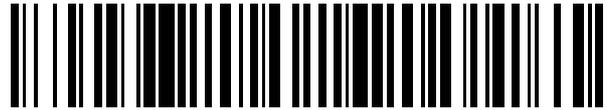


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 646 022**

51 Int. Cl.:

H01M 8/06 (2006.01)

H01M 8/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.06.2014 PCT/GB2014/051908**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.01.2015 WO15004419**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.06.2014 E 14732625 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2017 EP 3020088**

54 Título: **Sistemas y métodos de celdas de combustible mejorados**

30 Prioridad:

09.07.2013 GB 201312329

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

11.12.2017

73 Titular/es:

**CERES INTELLECTUAL PROPERTY COMPANY LIMITED (100.0%)
Viking House, Foundry Lane Horsham
Sussex RH13 5PX, GB**

72 Inventor/es:

**BARNARD, PAUL;
SELBY, MARK;
HAZELL, ANDREW y
EVANS, CHRISTOPHER JOHN**

74 Agente/Representante:

RIZZO, Sergio

ES 2 646 022 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistemas y métodos de celdas de combustible mejorados

CAMPO DE LA INVENCION

[0001] La presente invención se refiere a sistemas y métodos de celdas de combustible mejorados.

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0002] Un experto en la materia conoce bien las enseñanzas de los sistemas, las disposiciones y los métodos de las celdas de combustible, los apilamientos de celdas de combustible, los conjuntos de apilamientos de celdas de combustible, y los intercambiadores de calor, e incluyen en particular WO02/35628, WO03/07582, WO2004/089848, WO2005/078843, WO2006/079800, WO 2006/106334, WO 2007/085863, WO 2007/110587, 10 WO 2008/001119, WO 2008/003976, WO2008/015461, WO2008/053213, WO2008/104760, WO2008/132493, WO2009/090419, WO2010/020797 y WO2010/061190. Las definiciones de los términos utilizados en el presente documento se pueden encontrar según sea necesario en las publicaciones anteriores. En particular, la presente invención pretende mejorar los sistemas y métodos dados a conocer en WO2008/053213.

[0003] Los sistemas de celdas de combustible de óxido sólido (SOFC, por sus siglas en inglés) operativos 15 alimentados con hidrocarburo donde el apilamiento de celdas de combustible funciona en el rango de 450-650 °C (celda de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia; IT-SOFC), más en concreto, en el rango de temperatura de 520-620 °C, dan lugar a que se encuentre un conjunto diferente de problemas técnicos y requieren un enfoque distinto en comparación con la tecnología de SOFC de temperatura más alta tal como tecnologías basadas en YSZ (circona estabilizada con itria) que normalmente funcionan a temperaturas >720 °C.

[0004] La temperatura operativa del apilamiento de celdas de combustible más baja no se presta en sí a niveles 20 altos de reformado interno del combustible y, por lo tanto, estos sistemas requieren normalmente altos niveles de reformado antes de que el combustible alcance el apilamiento de celdas de combustible.

[0005] En sistemas de este tipo, se utiliza el reformado de vapor para convertir una corriente de combustible de 25 hidrocarburo en una corriente de reformado rico en hidrógeno que se introduce en la entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible. El reformador funciona normalmente en un rango de temperatura de 620-750 °C de manera que el reformado de salida se encuentra en el rango de temperatura de 500-750 °C, permitiendo el reformado de más del 80% del hidrocarburo (tal como gas natural). La corriente de reformado se enfría entonces a aproximadamente 350-550 °C para entrar en el apilamiento de celdas de combustible a aproximadamente 450 °C. El reformador se calienta normalmente por la salida del quemador de gas residual que 30 combustiona los efluentes gaseosos del apilamiento de celdas de combustible.

[0006] La refrigeración del apilamiento de IT-SOFC se consigue principalmente a través del control del flujo de 35 oxidante sobre el lado del cátodo del apilamiento de celdas de combustible (es decir, para realizar una mayor refrigeración, se sopla más aire sobre el lado del cátodo del apilamiento de celdas de combustible). Esto es diferente a otras tecnologías SOFC en las que se producen niveles más altos de reformado interno y en las que el efecto endotérmico resultante de la reacción de reformado interno actúa para absorber la energía térmica liberada de la celda de combustible operativa.

[0007] Para conseguir la temperatura de reformador alta anterior, el reformador se acopla cerca normalmente de 40 forma térmica al quemador de gas residual del apilamiento de celdas de combustible (que quema cualquier combustible restante en los efluentes gaseosos del ánodo en el oxidante, normalmente mediante la combustión con los efluentes gaseosos calientes del cátodo). En una disposición de este tipo, el quemador de gas residual y su gas de escape caliente se acoplan cerca de forma térmica al reformador mediante un intercambiador de calor tal como una superficie de intercambio de calor. Normalmente, el reformador se dispone de manera que se encuentra adyacente de forma inmediata al quemador de gas residual o en contacto con el mismo para pasar la máxima cantidad de calor posible del quemador de gas residual al reformador.

[0008] Los presentes inventores han identificado un número de limitaciones técnicas que afectan a las 45 disposiciones del apilamiento de celdas de combustible IT-SOFC actuales:

1. La degradación de las IT-SOFC provoca una pérdida no lineal significativa de eficacia del apilamiento de celdas de combustible

[0009] Durante la vida de una celda de combustible, la degradación de las celdas de combustible provoca una 50 pérdida de eficiencia eléctrica y, por lo tanto, una mayor producción de calor para una salida de potencia eléctrica dada. Controlar la temperatura operativa del apilamiento de celdas de combustible es esencial para el rendimiento operativo del apilamiento de celdas de combustible. Para un sistema de celdas de combustible, el suministro de refrigeración del apilamiento de celdas de combustible (en particular, mediante bombas/sopladores al lado del cátodo de la celda de combustible) es una carga parásita de sistema considerable (normalmente, la 55 carga parásita de sistema más grande). A medida que las celdas de combustible se degradan, esta combinación

de pérdida de eficacia y aumento de carga parásita proporciona una reducción desproporcionada (es decir, mayor que lineal, también denominada en el presente documento como no lineal) de eficacia al nivel del sistema.

5 **[0010]** Además, como el apilamiento de celdas de combustible proporciona potencia eléctrica para proporcionar refrigeración del apilamiento de celdas de combustible, se inicia un mecanismo de retroalimentación positiva (es decir, un círculo vicioso) por una pérdida de eficacia de celda de combustible, es decir, el apilamiento de celdas de combustible es menos eficaz y genera más calor para una salida eléctrica dada y, por tanto, necesita más refrigeración, lo que provoca una mayor demanda de potencia, requiriendo mayor generación de potencia, dando lugar a su vez a un aumento adicional de generación de calor, requiriendo una mayor cantidad de refrigeración.

10 2. El acoplamiento térmico cercano del reformador al quemador de gas residual provoca una mayor carga de refrigeración del apilamiento de celdas de combustible

15 **[0011]** El acoplamiento térmico cercano del reformador de combustible (endotérmico) al quemador de gas residual (TGB, por sus siglas en inglés), significa que la entalpía del flujo de combustible que sale del reformador de combustible es una función del flujo de aire total con respecto al apilamiento de celdas de combustible. Con la degradación de las IT-SOFC, el aumento de resistencia eléctrica y, por tanto, el aumento de generación de calor la de celda de combustible provoca una temperatura del reformador creciente y, por tanto, un contenido de hidrógeno creciente en el combustible reformado, aumentando a su vez la carga de refrigeración del apilamiento de celdas de combustible durante el funcionamiento del apilamiento de celdas de combustible.

20 **[0012]** Sin recuperación de calor suplementaria para el gas de entrada del ánodo entre la salida de reformador y la entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible, este aumento de energía térmica se transfiere al apilamiento de celdas de combustible como carga de refrigeración adicional, lo que aumenta de forma adicional los requisitos de potencia bruta y provoca una disminución adicional de la eficacia del sistema de celdas de combustible.

25 3. El monóxido de carbono producido como un producto de la reformación provoca una pérdida de carbono y carburización catastrófica, dando lugar a una degradación del lado del ánodo de apilamiento de celdas de combustible

30 **[0013]** La pérdida de carbono de combustible reformado tiene un efecto negativo considerable en el rendimiento del apilamiento de celdas de combustible, en particular durante su uso extendido. A medida que el reformado que contiene monóxido de carbono sale del reformador y pasa a la entrada de ánodo del apilamiento de IT-SOFC, normalmente experimenta una disminución considerable de temperatura debido al hecho de que los reformadores funcionan generalmente a una temperatura alta con el fin de conseguir un alto nivel de reformación. Como resultado de esa disminución de temperatura, el equilibrio entre monóxido de carbono y dióxido de carbono cambia a favor del dióxido de carbono. Se produce la reacción de Boudouard, el monóxido de carbono se oxida en dióxido de carbono, y el carbono precipita, es decir, se produce una pérdida de carbono. Esta pérdida de carbono está en forma de (i) carbono particulado, que puede cubrir superficies y bloquear/restringir trayectorias de flujo de fluido y (ii) carburización catastrófica ("Corrosion by Carbon and Nitrogen: Metal Dusting, Carburisation and Nitridation", editado por H.J. Grabke y M. Schutze, 2007, ISBN 9781845692322) donde el carbono se forma en la superficie de las superficies de metal expuestas de los componentes, dando lugar a que se elimine el metal del cuerpo del componente con el tiempo con un correspondiente impacto negativo en la especificación del componente.

40 **[0014]** Estas limitaciones no se observan normalmente en sistemas de celdas de combustible de temperaturas más altas puesto que se puede lograr un grado de reformado interno, y de hecho es deseable, para reducir cargas parásitas de soplador y cualquier reformado externo es inevitablemente mucho más cercano a la temperatura operativa del apilamiento de celdas de combustible y, por tanto, no requiere refrigeración a través del rango de temperatura de la reacción de Boudouard.

45 **[0015]** La presente invención pretende abordar, superar o mitigar al menos una de las desventajas de la técnica anterior.

SUMARIO DE LA INVENCION

50 **[0016]** Según la presente invención, se proporciona un sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) y métodos de funcionamiento de un IT-SOFC según se define en las reivindicaciones independientes adjuntas. En las reivindicaciones dependientes adjuntas se definen características preferibles adicionales.

[0017] Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) que comprende:

55 (i) al menos un apilamiento de celdas de combustible que comprende al menos un celda de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia, y que presenta una entrada de ánodo, una entrada de cátodo, una salida de efluentes gaseosos del ánodo, una salida de efluentes gaseosos del cátodo, y que define

trayectorias de flujo separadas para el flujo de gas de entrada del ánodo, de gas de entrada del cátodo, de efluentes gaseosos del ánodo y de efluentes gaseosos del cátodo; y

- (ii) un reformador de vapor para reformar un combustible de hidrocarburo a un reformado, y que presenta una entrada de reformador para el gas de entrada del ánodo, una salida de reformador para evacuar el gas de entrada del ánodo y un intercambiador de calor del reformador;

y que define:

- (a) una trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del ánodo desde una fuente de combustible hasta dicho reformador de vapor hasta dicha al menos una entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible;
- (b) una trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del ánodo desde dicha al menos una salida de efluentes gaseosos del ánodo del apilamiento de celdas de combustible hasta un escape del sistema de celdas de combustible;
- (c) una trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo desde una al menos una entrada de oxidante hasta dicho intercambiador de calor del reformador hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible; y
- (d) una trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del cátodo desde dicha al menos una salida de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible hasta dicho escape del sistema de celdas de combustible;

donde dicho intercambiador de calor del reformador es un intercambiador de calor de flujo paralelo en comunicación de flujo de fluido con (i) dicha al menos una entrada de oxidante y dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible, y (ii) dicha fuente de combustible y dicha al menos una entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible, y está dispuesto para intercambiar calor entre dicho gas de entrada del cátodo y dicho gas de entrada del ánodo.

