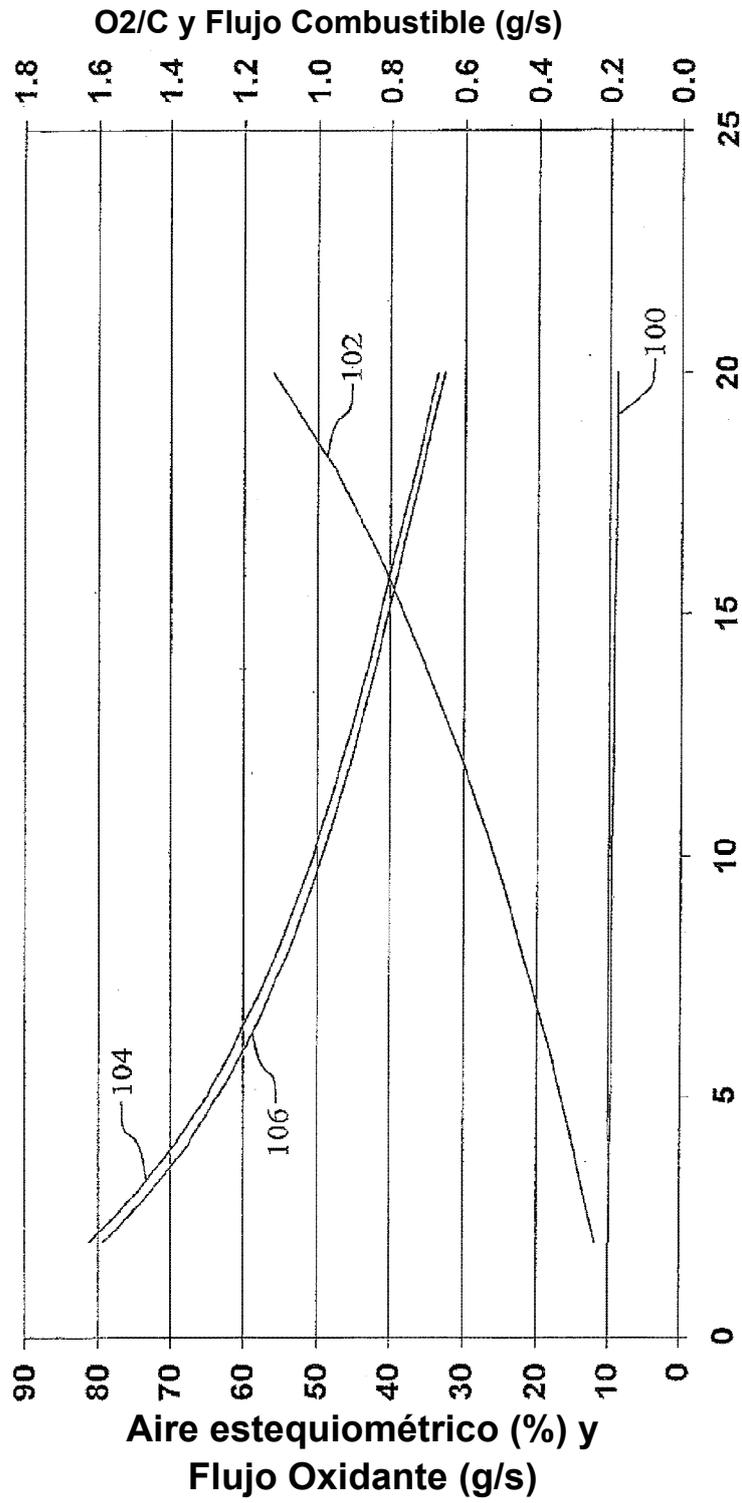


FIG. 4