[0018] La referencia en el presente documento a etapas del método también es una referencia al sistema de la presente invención adaptado o configurado para llevar a cabo dichas etapas del método.

[0019] Para evitar dudas, la referencia en el presente documento a intercambiadores de calor de flujo paralelo se refiere a intercambiadores de calor de coflujo.

[0020] Preferiblemente, el al menos un apilamiento de celdas de combustible es un apilamiento de IT-SOFC con soporte metálico, más preferiblemente como se muestra en US6794075. Preferiblemente, el IT-SOFC tiene una temperatura operativa en estado continuo en el rango de 400 °C - 650 °C, más preferiblemente 450 °C - 650 °C, más preferiblemente 520-620 °C.

[0021] Preferiblemente, cada uno del al menos un apilamiento de celdas de combustible comprende al menos una capa de apilamiento de celdas de combustible, comprendiendo cada al menos una capa de apilamiento de celdas de combustible al menos una celda de combustible, conexiones de entrada/salida de combustible y oxidante, y trayectorias de flujo para la corriente o corrientes de combustible y oxidante, y para la corriente o corrientes de combustible y oxidante usados, y una placa base del apilamiento de celdas de combustible y una placa terminal del apilamiento de celdas de combustible. Preferiblemente, cada apilamiento de celdas de combustible comprende de forma adicional placas terminales de apilamiento de celdas de combustible y medios de compresión de apilamiento de celdas de combustible. Preferiblemente, cada apilamiento de celdas de combustible comprende de forma adicional interconexiones del apilamiento. Preferiblemente, las interconexiones del apilamiento de celdas de combustible son placas de interconexión metálicas impermeables al gas conductoras de electricidad.

[0022] El hecho de que el intercambiador de calor del reformador sea un intercambiador de calor de flujo paralelo y esté dispuesto para intercambiar calor entre los gases de entrada del cátodo y el ánodo antes de su entrada en la al menos una celda de combustible significa que la temperatura de salida de los gases de entrada del cátodo y el ánodo procedentes del reformador y el intercambiador de calor del reformador y, por tanto, las temperaturas de entrada a los lados del cátodo y el ánodo del al menos un apilamiento de celda de combustible, están muy cerca entre sí.

[0023] La diferencia de temperatura entre los gases de entrada del ánodo y el cátodo con respecto a la al menos una celda de combustible se determina principalmente por el rendimiento del intercambiador de calor del reformador. Por ejemplo, en un funcionamiento en estado continuo, la diferencia de temperatura entre los gases de entrada del ánodo y el cátodo con respecto al al menos un apilamiento de una celda de combustible puede estar dentro de 20 °C, más normalmente dentro de 15 °C de uno a otro.

[0024] Esta disposición de flujo paralelo presenta un número de ventajas considerables. En particular, significa que la tensión térmica a través de la capa de electrolito de la al menos una celda de combustible se reduce de forma significativa en comparación con los sistema de celdas de combustible de la técnica anterior. Al reducir la tensión térmica, se puede reducir el índice de degradación del electrolito con el tiempo.

5 **[0025]** Como se ha detallado anteriormente, la pérdida de carbono es un problema considerable en las celdas de combustible, en particular durante su ciclo de vida completo. Resulta muy deseable reducir la cantidad de pérdida de carbono, o al menos minimizar la cantidad de pérdida de carbono que se produce en la al menos una celda de combustible y en las tuberías entre el reformador y el al menos un apilamiento de celda de combustible/al menos una celda de combustible. Normalmente resulta difícil acceder a estos componentes en el
10 producto final y, como tal, no son generalmente adecuados para un mantenimiento adecuado, en particular en un producto doméstico.

[0026] La proximidad de la temperatura de salida de los gases de entrada de ánodo desde el reformador y, por tanto, la temperatura de entrada al lado del ánodo del al menos un apilamiento de celdas de combustible, significa que el riesgo de pérdida de carbono entre el reformador y el al menos un apilamiento de celdas de
15 combustibles se reduce de forma significativa.

[0027] Cuando el sistema de IT-SOFC está adaptado para la temperatura de salida del gas de entrada del ánodo desde el reformador para estar cerca de la temperatura operativa del al menos un apilamiento de celdas de combustible, el riesgo de pérdida de carbono en el al menos un apilamiento de celdas de combustible también se reduce de forma adicional.

20 **[0028]** Preferiblemente, el sistema de IT-SOFC comprende de forma adicional un al menos un calentador de oxidante situado en dicha trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo entre dicha entrada de oxidante y dicho intercambiador de calor del reformador, un al menos un soplador de oxidante, un sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible, un sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible y un medio de control, estando
25 adaptado dicho medio de control para controlar dicho soplador de oxidante y el calentamiento del oxidante de entrada mediante dicho calentador de oxidante para mantener dicho sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo a una temperatura predeterminada o alrededor de una temperatura predeterminada, y dicho sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo a una temperatura predeterminada o alrededor de una temperatura predeterminada. En este contexto a lo largo de la memoria, "mantener" incluye el caso en el que el
30 sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo no se encuentra a la temperatura predeterminada o alrededor de la temperatura predeterminada antes de que el medio de control controle dicho soplador de oxidante y el calentamiento del oxidante de entrada por dicho calentador de oxidante. De forma similar, en este contexto a lo largo de la memoria, "mantener" incluye el caso en el que el sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo no se encuentra a la temperatura predeterminada o alrededor de la temperatura
35 predeterminada antes de que el medio de control controle dicho soplador de oxidante y el calentamiento del oxidante de entrada por dicho calentador de oxidante.

[0029] Preferiblemente, el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo se mantiene dentro de 5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C o 50 °C de la temperatura predeterminada, más preferiblemente dentro de 5 °C de la temperatura predeterminada.

40 **[0030]** Preferiblemente, el sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo se mantiene dentro de 5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C o 50 °C de la temperatura predeterminada, más preferiblemente dentro de 5 °C de la temperatura predeterminada.

[0031] Preferiblemente, la trayectoria principal de flujo de gas de entrada del cátodo (también denominada "una trayectoria principal de oxidante de entrada") fluye desde una entrada de oxidante hasta la entrada de oxidante
45 del intercambiador de calor del reformador.

[0032] Preferiblemente, la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire (también denominada "una derivación de oxidante de entrada") fluye desde una entrada de oxidante hasta la entrada de oxidante del intercambiador de calor del reformador.

[0033] Preferiblemente, la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire secundaria pasa desde
50 una entrada de oxidante hasta la trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del cátodo del reformador, es decir, entre la salida del oxidante del intercambiador de calor del reformador y la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible, más preferiblemente entre la salida del oxidante del intercambiador de calor del reformador y el sensor de temperatura del gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible. Preferiblemente, el sistema de IT-SOFC comprende de forma adicional un al menos un calentador
55 de oxidante situado en dicha trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo entre dicha entrada de oxidante y dicho intercambiador de calor del reformador.

- 5 **[0034]** Preferiblemente, el sistema de IT-SOFC comprende de forma adicional una trayectoria principal de oxidante de entrada desde dicha al menos una entrada de oxidante hasta dicho intercambiador de calor del reformador hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible, y una al menos una derivación de oxidante de entrada desde dicha al menos una entrada de oxidante hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible, y/o desde dicha al menos una entrada de oxidante hasta dicho intercambiador de calor del reformador hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible.
- [0035]** Preferiblemente, dicho al menos un calentador de oxidante se sitúa en dicha trayectoria principal de oxidante de entrada.
- 10 **[0036]** Por tanto, la al menos una fuente de calor no necesita controlarse (siempre que sea capaz de suministrar la cantidad de calor requerida), y en su lugar se varía el flujo de oxidante mediante una trayectoria principal y una derivación para lograr la temperatura de gas de entrada del cátodo requerida.
- [0037]** Según esta disposición, el al menos un calentador de oxidante no se sitúa en la al menos una derivación de oxidante de entrada.
- 15 **[0038]** La al menos una derivación de oxidante de entrada desde dicha al menos una entrada de oxidante hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible no atraviesa el intercambiador de calor del reformador. Una derivación de este tipo permite un grado de control independiente de la temperatura del gas de entrada del cátodo después de que salga del intercambiador de calor del reformador.
- 20 **[0039]** Preferiblemente, dicha al menos una derivación de oxidante de entrada comprende al menos dos derivaciones de oxidante de entrada, una desde dicha al menos una entrada de oxidante hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible, y otra desde dicha al menos una entrada de oxidante hasta dicho intercambiador de calor del reformador hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible.
- 25 **[0040]** Preferiblemente, el sistema de IT-SOFC comprende de forma adicional un al menos un soplador de oxidante, estando situado el al menos un soplador en dicha trayectoria principal de oxidante de entrada y/o dicha al menos una derivación de oxidante de entrada. El al menos un soplador puede ser un único soplador. El único soplador puede situarse en dicha trayectoria principal de oxidante de entrada y dicha al menos una derivación de oxidante de entrada.
- 30 **[0041]** El al menos un soplador pueden ser dos sopladores. Los dos sopladores pueden situarse, respectivamente, en dicha trayectoria principal de oxidante de entrada y dicha al menos una derivación de oxidante de entrada. La al menos una derivación de oxidante de entrada puede ser una única derivación de oxidante de entrada.
- 35 **[0042]** El al menos un soplador pueden ser tres sopladores. Las al menos dos derivaciones de oxidante de entrada pueden ser dos derivaciones de oxidante de entrada. Los tres sopladores pueden situarse, respectivamente, en dicha trayectoria principal de oxidante de entrada y dichas dos derivaciones de oxidante de entrada.
- [0043]** Preferiblemente, el sistema de IT-SOFC comprende de forma adicional al menos un divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable, para controlar el flujo de oxidante de entrada entre dicha al menos una derivación de oxidante de entrada y dicha trayectoria principal de oxidante de entrada.
- 40 **[0044]** Preferiblemente, el sistema de IT-SOFC comprende de forma adicional un divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable, para controlar el flujo de oxidante de entrada entre dicha una derivación de oxidante de entrada y dicha otra derivación de oxidante de entrada. Esto permite que el índice de flujo de oxidante al intercambiador de calor del reformador y a la al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible se controle desde una única fuente.
- 45 **[0045]** Preferiblemente, se proporciona un medio de control que está adaptado para controlar el al menos un soplador y/o el al menos un divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable, preferiblemente para mantener dicho sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo a una temperatura predeterminada o alrededor de una temperatura predeterminada, y dicho sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo a una temperatura predeterminada o alrededor de una temperatura predeterminada.
- 50 **[0046]** Preferiblemente, se proporciona un sensor de temperatura adicional. Dicho sensor de temperatura adicional es preferiblemente un sensor de temperatura de gas de entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible. Pueden proporcionarse otros sensores adicionales. Preferiblemente, el medio de control está adaptado para controlar dicho al menos un soplador de oxidante o dicho al menos un divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable para mantener dicho sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo y/o dicho sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo y/o dicho sensor de temperatura de gas de entrada del ánodo
- 55

del apilamiento de celdas de combustible a una temperatura predeterminada o alrededor de una temperatura predeterminada.

5 **[0047]** Preferiblemente, una derivación de oxidante de entrada se une a la trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo entre el intercambiador de calor del reformador y la entrada del cátodo, más preferiblemente entre la salida de oxidante del intercambiador de calor del reformador y el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible. Preferiblemente, un soplador de oxidante o un divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable se sitúa en dicha derivación de oxidante de entrada. Preferiblemente, el medio de control está adaptado para controlar dicho soplador de oxidante o dicho divisor de flujo de oxidante de entrada
10 temperatura de efluentes gaseosos del cátodo y/o dicho sensor de temperatura de gas de entrada del ánodo del apilamiento de celdas de combustible a una temperatura predeterminada o alrededor de una temperatura predeterminada.

15 **[0048]** Preferiblemente, una derivación de oxidante de entrada se une a la trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo entre la entrada de oxidante de la trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo y el intercambiador de calor del reformador, más preferiblemente entre el al menos un calentador de oxidante y el intercambiador de calor del reformador. Preferiblemente, un soplador de oxidante o un divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable se sitúa en dicha derivación de oxidante de entrada. Preferiblemente, el medio de control está adaptado para controlar dicho soplador de oxidante o dicho divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable para mantener dicho sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo y/o dicho sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo y/o dicho sensor de temperatura de gas de entrada del ánodo del apilamiento de celdas de combustible a una temperatura predeterminada o alrededor de una temperatura predeterminada.

25 **[0049]** Las temperaturas predeterminadas pueden determinarse con referencia a una tabla de temperaturas preferidas, por ejemplo con referencia a una salida de potencia dada, o un índice dado de flujo de combustible. Estas temperaturas predeterminadas también pueden denominarse puntos de referencia operativos o puntos de referencia operativos requeridos. Para un apilamiento de celdas de combustible con una salida de potencia eléctrica de 1 kW, la temperatura predeterminada para el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible puede ser de aproximadamente 540 °C. Preferiblemente, la temperatura predeterminada para el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible se encuentra en el rango de 530-570 °C. Para un apilamiento de celdas de combustible con una salida de potencia eléctrica de 1 kW, la temperatura predeterminada para el sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible puede ser de aproximadamente 610 °C. Preferiblemente, la temperatura predeterminada para el sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible se encuentra en el rango de 580-620 °C.

35 **[0050]** La referencia en el presente documento a la salida de potencia eléctrica del apilamiento de celdas de combustible es distinta a la salida de potencia eléctrica del sistema de celdas de combustible y no incluye la potencia consumida por el sistema de celdas de combustible en sí, p. ej., para el medio de control y los sopladores, etc.

40 **[0051]** Preferiblemente, el medio de control está adaptado para mantener el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo y el sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo a temperaturas predeterminadas o alrededor de temperaturas predeterminadas cuando el sistema de celdas de combustible se encuentra en un funcionamiento en estado continuo.

45 **[0052]** Más preferiblemente, el medio de control está adaptado para mantener el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible a una temperatura de aproximadamente 520-600 °C, más preferiblemente de aproximadamente 530-570 °C, más preferiblemente de aproximadamente 540 °C y la temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible a una temperatura de aproximadamente 550-650 °C, más preferiblemente 580-620 °C, más preferiblemente de aproximadamente 610 °C.

50 **[0053]** Preferiblemente, el medio de control está adaptado para mantener la temperatura de gas de entrada del ánodo del apilamiento de celdas de combustible a una temperatura de aproximadamente 520-600 °C, más preferiblemente de aproximadamente 530-570 °C. Preferiblemente, el medio de control está adaptado para mantener los efluentes gaseosos del ánodo del apilamiento de celdas de combustible a una temperatura de aproximadamente 550-650 °C, más preferiblemente de aproximadamente 580-620 °C.

[0054] Preferiblemente, el medio de control está configurado de forma adicional para controlar el flujo de combustible y agua al sistema de celdas de combustible desde la fuente de combustible y un suministro de agua.

55 **[0055]** Preferiblemente, el medio de control está configurado para controlar, más preferiblemente para monitorizar y controlar, la potencia eléctrica suministrada desde el sistema de celdas de combustible hasta una carga eléctrica.

[0056] Este control de temperatura en dos puntos separados en la trayectoria de flujo de oxidante se logra de forma conveniente mediante una combinación de:

- (i) control del calentamiento del gas de entrada del cátodo, y
- (ii) control del índice de flujo de masa del gas de entrada del cátodo.

5 **[0057]** Por tanto, funcionan dos bucles de control independientes.

[0058] El primer bucle de control es para el control de la temperatura del gas de entrada del cátodo al al menos un apilamiento de celdas de combustible. El medio de control está adaptado para aumentar el calentamiento del oxidante de entrada mediante el al menos un calentador de oxidante si la temperatura del gas de entrada del cátodo determinada por el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo está por debajo de una temperatura predeterminada, y viceversa.

[0059] Por tanto, se controla la temperatura del gas de entrada del cátodo al al menos un apilamiento de celdas de combustible.

15 **[0060]** Esto significa a su vez que también se mantiene la temperatura del gas de entrada del ánodo al al menos un apilamiento de celdas de combustible, y que se mantiene independientemente de las variaciones en (y, por tanto, las demandas de calor ejercidas por) el flujo de masa del oxidante de entrada y el combustible, y las variaciones en las temperaturas de entrada del oxidante y el combustible al sistema de IT-SOFC.

20 **[0061]** El segundo bucle de control es para el control de la al menos una temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible. Puesto que la temperatura del gas de entrada del cátodo al al menos un apilamiento de celdas de combustible se controla de forma independiente, la temperatura de efluentes gaseosos del cátodo se controla mediante la variación del índice de flujo de masa de oxidante a través del al menos un apilamiento de celdas de combustible.

25 **[0062]** Por tanto, el medio de control está adaptado para aumentar el índice de flujo de masa del gas de entrada del cátodo si la temperatura de los efluentes gaseosos del cátodo determinada por el sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible está por encima de una temperatura predeterminada, y viceversa.

[0063] Esto proporciona la ventaja considerable de un sistema de control autoajutable simple y conveniente que mantiene las temperaturas de entrada y salida de cátodo del apilamiento de celdas de combustible (y, por tanto, la ΔT a través del apilamiento de celdas de combustible) dentro de un rango controlado.

[0064] Preferiblemente, el sistema de IT-SOFC comprende de forma adicional:

- 30 un divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable;
- una derivación de oxidante de entrada; y
- una trayectoria principal de oxidante de entrada,

35 estando configurado dicho medio de control para controlar dicho divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable para controlar el flujo de oxidante de entrada entre dicha derivación de oxidante de entrada y dicha trayectoria principal de oxidante de entrada, estando situado dicho al menos un calentador de oxidante en dicha trayectoria principal de oxidante de entrada.

[0065] Por tanto, la derivación de oxidante de entrada actúa para derivar el al menos un calentador de oxidante. En otros modos de realización, la derivación de oxidante de entrada actúa para derivar dicho reformador/intercambiador de calor del reformador.

40 **[0066]** Por tanto, la al menos una fuente de calor no necesita controlarse (siempre que sea capaz de suministrar la cantidad de calor requerida), y en su lugar se varía el flujo de oxidante mediante una trayectoria principal y una derivación para lograr la temperatura del gas de entrada de cátodo requerida.

45 **[0067]** Preferiblemente, el divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable, la derivación de oxidante de entrada y la trayectoria principal de oxidante de entrada están situados entre el al menos un soplador de oxidante y el intercambiador de calor del reformador.

[0068] Otras disposiciones resultarán fácilmente evidentes para un experto en la materia. Por ejemplo, se pueden proporcionar múltiples entradas de oxidante en el sistema de IT-SOFC, p. ej., una entrada de oxidante calentada y una entrada de oxidante sin calentar, junto con una disposición de válvula y/o soplador para controlar el flujo a través de dichas entradas o desde las mismas.

50 **[0069]** Preferiblemente, el IT-SOFC comprende de forma adicional:

una derivación de oxidante de entrada desde una entrada de oxidante hasta dicho intercambiador de calor del reformador, y un primer soplador, y

una trayectoria principal de oxidante de entrada desde una entrada de oxidante hasta dicho reformador hasta dicho reformador, y un segundo soplador,

- 5 estando configurado dicho medio de control para controlar dicho primer y dicho segundo soplador para controlar el flujo de oxidante de entrada entre dicha derivación de oxidante de entrada y dicha trayectoria principal de oxidante de entrada, estando situado dicho al menos un calentador de oxidante en dicha trayectoria principal de oxidante de entrada.

10 **[0070]** La disposición del intercambiador de calor de flujo paralelo del reformador significa que la calidad del reformado (es decir, el grado de reformado del combustible de entrada) no se ve afectada considerablemente por los índices de flujo de fluido y (como una función de la temperatura del reformador) se enlaza directamente a la temperatura de entrada (oxidante) de cátodo del apilamiento de celdas de combustible. La temperatura del oxidante al apilamiento de celdas de combustible se controla variando las proporciones de oxidante de entrada que se introducen mediante la trayectoria principal de oxidante de entrada y la derivación de oxidante de entrada.
15 Por tanto, el oxidante de entrada que pasa a la al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible puede mantenerse a una temperatura generalmente constante a medida que se produce la degradación del apilamiento de celdas de combustible.

20 **[0071]** A medida que el apilamiento de celdas de combustible se degrada, el índice de flujo del oxidante de entrada al intercambiador de calor del reformador (y al apilamiento de celdas de combustible) aumenta para mantener la temperatura deseada o conseguir la temperatura predeterminada en la sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible y, por tanto, aumenta la entalpía de la corriente total. Sin embargo, la naturaleza coflujo del reformador del intercambiador de calor significa que el aumento resultante de la temperatura de salida del reformado es significativamente menor que si el índice de flujo de oxidante de entrada no hubiera aumentado y, en su lugar, hubiera aumentado la temperatura en el
25 sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible. Por tanto, la calidad del reformado se mantiene a lo largo de la vida del sistema y el nivel de reformado interno no disminuye de la forma experimentada con las disposiciones del apilamiento de celdas de combustible de la técnica anterior.

30 **[0072]** El acoplamiento en la presente invención de la temperatura del reformador a las temperaturas de entrada del ánodo y el cátodo del apilamiento de celdas de combustible significa que el cambio de temperatura para el flujo de entrada de ánodo que pasa desde el reformador (es decir, el reformado) hasta la entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible es relativamente pequeña, lo que a su vez significa que el riesgo de pérdida de carbono se reduce de forma considerable en comparación con los dispositivos de la técnica anterior.

35 **[0073]** A medida que se degrada el apilamiento de celdas de combustible y disminuye la eficiencia eléctrica, el calor liberado por el apilamiento de celdas de combustible aumenta, requiriendo un aumento en el índice de flujo de oxidante del cátodo con el fin de mantener una temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible.

40 **[0074]** Por tanto, aunque el aumento del flujo de entrada de oxidante al apilamiento de celdas de combustible da lugar a un aumento en el consumo de potencia del soplador, la presente invención significa que el aumento en el flujo de entrada de oxidante no altera la calidad del reformado, lo que a su vez significa que se mantiene la cantidad de reformado interno endotérmico en el apilamiento de celdas de combustible, lo que a su vez significa que no se requiere más refrigeración adicional del apilamiento de celdas de combustible.

45 **[0075]** La disposición de flujo paralelo del intercambiador de calor del reformador y el acoplamiento cercano resultante de las temperaturas de entrada a los lados del cátodo y el ánodo del apilamiento de celdas de combustible también reduce las tensiones térmicas a través de las capas (cerámicas) de electrolito de la celda de combustible y, por tanto, aumenta la vida operativa del electrolito de la celda de combustible.

50 **[0076]** Preferiblemente, el flujo de reformado desde la salida de reformador se encuentra en comunicación de flujo de fluido directa con la al menos una entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible. Preferiblemente, la salida de cátodo desde el intercambiador de calor del reformador se encuentra en comunicación de flujo de fluido directa con la al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible.

[0077] Preferiblemente, el calentador de oxidante comprende al menos un intercambiador de calor.

55 **[0078]** Más preferiblemente, el al menos un calentador de oxidante comprende un intercambiador de calor precalentador de oxidante en comunicación de flujo de fluido con al menos una de dicha salida de efluentes gaseosos del ánodo de apilamiento de celdas de combustible y dicha salida de efluentes gaseosos del cátodo de apilamiento de celdas de combustible, y está dispuesto para intercambiar calor entre (a) flujo de gas desde dicha al menos una de dicha salida de efluentes gaseosos del ánodo de apilamiento de celdas de combustible y dicha

salida de efluentes gaseosos del cátodo de apilamiento de celdas de combustible, y (b) dicho oxidante de entrada.

[0079] Por tanto, el flujo de gas del ánodo y/o el cátodo caliente que sale del al menos un apilamiento de celdas de combustible se utiliza para calentar el flujo de oxidante de entrada al intercambiador de calor del reformador.

5 **[0080]** Aún más preferiblemente, el sistema de celdas de combustible comprende de forma adicional un quemador de gas residual en comunicación de flujo de fluido con dichas al menos una salida de efluentes gaseosos del ánodo y del cátodo de apilamiento de celdas de combustible, que presenta un escape de quemador de gas residual, que define una trayectoria de flujo de fluido desde dichas al menos una salida de efluentes gaseosos del ánodo y del cátodo de apilamiento de celdas de combustible hasta dicho escape de quemador de gas residual hasta dicho intercambiador de calor precalentador de oxidante, hasta dicho escape del sistema de celdas de combustible.

15 **[0081]** Por tanto, el combustible restante en el al menos un efluente gaseoso del ánodo del apilamiento de celdas de combustible se quema y el calor generado se utiliza para calentar el oxidante de entrada. Se requiere una temperatura de escape de quemador de gas residual mínima para cumplir con los requisitos de emisiones gaseosas. En el caso de que la temperatura del escape de quemador de gas residual caiga por debajo de este valor mínimo, se suministra combustible no reformado adicional directamente al quemador de gas residual desde la fuente de combustible para aumentar la temperatura del escape de quemador de gas residual.

20 **[0082]** Preferiblemente, el quemador de gas residual comprende de forma adicional una entrada de combustible de quemador de gas residual. Preferiblemente, el sistema de celdas de combustible comprende de forma adicional un sensor de temperatura del escape de quemador de gas residual, estando configurado el medio de control para proporcionar combustible adicional al quemador de gas residual mediante la entrada de combustible del quemador de gas residual cuando la temperatura detectada por el sensor de temperatura del escape de quemador de gas residual se encuentra por debajo de una temperatura predeterminada. Preferiblemente, la entrada de combustible del quemador de gas residual está adaptada para el suministro de combustible no reformado al quemador de gas residual, es decir, está conectada directamente a (está en comunicación de flujo de fluido directa con) una fuente de combustible, más preferiblemente a una fuente de combustible sin reformar.

30 **[0083]** Preferiblemente, el calentador de oxidante comprende un intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo en comunicación de flujo de fluido con dicha al menos una salida de efluentes gaseosos del ánodo del apilamiento de celdas de combustible, y está dispuesto para intercambiar calor entre (a) flujo de gas de dicha salida de efluentes gaseosos del ánodo y (b) dicho oxidante de entrada.

35 **[0084]** Preferiblemente, el sistema de IT-SOFC comprende de forma adicional un intercambiador de calor del condensador situado en la trayectoria de flujo de fluido de los efluentes gaseosos del ánodo entre dicho intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo y dicho quemador de gas residual, donde dicho intercambiador de calor del condensador está dispuesto para intercambiar calor entre dichos efluentes gaseosos del ánodo y un fluido refrigerante. Más preferiblemente, el intercambiador de calor del condensador está adaptado para hacer que la temperatura de los efluentes gaseosos del ánodo esté por debajo del punto de condensación del agua.

40 **[0085]** Preferiblemente, el fluido refrigerante forma parte de un sistema de fluido refrigerante. Preferiblemente, el sistema de fluido refrigerante forma parte de una unidad de calor y potencia combinada (CHP, por sus siglas en inglés), donde el sistema refrigerante se utiliza de forma controlada para transmitir calor desde los efluentes gaseosos del ánodo para ser utilizado por la unidad de CHP, tal como para calentar agua caliente o un almacenamiento térmico. Otros sistemas de fluido refrigerante serán fácilmente evidentes para un experto en la materia. Los ejemplos incluyen un sistema de radiador, en el que la energía térmica de los efluentes gaseosos del ánodo se transfiere mediante el fluido refrigerante hasta un radiador que a su vez transfiere la energía térmica a otro fluido, refrigerando de esta manera el fluido refrigerante.

[0086] Preferiblemente, el fluido refrigerante se utiliza para eliminar suficiente energía térmica de los efluentes gaseosos del ánodo para reducir la temperatura de los efluentes gaseosos del ánodo a un nivel por debajo del punto de condensación del agua, permitiendo de esta manera que el agua se condense a partir de los efluentes gaseosos del ánodo.

50 **[0087]** Más preferiblemente, el sistema de IT-SOFC comprende de forma adicional un separador situado en la trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del ánodo entre dicho intercambiador de calor del condensador y dicho quemador de gas residual, donde dicho separador está dispuesto para separar el condensado de dichos efluentes gaseosos del ánodo. Aún más preferiblemente, el separador comprende de forma adicional una salida de condensado del separador y está dispuesto para evacuar dicho condensado mediante dicha salida de condensado.

[0088] El condensado será agua y, por tanto, el separador puede utilizarse como sumisistro de agua a un generador de vapor y/o reformador de vapor.

[0089] Preferiblemente, el sistema de IT-SOFC comprende un intercambiador de calor precalentador de oxidante y un intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo, y una trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo pasa desde dicha entrada de oxidante hasta dicho intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo hasta dicho intercambiador de calor precalentador de oxidante hasta dicho intercambiador de calor del reformador. Como se ha indicado anteriormente, en algunos modos de realización existen múltiples trayectorias de flujo de oxidante de entrada, en particular una trayectoria de flujo principal de oxidante de entrada y una trayectoria de flujo de derivación de oxidante de entrada. En estos casos, la trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo que pasa desde dicha entrada de oxidante hasta dicho intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo hasta dicho intercambiador de calor precalentador de oxidante hasta dicho intercambiador de calor del reformador está en la trayectoria de flujo principal de oxidante de entrada.

[0090] Con los sistemas de la presente invención, se controlan las temperaturas de entrada y de salida del apilamiento de celdas de combustible.

[0091] Preferiblemente, el sistema de IT-SOFC comprende de forma adicional:

un evaporador que presenta una entrada de combustible en comunicación de flujo de fluido con dicha fuente de combustible, una entrada de agua en comunicación de flujo de fluido con una fuente de agua, y una salida de evaporador, estando situado el evaporador en la trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del ánodo entre dicha fuente de combustible y dicho reformador de vapor.

y un intercambiador de calor del evaporador situado en la trayectoria de flujo de fluido entre (a) al menos una de dicha salida de efluentes gaseosos del ánodo y dicha salida de efluentes gaseosos del cátodo, y (b) dicho escape del sistema de celdas de combustible,

donde:

dicho intercambiador de calor del evaporador se dispone para intercambiar calor entre (a) el flujo de gas procedente de dicha al menos una de dicha salida de efluentes gaseosos del ánodo y dicha salida de efluentes gaseosos del cátodo, y (b) al menos uno de dicho gas de entrada del ánodo y dicha agua.

[0092] Preferiblemente, el condensado (agua) de un separador se utiliza como fuente de agua para el evaporador y/o reformador de vapor.

[0093] También se proporciona según la presente invención un método de funcionamiento de un sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia según la presente invención, comprendiendo el método las etapas de:

(i) hacer pasar combustible desde una fuente de combustible hasta dicho reformador de vapor;

(ii) hacer pasar oxidante de entrada calentado desde dicha entrada de oxidante hasta dicho intercambiador de calor del reformador de manera que se intercambia el calor entre dicho oxidante de entrada calentado y dicho combustible;

(iii) hacer pasar gas de entrada del ánodo desde dicho reformador de vapor hasta dicha al menos una entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible, y hacer pasar el oxidante de entrada desde dicho intercambiador de calor del reformador hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible; y

(iv) hacer funcionar el al menos un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia.

[0094] En un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) que comprende:

(i) al menos un apilamiento de celdas de combustible que comprende al menos una celda de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia, y que presenta una entrada de ánodo, una entrada de cátodo, una salida de efluentes gaseosos del ánodo, una salida de efluentes gaseosos del cátodo, y que define trayectorias de flujo separadas para el flujo de gas de entrada del ánodo, de gas de entrada del cátodo, de efluentes gaseosos del ánodo y de efluentes gaseosos del cátodo; y

(ii) un reformador de vapor para reformar un combustible de hidrocarburo a un reformado, y que presenta una entrada de reformador para el gas de entrada del ánodo, una salida de reformador para evacuar el gas de entrada del ánodo y un intercambiador de calor del reformador;

y que define:

(a) una trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del ánodo desde una fuente de combustible hasta dicho reformador de vapor hasta dicha al menos una entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible;

5 (b) una trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del ánodo desde dicha al menos una salida de efluentes gaseosos del ánodo del apilamiento de celdas de combustible hasta un escape del sistema de celdas de combustible;

(c) una trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo desde una al menos una entrada de oxidante hasta dicho intercambiador de calor del reformador hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible; y

10 (d) una trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del cátodo desde dicha al menos una salida de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible hasta dicho escape del sistema de celdas de combustible;

15 donde dicho intercambiador de calor del reformador es un intercambiador de calor de flujo paralelo en comunicación de flujo de fluido con (i) dicha al menos una entrada de oxidante y dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible, y (ii) dicha fuente de combustible y dicha al menos una entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible, y está dispuesto para intercambiar calor entre dicho gas de entrada del cátodo y dicho gas de entrada del ánodo, comprendiendo dicho sistema de forma adicional:

una al menos una derivación de oxidante de entrada desde dicha al menos una entrada de oxidante hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible;

20 una trayectoria principal de oxidante de entrada desde dicha al menos una entrada de oxidante hasta dicho intercambiador de calor del reformador hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible; y

25 un divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable situado en dicha al menos una derivación de oxidante de entrada y dicha trayectoria principal de oxidante de entrada, para controlar el flujo de oxidante de entrada entre dicha al menos una derivación de oxidante de entrada y dicha trayectoria principal de oxidante de entrada.

[0095] La disposición del segundo aspecto permite que el índice de flujo de oxidante al intercambiador de calor del reformador y a la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible se controle desde una única fuente.

30 **[0096]** Todas las características preferibles del primer aspecto de la presente invención se pueden aplicar igualmente al segundo aspecto de la presente invención.

[0097] Según la presente invención, cada soplador y/o válvula/separador puede estar en comunicación con un medio de control y dirigido/controlado por el medio de control o en respuesta al mismo.

35 **[0098]** Según la presente invención, pueden proporcionarse uno o más sopladores o válvulas/separadores en una o más de entre la trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo principal, la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire y la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire. Por ejemplo, si se proporciona un único soplador, entonces pueden proporcionarse cero, una o dos válvulas/separadores, o si se proporcionan dos sopladores, entonces pueden proporcionarse cero o una única válvula/separador, o si se proporcionan tres sopladores, entonces pueden proporcionarse cero válvulas/separadores.

40 Las características anteriores analizadas con respecto al sistema de IT-SOFC se aplican igualmente al método, a menos que se indique lo contrario.

[0099] El término «quemador de gas residual» como se utiliza en el presente documento significa un quemador para quemar efluentes gaseosos del ánodo y del cátodo. Los quemadores de gas residual también mezclan normalmente los efluentes gaseosos del ánodo y del cátodo, aunque eso se puede realizar por separado en algunas circunstancias.

45 **[0100]** El término «trayectoria de flujo de fluido» se utiliza para definir las trayectorias de flujo de fluido entre varios componentes y, por tanto, también ha de entenderse que esos componentes están en comunicación de flujo de fluido entre sí.

[0101] A menos que el contexto indique lo contrario, el término «fluido» incorpora tanto líquidos como gases.

50 **[0102]** A menos que el contexto indique lo contrario, el término «temperatura operativa» significa una temperatura operativa en estado continuo, es decir, no incluye temperaturas de arranque y apagado.

[0103] A menos que se indique lo contrario, todos los valores de temperatura se proporcionan en grados Celsius (°C).

[0104] La referencia en el presente documento a un intercambiador de calor (e intercambiadores de calor) dispuesto para intercambiar calor entre un primer y un segundo fluido de intercambio de calor (p. ej., entre un gas de entrada del ánodo y un gas de entrada del cátodo) también es una referencia al intercambiador de calor que está dispuesto para intercambiar calor entre el primer y el segundo lado del intercambiador de calor y entre las trayectorias de flujo de fluido correspondientes, p. ej., entre el primer y el segundo lado de un material de intercambio de calor o la superficie de intercambio de calor, p. ej., entre un lado de entrada de ánodo y un lado de entrada de cátodo del intercambiador de calor, p. ej., entre una trayectoria de flujo de fluido de entrada de ánodo y una trayectoria de flujo de fluido de entrada de cátodo y dichos términos son intercambiables a menos que el contexto indique lo contrario.

10 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

[0105]

La figura 1 muestra un esquema de un sistema de celdas de combustible según la presente invención.

La figura 2 es una gráfica de diagrama de dispersión de los datos mostrados en la Tabla 1, que muestra el primer y cada quinto punto de datos (es decir, 0, 1110, 2110, 3110, 4110 segundos etc.);

15 La figura 3 muestra un esquema de un sistema de celdas de combustible alternativo según la presente invención;

La figura 4 muestra un esquema de un sistema de celdas de combustible alternativo según la presente invención;

La figura 5 muestra un esquema de un sistema de celdas de combustible alternativo según la presente invención; y

La figura 6 muestra un esquema de un sistema de celdas de combustible alternativo según la presente invención.

20 **[0106]** Al final de los modos de realización específicos se proporciona una lista de los signos de referencia utilizados en el presente documento.

[0107] Con fines ilustrativos únicamente, las figuras solo indican una única celda de combustible. En varios modos de realización, se proporcionan múltiples celdas de combustible. En modos de realización adicionales (no mostrados) se proporcionan múltiples apilamientos de celdas de combustible, y aún en modos de realización adicionales, se proporcionan múltiples apilamientos de celdas de combustible, comprendiendo cada uno múltiples celdas de combustible. Se entenderá que las entradas de ánodo y de cátodo, las salidas (efluentes gaseosos), los conductos, los colectores y los sensores de temperatura y su configuración se modifican según sea necesario para tales modos de realización, y resultará fácilmente evidente para un experto en la materia.

30 **[0108]** En los siguientes modos de realización, se utiliza aire como oxidante. Por lo tanto, cualquier referencia a «oxidante» en otra parte puede interpretarse como referencia a «aire» en los siguientes modos de realización, y viceversa.

[0109] Haciendo referencia a la Fig. 1, el sistema de celdas de combustible 10 es un sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC). El apilamiento de celdas de combustible 20 es un apilamiento de celdas de combustible de IT-SOFC con soporte metálico, como se enseña en US6794075. El sistema de celdas de combustible 10 presenta una salida eléctrica de 1 kW en estado continuo del apilamiento de celdas de combustible 20, y comprende 121 celdas de combustible IT-SOFC con soporte metálico 30. Cada celda de combustible 30 presente un lado del ánodo 40, una capa de electrolito 50 y un lado del cátodo 60. Cada capa de celda de combustible en el apilamiento de celdas de combustible está separada por una placa de interconexión metálica impermeable al gas conductora de electricidad (interconector) (no mostrada). También se proporcionan placas terminales del apilamiento de celdas de combustible y medios de compresión (no se muestran).

[0110] La referencia en el presente documento a celda de combustible 30 es al conjunto completo de 121 celdas de combustible 30.

[0111] La carga eléctrica L se coloca a través de la celda de combustible 30.

45 **[0112]** La entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible 41 está en comunicación de flujo de fluido con la entrada de ánodo de celda de combustible 41A para el flujo del gas de entrada del ánodo al lado del ánodo 40 de la celda de combustible 30. La salida de ánodo de la celda de combustible 42A está en comunicación de flujo de fluido con la salida de efluentes gaseosos del ánodo del apilamiento de celdas de combustible 42 para el flujo de los efluentes gaseosos del ánodo.

50 **[0113]** La entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61 está en comunicación de flujo de fluido con la entrada de cátodo de celda de combustible 61A para el flujo del gas de entrada del cátodo al lado del cátodo 60 de la celda de combustible 30. La salida de cátodo de la celda de combustible 62A está en

comunicación de flujo de fluido con la salida de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible 62 para el flujo de los efluentes gaseosos del cátodo.

[0114] El reformador de vapor 70 comprende una entrada de reformador 71 para gas de entrada del ánodo y una salida de reformador 72 para evacuar el gas de entrada del ánodo.

5 **[0115]** El quemador de gas residual 80 está en comunicación de flujo de fluido con las salidas de efluentes gaseosos del ánodo y del cátodo del apilamiento de celdas de combustible 42, 62 y presenta un escape de quemador de gas residual 81, una entrada de efluentes gaseosos del ánodo 82 y una entrada de efluentes gaseosos del cátodo 83. El quemador de gas residual 80 define una trayectoria de flujo de fluido desde las salidas de efluentes gaseosos del ánodo y del cátodo del apilamiento de celdas de combustible 42, 62 hasta el escape de quemador de gas residual 81, y está configurado para quemar los efluentes gaseosos del ánodo y del cátodo y producir un efluente gaseoso del quemador de gas residual.

10 **[0116]** Una trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del ánodo A se define desde la fuente de combustible 90 hasta el evaporador 100 hasta el reformador de vapor 70 hasta la entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible 41 hasta la entrada de ánodo de celda de combustible 41A, es decir, los componentes están en comunicación de flujo de fluido entre sí.

15 **[0117]** Una trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del ánodo B se define desde la salida del ánodo de celda de combustible 42A hasta la salida de efluentes gaseosos del ánodo del apilamiento de celdas de combustible 42 hasta el intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo 110 (HX-AOG, por sus siglas en inglés) hasta un intercambiador de calor del condensador 120 hasta el separador 130 hasta la entrada de efluentes gaseosos del ánodo 82 del quemador de gas residual 80.

20 **[0118]** La trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo 230 y la trayectoria de flujo del gas de entrada de la derivación de aire 240 tienen un número de componentes comunes y comparten una trayectoria de flujo común en un número de lugares, marcada como trayectoria C de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo y detallada a continuación.

25 **[0119]** La trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo principal 230 se define desde la entrada de oxidante 140 hasta el soplador 210 hasta la válvula/separador 220 hasta el intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo 110 hasta el intercambiador de calor precalentador de aire 150 (HX-APH, por sus siglas en inglés) hasta el intercambiador de calor del reformador 160 (HX-Ref, por sus siglas en inglés) hasta la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61 hasta la entrada de cátodo de la celda de combustible 61A.

30 **[0120]** La trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 se define desde la entrada de oxidante 140 hasta el soplador 210 hasta la válvula/separador 220 hasta la entrada de derivación de aire 190 hasta el intercambiador de calor del reformador 160 hasta la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61 hasta la entrada de cátodo de celda de combustible 61A.

35 **[0121]** Como se detalla a continuación, la válvula/separador 220 se controla mediante el medio de control 200 para separar el flujo de aire de entrada entre la trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo principal 230 y la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240.

[0122] Por tanto, la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 deriva el intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo 110 y el intercambiador de calor precalentador de aire 150.

40 **[0123]** En el presente modo de realización, las partes comunes de las trayectorias de flujo de gas 230 y 240 (trayectoria C de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo) son, por tanto, (a) entrada de oxidante 140 hasta soplador 210 hasta válvula/separador 220, y (b) intercambiador de calor del reformador 160 hasta entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61 hasta entrada de cátodo de celda de combustible 61A.

45 **[0124]** Una trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del cátodo D se define desde la salida de cátodo de la celda de combustible 62A hasta la salida de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible 62 hasta la entrada de efluentes gaseosos del cátodo 83 hasta el quemador de gas residual 80.

[0125] Una trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del quemador de gas residual E se define desde el escape de quemador de gas residual 81 hasta el intercambiador de calor precalentador de aire 150 hasta el intercambiador de calor del evaporador 170 (HX-Evap, por sus siglas en inglés) hasta el escape del sistema de celdas de combustible 180.

50 **[0126]** El intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo 110 está en comunicación de flujo de fluido con (i) la salida de efluentes gaseosos del ánodo del apilamiento de celdas de combustible 42 (es decir, con la salida de ánodo de la celda de combustible 42A) y la entrada de efluentes gaseosos del ánodo del quemador de gas residual 82, y (ii) la entrada de oxidante 140 y la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61 (es decir, con la entrada de cátodo de la celda de combustible 61A), y está dispuesto para intercambiar calor

entre los efluentes gaseosos del ánodo del apilamiento de celdas de combustible 20 y el gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible 20.

5 **[0127]** El intercambiador de calor precalentador de aire 150 está en comunicación de flujo de fluido con (i) el escape de quemador de gas residual 81 y el escape del sistema de celdas de combustible 180, y (ii) la entrada de oxidante 140 y la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61 (es decir, con la entrada de cátodo de la celda de combustible 61A), y está dispuesto para intercambiar calor entre los efluentes gaseosos del quemador de gas residual 81 y el gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible 20.

10 **[0128]** El intercambiador de calor del reformador 160 es un intercambiador de calor de flujo paralelo y está en comunicación de flujo de fluido con (i) la entrada de oxidante 140 y la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61 (es decir, con la entrada de cátodo de la celda de combustible 61A) y (ii) la fuente de combustible 90 y la entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible 41 (es decir, con la entrada de ánodo de la celda de combustible 41A), y está dispuesto para intercambiar calor entre el gas de entrada del cátodo y el gas de entrada del ánodo.

15 **[0129]** El evaporador 100 presenta una entrada de combustible 101 para el gas de entrada del ánodo de la fuente de combustible 90, una entrada de agua 102 para agua del suministro de agua 103 y una escape del evaporador 104 para evacuar el gas de entrada del ánodo del evaporador 100, y está situado en la trayectoria de flujo de fluido del gas de entrada del ánodo entre la fuente de combustible 90 y el reformador de vapor 70. El evaporador 100 comprende de forma adicional un intercambiador de calor del evaporador 170 situado en la trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del quemador de gas residual E entre el intercambiador de calor precalentador de aire 150 y el escape del sistema de celdas de combustible 180.

20 **[0130]** El intercambiador de calor del evaporador 170 está en comunicación de flujo de fluido con (i) el escape del quemador de gas residual 81 y el escape del sistema de celdas de combustible 180, y (ii) la fuente de combustible 90 y el suministro de agua 103 y la entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible 41 (es decir, con la entrada de ánodo de la celda de combustible 41A), y está dispuesto para intercambiar calor entre los efluentes gaseosos del quemador de gas residual y el gas de entrada del ánodo y el agua, generando una mezcla de combustible de vapor para el gas de entrada del ánodo al reformador de vapor 70.

25 **[0131]** El intercambiador de calor del condensador 120 está en comunicación de flujo de fluido con (i) la salida de efluentes gaseosos del ánodo del apilamiento de celdas de combustible 42 (es decir, con la salida de ánodo de la celda de combustible 42A) y la entrada de efluentes gaseosos del ánodo del quemador de gas residual 82, y (ii) el circuito refrigerante 121, y está dispuesto para intercambiar calor entre los efluentes gaseosos del ánodo del apilamiento de celdas de combustible 20 y un fluido refrigerante en el circuito refrigerante 121.

30 **[0132]** El separador 130 está situado en la trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del ánodo entre el intercambiador de calor del condensador 120 y el quemador de gas residual 80, y presenta una salida de condensado del separador 131, y está adaptado para separar el condensado de la trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del ánodo, y evacuar el condensado mediante la salida de condensado 131.

35 **[0133]** El medio de control 200 está conectado al sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T1, al sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T2, al soplador 210 y a la válvula/separador 220. El medio de control 200 está configurado para mantener la temperatura determinada por los sensores de temperatura T1 y T2 a una temperatura deseada o alrededor de una temperatura deseada durante el funcionamiento en estado continuo del sistema de celdas de combustible.

[0134] El medio de control 200 está adaptado para hacer funcionar dos bucles de control independientes que funcionan después de que el gas de entrada del cátodo atraviese la trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo C.

40 **[0135]** En el primer bucle de control, se controla el calentamiento del gas de entrada del cátodo. En el segundo bucle de control, se controla el índice de flujo de masa del gas de entrada del cátodo.

45 **[0136]** Para el primer bucle de control, el medio de control 200 controla la válvula/separador 220 para variar la división del flujo de oxidante de entrada entre las trayectorias de flujo de fluido 230 y 240. Por tanto, el medio de control 200 está configurado de manera que, si la temperatura determinada por el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T1 está por debajo de 542 °C para una salida de potencia eléctrica del apilamiento de celdas de combustible de 1 kW, ajusta la válvula/separador 220 para aumentar la proporción de oxidante de entrada que pasa a lo largo de la trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo principal 230 al intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo 110 y al intercambiador de calor precalentador de aire 150. Por tanto, la proporción de oxidante de entrada que pasa a lo largo de la trayectoria de flujo del gas de entrada de la derivación de aire 240 se reduce de forma correspondiente y se aumenta el calentamiento del oxidante de entrada.

5 **[0137]** En cambio, si la temperatura determinada por el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T1 está por encima de 542 °C para una salida de potencia eléctrica del apilamiento de celdas de combustible de 1 kW, el medio de control 200 ajusta la válvula/separador 220 para disminuir la proporción de oxidante de entrada que pasa a lo largo de la trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo principal 230 al intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo 110 y al intercambiador de calor precalentador de aire 150. Por tanto, la proporción de oxidante de entrada que pasa a lo largo de la trayectoria de flujo del gas de entrada de la derivación de aire 240 se aumenta de forma correspondiente y se disminuye el calentamiento del oxidante de entrada.

10 **[0138]** Por tanto, se controla la temperatura del gas de entrada del cátodo al al menos un apilamiento de celdas de combustible (como determina el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible).

15 **[0139]** Por tanto, también se controla la temperatura del oxidante que sale del intercambiador de calor del reformador 160 en la salida de oxidante del intercambiador de calor del reformador 162. Puesto que el intercambiador de calor del reformador 160 es un intercambiador de calor de flujo paralelo, esto significa que también se controla la temperatura del reformado (gas de entrada del ánodo) que sale del reformador de vapor 70 en la salida de reformador 72, lo que significa a su vez que se controla la calidad del reformado (es decir, el grado de reformación del combustible de entrada). Como se detalla a continuación, el segundo bucle de control provocará una variación menor en la temperatura del combustible que sale del reformador de vapor 70 en la salida de reformador 72, pero esto no tiene un efecto significativo en la calidad del reformado y en el rendimiento del apilamiento de celdas de combustible 20. De forma importante, la naturaleza de flujo paralelo del intercambiador de calor del reformador 160 significa que la temperatura del combustible que sale del reformador de vapor 70 nunca puede ser superior a la temperatura del oxidante que sale del reformador de vapor 70.

25 **[0140]** Por tanto, se controla la temperatura del gas de entrada del ánodo (es decir, la calidad del reformado) al al menos un apilamiento de celdas de combustible, y este control es independiente de las variaciones en (y, por tanto, de las demandas de calor ejercidas por) el flujo de masa del oxidante de entrada y el combustible, y las variaciones en las temperaturas de entrada del oxidante y el combustible al sistema de celdas de combustible 10.

30 **[0141]** Para el segundo bucle de control, el medio de control 200 controla el índice de flujo de masa del oxidante de entrada dirigido por el soplador 200. Puesto que se controla la temperatura determinada por el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T1 (y, por lo tanto, la temperatura en la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61), se consigue la refrigeración del apilamiento de celdas de combustible 20 controlando el índice de flujo de masa del oxidante a través del apilamiento de celdas de combustible 20.

35 **[0142]** Por lo tanto, el medio de control está configurado de manera que, si la temperatura determinada por el sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T2 está por encima de 610 °C para una salida de potencia eléctrica del apilamiento de celdas de combustible de 1 kW, ajusta el soplador 210 para aumentar el índice de flujo de masa del oxidante de entrada. Por consiguiente, se aumenta el índice de flujo de masa del oxidante de entrada a través del lado del cátodo 60 de la celda de combustible 30 y la cantidad de refrigeración se aumenta de forma correspondiente.

40 **[0143]** En cambio, si la temperatura determinada por el sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T2 está por debajo de 610 °C para una salida de potencia eléctrica del apilamiento de celdas de combustible de 1kW, el medio de control 200 ajusta el soplador 210 para disminuir el índice de flujo de masa del oxidante de entrada. Por consiguiente, se disminuye el índice de flujo de masa del oxidante de entrada a través del lado del cátodo 60 de la celda de combustible 30 y la cantidad de refrigeración se disminuye de forma correspondiente.

45 **[0144]** Por tanto, el medio de control 200 está adaptado para aumentar el índice de flujo de masa del gas de entrada del cátodo si la temperatura de los efluentes gaseosos del cátodo determinada por el sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T2 está por debajo de una temperatura predeterminada, y viceversa.

50 **[0145]** En el uso, el sistema de celdas de combustible 10 experimenta tres fases: arranque, estado continuo y apagado.

Arranque:

[0146] En esta etapa del funcionamiento, el apilamiento de celdas de combustible 20 está frío (o al menos por debajo de su temperatura operativa en estado continuo) y, por tanto, debe calentarse con el fin de conseguir un estado operativo.

55 **[0147]** Comenzando desde frío (p. ej., temperatura ambiente), se hace funcionar el soplador 210 para soplar aire a través del lado del cátodo del apilamiento de celdas de combustible 20, y se hace pasar el combustible

directamente al quemador de gas residual 80 desde la fuente de combustible 250 y se quema con el flujo de aire del soplador 210. El gas de escape sale del escape de quemador de gas residual 81 y pasa a través del intercambiador de calor precalentador de aire 150 donde calienta el aire de entrada, realizando a su vez un calentamiento del intercambiador de calor del reformador 160 y el lado del cátodo 60 del apilamiento de celdas de combustible 20. Se conduce el calor a través de la celda de combustible 30 de manera que también se calienta el lado del ánodo 40 de la celda de combustible 20. Puesto que el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T1 detecta una temperatura baja, se ajusta la válvula/separador 220 de manera que se hace pasar todo el aire de entrada a través de la trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo 230 y, por tanto, a través del intercambiador de calor precalentador de aire 150.

10 **[0148]** Puesto que la temperatura detectada por el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T1 aumenta a una temperatura superior a 300 °C, también se suministra combustible de la fuente de combustible 90. El combustible de la fuente de combustible 90 atraviesa el evaporador 100, mezclándose con el vapor generado dentro del evaporador 100 de la fuente de agua 103. Puesto que la mezcla de vapor de combustible resultante pasa a lo largo de la trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del ánodo A, es calentada de forma adicional por el intercambiador de calor del reformador 160 y es reformada parcialmente por el reformador 70 y pasa a la entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible 41 y a través del lado del ánodo 40 de la celda de combustible 30, actuando para protegerla de casos de oxidación adversos. A continuación, sale en la salida del ánodo del apilamiento de celdas de combustible 42 y pasa a lo largo de la trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del ánodo B al quemador de gas residual 80 donde se combustiona.

[0149] Esta continúa, comenzando a producirse el reformado del combustible de la fuente de combustible 90 y alcanzando el apilamiento de celdas de combustible 20 una temperatura a la que se genera electricidad.

25 **[0150]** A medida que el sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T2 detecta una temperatura creciente, se disminuye la cantidad de combustible suministrado al quemador de gas residual 80 de la fuente de combustible 250 hasta que el apilamiento de celdas de combustible 20 ha alcanzado una temperatura a la que es autosuficiente, y se detiene el suministro de combustible al quemador de gas residual 80 de la fuente de combustible 250.

30 **[0151]** El funcionamiento del apilamiento de celdas de combustible 20 continúa, la salida de potencia eléctrica del apilamiento de celdas de combustible 20 aumenta y la temperatura detectada por los sensores de temperatura T1 y T2 aumenta, variando los correspondientes bucles de control el índice de flujo de masa del aire de entrada y la división del aire entre las trayectorias de flujo 230 y 240.

35 **[0152]** Se alcanza un «estado continuo» cuando tanto el sensor de temperatura T1 como el sensor de temperatura T2 han alcanzado sus puntos de referencia operativos para la salida de potencia eléctrica del apilamiento de celdas de combustible dada. En el caso de una salida de potencia eléctrica del apilamiento de celdas de combustible de 1 kW, se trata de una temperatura de 542 °C para el sensor de temperatura T1 y una temperatura de 610 °C para el sensor de temperatura T2.

Estado continuo:

40 **[0153]** En esta etapa de funcionamiento, se mantiene el apilamiento de celdas de combustible 20 a temperatura operativa, según determinan los sensores T1 y T2. Se genera electricidad y es utilizada por la carga L a través de la celda de combustible 30. Las temperaturas detectadas por los sensores de temperatura T1 y T2 variarán y el medio de control 200 varía el índice de flujo de masa de aire de entrada y la división del aire entre las trayectorias de flujo 230 y 240 en consecuencia.

45 **[0154]** En este modo de funcionamiento, la potencia eléctrica generada por el apilamiento de celdas de combustible 20 puede variar entre cero y la potencia nominal del apilamiento de celdas de combustible. El medio de control 200 controla la cantidad de potencia eléctrica generada respondiendo a la carga eléctrica L hasta la potencia nominal del apilamiento de celdas de combustible.

Apagado:

50 **[0155]** En esta etapa de funcionamiento, ya no se requiere la potencia eléctrica del sistema de celdas de combustible 10 y se inicia una secuencia de apagado controlada. La demanda de potencia del apilamiento de celdas de combustible 20 se reduce a cero y se reduce el punto de referencia de la temperatura para la entrada de aire del apilamiento de celdas de combustible T1, mientras que se aumenta el índice de flujo de aire del soplador 210. Se continúa introduciendo una pequeña cantidad de combustible desde la fuente de combustible 90 hasta el reformador 70 y, por consiguiente, en el apilamiento de celdas de combustible 20 y el quemador de gas residual 80. El flujo continuado de reformado mantiene una atmósfera reductora sobre el lado del ánodo 40 de la celda de combustible 30 durante esta primera fase de apagado. Una vez que la temperatura determinada por el sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T2 (y, por lo tanto, del apilamiento de celdas de combustible 20) está por debajo de la temperatura de activación de

oxidación del ánodo (alrededor de 450 °C), se detiene el combustible introducido desde la fuente de combustible 90 hasta el reformador de vapor 70. También se detiene el flujo de aire del soplador 210, y el sistema de celdas de combustible 10 y, por consiguiente, el apilamiento de celdas de combustible 20, se deja enfriar de forma natural.

5 **[0156]** En la Tabla 1 (a continuación) y en la figura 2 se muestran los datos del funcionamiento de arranque y en estado continuo de un sistema de celdas de combustible 10 según la presente invención que consiste en un único apilamiento de celdas de combustible que presenta 121 celdas de combustible. Los datos mostrados en la tabla corresponden a un periodo operativo de 30110 segundos, es decir, en exceso de 8 horas.

[0157] En la Tabla 1 y la figura 2, las abreviaturas tienen los siguientes significados:

- 10 Escape de TGB (°C) - temperatura en el escape de quemador de gas residual 81
- Entrada de aire del reformador (°C) - temperatura en la entrada de oxidante del intercambiador de calor del reformador 161
- Salida de aire del reformador (°C) - temperatura en la salida de oxidante del intercambiador de calor del reformador 162
- 15 Entrada de aire del apilamiento (°C) - temperatura en la entrada de oxidante del apilamiento de celdas de combustible 61, detectada por el sensor de temperatura T1
- Salida de aire del apilamiento (°C) - temperatura en la salida de oxidante del apilamiento de celdas de combustible 62, detectada por el sensor de temperatura T2
- 20 Salida de potencia eléctrica del apilamiento (W) - salida de potencia eléctrica determinada a través del circuito eléctrico con carga L

[0158] En un segundo modo de realización, como se muestra en la Fig. 3, se prescinde de la válvula/separador 220 y la parte común de la trayectoria de flujo del gas de entrada del cátodo C antes de la misma.

25 **[0159]** La trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo principal 230 se define desde la entrada de oxidante 140 hasta el soplador 210 hasta el intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo 110 hasta el intercambiador de calor precalentador de aire 150 hasta el intercambiador de calor del reformador 160 hasta la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61 hasta la entrada de cátodo de celda de combustible 61A.

30 **[0160]** La trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 se define desde la entrada de oxidante 140' hasta el soplador 210' hasta la entrada de derivación de aire 190 hasta el intercambiador de calor del reformador 160 hasta la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61 hasta la entrada de cátodo de celda de combustible 61A.

35 **[0161]** El medio de control 200 está conectado al sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T1, al sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T2, y a los sopladores 210 y 210'. El medio de control 200 está configurado para mantener la temperatura determinada por los sensores de temperatura T1 y T2 a una temperatura deseada o alrededor de una temperatura deseada durante el funcionamiento en estado continuo del sistema de celdas de combustible.

40 **[0162]** Como sucede con el modo de realización anterior, en el primer bucle de control, se controla el calentamiento del gas de entrada del cátodo. En el segundo bucle de control, se controla el índice de flujo de masa del gas de entrada del cátodo. El calentamiento del gas de entrada del cátodo se controla variando la relación del flujo de masa del gas de entrada del cátodo entre la trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo principal 230 y la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240. Esto se consigue variando las velocidades relativas de (y, por tanto, el flujo de masa suministrado desde) los sopladores 210 y 210'. Si la temperatura del gas de entrada del cátodo medida en el sensor de temperatura T1 es demasiado baja, se reduce la relación del flujo de gas de entrada del cátodo a través de la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 con respecto al flujo de gas de entrada del cátodo a través de la trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo principal, y viceversa.

50 **[0163]** En el segundo bucle de control, se controla el índice de flujo de masa del gas de entrada del cátodo. El índice de flujo de masa del gas de entrada del cátodo en el apilamiento de celdas de combustible es el índice de flujo de masa de gas de entrada del cátodo total de los sopladores 210 y 210'. Si la temperatura de los efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible medida en el sensor de temperatura T2 es demasiado alta, se aumenta el flujo de masa total del gas de entrada del cátodo suministrado por los sopladores 210 y 210', y viceversa.

[0164] El tercer modo de realización, como se muestra en la Fig. 4, es similar al segundo modo de realización y solo se describirán las diferencias. Se proporcionan una entrada de oxidante 140" y un soplador 210" adicionales para proporcionar una trayectoria adicional de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 260. Se proporciona un sensor de temperatura T3 adicional, que es un sensor de temperatura de gas de entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible T3. Estas características adicionales proporcionan una entrada de aire adicional en la trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo (C).

[0165] La trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 260 se define desde la entrada de oxidante 140" hasta el soplador 210" hasta la entrada de derivación de aire 190' hasta la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61 hasta la entrada de cátodo de celda de combustible 61A. Por tanto, la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 260 se encuentra con la trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo (C) en la entrada de derivación de aire 190' que se encuentra entre el intercambiador de calor del reformador 160 (y aguas abajo del mismo) y la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61, más en particular entre la salida de oxidante del intercambiador de calor del reformador 162 y el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T1.

[0166] En este modo de realización, el medio de control 200 está conectado de forma adicional al sensor de temperatura de gas de entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible T3 y al soplador 210". El medio de control 200 está configurado para mantener la temperatura determinada por los sensores de temperatura T1, T2 y T3 a una temperatura deseada o alrededor de una temperatura deseada durante el funcionamiento en estado continuo del sistema de celdas de combustible.

[0167] El índice de flujo de aire a través de la trayectoria de gas de entrada de la derivación de aire adicional 260 se controla de forma independiente de los índices de flujo de aire en la trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo principal 230 y la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240.

[0168] La ventaja adicional de este modo de realización es que proporciona un grado de control independiente de la temperatura de la corriente de salida de reformado del intercambiador de calor del reformador 160. El control de temperatura en la salida de reformador 72 proporciona la capacidad de aumentar la temperatura de la trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del ánodo A en relación con la temperatura de la entrada de cátodo de la celda de combustible 61A. Puesto que la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 260 proporciona aire que está más frío que el aire que sale del intercambiador de calor del reformador 160, el aire proporcionado por la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 260 puede refrigerar, pero no calentar, el aire que sale del intercambiador de calor del reformador 160. Por consiguiente, la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire adicional 260 que proporciona aire frío según el presente modo de realización permite que la temperatura de entrada del ánodo sea más alta que la temperatura de entrada del cátodo, pero no permite que la temperatura de entrada del ánodo sea inferior a la temperatura de entrada del cátodo.

[0169] El aumento de la temperatura del gas de entrada del ánodo en la salida de reformador 72 también aumenta la temperatura de equilibrio de la reacción de reformado alcanzada dentro del intercambiador de calor del reformador 160 y, por consiguiente, aumenta la concentración de hidrógeno dentro del gas de entrada del ánodo en la entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible 41. La concentración aumentada de hidrógeno dentro del gas de entrada del ánodo reducirá la tensión en la celda de combustible 30 y reduce la cantidad de reformado interno requerido por la celda de combustible 30.

[0170] Se proporciona un sensor de temperatura adicional T3 (que es un sensor de temperatura de gas de ánodo del apilamiento de celdas de combustible T3) para medir la temperatura del gas de ánodo en la entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible 41. Además, se proporciona un bucle de control adicional para controlar el índice de flujo de aire en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 con el fin de mantener la temperatura del gas de entrada del ánodo en la entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible 41 a una temperatura predeterminada. El aumento del índice de flujo de oxidante en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 reduce la temperatura del oxidante que entra en la entrada de oxidante del intercambiador de calor del reformador 161. Esta reducción de temperatura del oxidante reducirá la temperatura del gas de entrada del ánodo en la salida de reformador 72 y también reducirá la temperatura de equilibrio de la reacción de reformado. Por otro lado, la disminución del índice de flujo de oxidante en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 aumenta la temperatura del oxidante que entra en la entrada de oxidante del intercambiador de calor del reformador 161. Este aumento de temperatura del oxidante aumenta la temperatura del gas de entrada del ánodo en la salida de reformador 72 y también aumenta la temperatura de equilibrio de la reacción de reformado. En el presente modo de realización, el índice de flujo del oxidante a través de la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 260 controla la temperatura de la entrada de cátodo de la celda de combustible 61A y el índice de flujo de oxidante en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 controla la temperatura del flujo de reformado de la salida del reformador 72.

5 **[0171]** El aumento del índice de flujo de oxidante en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 260 reduce la temperatura de la corriente de oxidante en la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61. En cambio, la reducción del índice de flujo de oxidante en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire adicional 260 aumenta la temperatura de la corriente de oxidante en la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61.

10 **[0172]** El aumento del índice de flujo del oxidante en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 reduce la temperatura del gas de entrada del ánodo en la salida de reformador 72 y del gas de entrada del cátodo en la salida de oxidante del intercambiador de calor del reformador 162. En cambio, la reducción del índice de flujo del oxidante en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 aumenta la temperatura del gas de entrada del ánodo en la salida de reformador 72 y del gas de entrada del cátodo en la salida de oxidante del intercambiador de calor del reformador 162. Por ejemplo, si el medio de control 200 determina que el sensor de temperatura de gas de entrada del ánodo del apilamiento de celdas de combustible T3 ha de mantenerse a una temperatura más alta o más baja, el índice de flujo de oxidante en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 puede aumentarse o disminuirse, respectivamente, controlando el soplador 140'. Por otro lado, si el medio de control 200 determina que el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T1 ha de mantenerse a una temperatura más alta o más baja, el índice de flujo de oxidante en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 y/o la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire adicional 260 puede aumentarse o disminuirse, respectivamente, controlando el soplador 140' para el índice de flujo de oxidante en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 o el soplador 140" para el índice de flujo de oxidante en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire adicional 260.

25 **[0173]** Como se muestra en la Fig. 5, un cuarto modo de realización proporciona una única corriente de derivación de oxidante, trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 260, que está dispuesta para unirse a la trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo principal 230 entre la salida de oxidante del intercambiador de calor del reformador 162 y la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61. En esta disposición, el diseño del intercambiador de calor del reformador 160 y la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 260 significa que en el límite del apilamiento de celdas de combustible 20 la temperatura del fluido de gas de entrada del ánodo será más alta que la temperatura del fluido de gas de entrada del cátodo. El aumento de la temperatura del gas de entrada del ánodo en la salida de reformador 72 también aumenta la temperatura de equilibrio de la reacción de reformado alcanzada dentro del intercambiador de calor del reformador 160 y, por consiguiente, aumenta la concentración de hidrógeno dentro del gas de entrada del ánodo en la entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible 41. La concentración aumentada de hidrógeno dentro del gas de entrada del ánodo reduce la tensión en la celda de combustible 30 y reduce la cantidad de reformado interno requerido.

35 **[0174]** Los bucles de control requeridos para controlar el sistema de celdas de combustible 10 del cuarto modo de realización son los mismos que en el modo de realización de la Fig. 1, pero en el cuarto modo de realización los bucles de control controlan el índice de flujo de oxidante en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire adicional 260, en vez de la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240, en función de la medición de temperatura en el sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible T1.

40 **[0175]** En el cuarto modo de realización, al igual que en el tercer modo de realización, se proporciona un sensor de temperatura T3 adicional, que es un sensor de temperatura de gas de entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible T3. El T3 proporciona datos de temperatura adicionales pero no es esencial para que funcionen los bucles de control y el medio de control 200 del cuarto modo de realización.

45 **[0176]** Un quinto modo de realización, que se muestra en la Fig. 6, es similar al primer modo de realización y solo se describirán las diferencias. Se proporciona una válvula/separador 220' o divisor adicional en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240. La válvula/separador 220' adicional conecta la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 a una trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire adicional 260. La válvula/separador 220' adicional se controla mediante el medio de control 200 para separar el flujo de aire de entrada entre la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 240 y la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire adicional 260.

50 **[0177]** En el quinto modo de realización, al igual que en el tercer y el cuarto modo de realización, se proporciona un sensor de temperatura T3 adicional, que es un sensor de temperatura de gas de entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible T3. El medio de control 200 del quinto modo de realización funciona de forma similar a la del tercer modo de realización a excepción de que la válvula/separador 220' adicional es controlada por el medio de control 200 en vez de por el soplador 210" para controlar el flujo de aire de entrada en la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire adicional 260.

55 **[0178]** La trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire adicional 260 se define desde la entrada de oxidante 140 hasta el soplador 210 hasta la válvula/separador 220 hasta la válvula/separador 220' hasta la

5 entrada de la derivación de aire 190' hasta la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61 hasta la entrada de cátodo de celda de combustible 61A. Por tanto, la trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire 260 se encuentra con la trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo (C) en la entrada de derivación de aire 190' que se encuentra entre el intercambiador de calor del reformador 160 (y aguas abajo del mismo) y la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61. La disposición del presente modo de realización permite que el índice de flujo de oxidante al intercambiador de calor del reformador 160 y la entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible 61 se controle desde una única fuente.

[0179] Los signos de referencia se incorporan en las reivindicaciones únicamente para facilitar su comprensión y no limitan el alcance de las reivindicaciones.

10 [0180] La presente invención no está limitada únicamente a los modos de realización anteriores, y para un experto en la materia resultarán fácilmente evidentes otros modos de realización sin alejarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Tabla 1

Tiempo (S)	Escape de TGB (°C)	Entrada de aire del reformador (°C)	Salida de aire del reformador (°C)	Entrada de aire del apilamiento (°C)	Salida de aire del apilamiento (°C)	Salida de potencia eléctrica del apilamiento (W)
0	168	177	162	161	160	0
100	166	175	162	161	159	0
510	657	368	188	185	159	0
710	655	445	304	297	165	0
910	658	442	373	366	182	0
1110	659	441	408	401	206	2
1310	662	438	428	422	231	2
1510	662	434	439	433	256	2
1710	660	428	446	440	278	2
1910	658	424	449	443	298	2
2110	660	422	450	445	315	3
2310	660	418	451	446	330	3
2510	661	415	451	447	344	3
2710	665	520	481	475	355	6
2910	693	468	495	490	372	8
3110	711	469	497	492	388	9
3310	729	568	540	533	403	8
3510	750	578	556	549	421	8
3710	771	578	568	561	438	8
3910	790	574	575	569	454	8
4110	810	566	580	574	469	8
4310	819	555	582	577	482	8
4510	820	552	583	577	493	8
4710	822	533	580	575	503	269
4910	813	566	575	570	512	372
5110	811	564	576	571	520	435
5310	806	564	576	571	527	508

ES 2 646 022 T3

Tiempo (S)	Escape de TGB (°C)	Entrada de aire del reformador (°C)	Salida de aire del reformador (°C)	Entrada de aire del apilamiento (°C)	Salida de aire del apilamiento (°C)	Salida de potencia eléctrica del apilamiento (W)
5510	803	564	576	572	535	571
5710	798	556	575	572	542	667
5910	789	550	572	569	550	760
6110	823	578	570	568	557	865
6310	865	564	574	571	566	1004
6510	850	533	575	573	577	1027
6710	828	530	567	566	585	1042
6910	809	521	570	570	593	1051
7110	794	526	568	568	598	1056
7310	781	527	567	567	603	1060
7510	776	512	558	559	606	1062
7710	773	505	551	552	607	1063
7910	774	511	548	549	607	1063
8110	777	516	548	549	606	1061
8310	780	520	550	550	606	1061
8510	783	520	550	551	606	1061
8710	785	520	551	552	606	1061
8910	788	520	551	552	606	1061
9110	790	519	551	552	606	1061
9310	791	514	550	551	606	1062
9510	793	512	549	550	606	1062
9710	795	514	548	549	607	1063
9910	797	511	548	549	607	1063
10110	799	511	547	548	607	1063
10310	801	508	547	548	607	1063
10510	803	508	546	547	607	1064
10710	805	506	546	547	607	1064
10910	806	503	545	547	607	1064
11110	808	504	545	546	607	1063
11310	810	503	545	546	607	1062
11510	811	501	545	546	607	1063
11710	813	502	544	546	608	1063
11910	812	500	544	545	608	1063
12110	814	499	544	545	608	1063
12310	814	499	543	545	608	1063
12510	817	498	543	545	608	1064
12710	818	500	543	545	608	1064
12910	820	499	543	544	608	1064

ES 2 646 022 T3

Tiempo (S)	Escape de TGB (°C)	Entrada de aire del reformador (°C)	Salida de aire del reformador (°C)	Entrada de aire del apilamiento (°C)	Salida de aire del apilamiento (°C)	Salida de potencia eléctrica del apilamiento (W)
13110	820	497	542	544	608	1064
13310	821	498	542	543	608	1064
13510	822	496	542	543	609	1064
13710	823	498	542	543	609	1064
13910	823	496	541	543	609	1065
14110	825	499	541	543	609	1065
14310	825	497	541	543	609	1065
14510	825	498	541	543	609	1065
14710	827	498	541	543	609	1065
14910	827	497	541	542	609	1066
15110	828	498	540	542	609	1066
15310	828	498	540	542	609	1066
15510	828	497	540	542	609	1066
15710	828	498	540	542	609	1066
15910	829	497	540	542	609	1066
16110	829	497	540	542	609	1066
16310	830	498	540	542	609	1066
16510	831	498	540	542	609	1067
16710	828	498	540	542	610	1067
16910	829	498	540	542	610	1067
17110	830	498	540	542	610	1067
17310	830	498	540	542	610	1067
17510	831	498	540	542	610	1067
17710	831	498	540	542	610	1067
17910	832	499	540	542	610	1067
18110	831	498	540	542	610	1067
18310	831	498	540	542	610	1067
18510	831	498	540	542	610	1067
18710	832	498	540	542	610	1067
18910	832	498	540	542	610	1067
19110	832	498	540	542	610	1067
19310	831	498	540	542	610	1067
19510	831	498	540	542	610	1067
19710	830	497	540	542	610	1067
19910	830	497	540	542	610	1068
20110	830	498	540	542	610	1067
20310	831	498	540	542	610	1067
20510	830	498	540	542	610	1068

ES 2 646 022 T3

Tiempo (S)	Escape de TGB (°C)	Entrada de aire del reformador (°C)	Salida de aire del reformador (°C)	Entrada de aire del apilamiento (°C)	Salida de aire del apilamiento (°C)	Salida de potencia eléctrica del apilamiento (W)
20710	831	499	540	542	610	1068
20910	831	497	540	542	610	1068
21110	831	498	540	542	610	1068
21310	831	499	540	542	610	1068
21510	830	498	540	542	610	1067
21710	831	498	540	542	610	1068
21910	831	498	540	542	610	1068
22110	832	498	540	542	610	1067
22310	831	498	540	542	610	1068
22510	830	497	540	542	610	1068
22710	829	497	540	542	610	1067
22910	830	498	540	542	610	1068
23110	830	497	540	542	610	1068
23310	831	498	540	542	610	1068
23510	831	498	540	542	610	1068
23710	831	498	540	542	610	1068
23910	830	498	540	542	610	1068
24110	831	498	540	542	610	1069
24310	831	497	540	542	610	1068
24510	832	499	540	542	610	1069
24710	832	498	540	542	610	1069
24910	831	498	540	542	610	1069
25110	831	498	540	542	610	1069
25310	831	497	540	542	610	1069
25510	832	498	540	542	610	1069
25710	831	498	540	542	610	1068
25910	833	498	540	542	610	1069
26110	833	497	540	542	610	1069
26310	832	497	540	542	610	1069
26510	831	497	540	542	610	1069
26710	830	498	540	542	610	1069
26910	831	497	540	542	610	1069
27110	831	497	540	542	610	1069
27310	831	499	540	542	610	1069
27510	831	498	540	542	610	1069
27710	831	497	540	542	610	1069
27910	831	496	540	542	610	1069
28110	832	498	540	542	610	1069

ES 2 646 022 T3

Tiempo (S)	Escape de TGB (°C)	Entrada de aire del reformador (°C)	Salida de aire del reformador (°C)	Entrada de aire del apilamiento (°C)	Salida de aire del apilamiento (°C)	Salida de potencia eléctrica del apilamiento (W)
28310	832	498	540	542	610	1069
28510	834	500	540	542	610	1069
28710	833	498	540	542	610	1069
28910	834	499	540	542	610	1069
29110	834	498	540	542	610	1069
29310	834	497	540	542	610	1069
29510	833	499	540	542	610	1069
29710	834	498	540	542	610	1069
29910	833	498	540	542	610	1070
30110	833	497	540	542	610	1069

Signos de referencia:

[0181]

- 10 - sistema de celdas de combustible
- 20 - apilamiento de celdas de combustible
- 5 30 - celda de combustible
- 40 - lado del ánodo
- 41 - entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible
- 41A - entrada de ánodo de la celda de combustible
- 42 - salida de efluentes gaseosos del ánodo del apilamiento de celdas de combustible
- 10 42A - salida de ánodo de la celda de combustible
- 50 - capa de electrolito
- 60 - lado del cátodo
- 61 - entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible
- 61A - entrada de cátodo de la celda de combustible
- 15 62 - salida de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible
- 62A - salida de cátodo de la celda de combustible
- 70 - reformador de vapor
- 71 - entrada de reformador
- 72 - salida de reformador
- 20 80 - quemador de gas residual
- 81 - escape de quemador de gas residual
- 82 - entrada de efluentes gaseosos del ánodo
- 83 - entrada de efluentes gaseosos del cátodo
- 90 - fuente de combustible
- 25 100 - evaporador
- 101 - entrada de combustible
- 102 - entrada de agua

ES 2 646 022 T3

	103	- suministro de agua
	104	- escape de evaporador
	110	- intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo
	120	- intercambiador de calor condensador
5	121	- circuito refrigerante
	130	- separador
	131	- salida de condensado del separador
	140	- entrada de oxidante
	140'	- entrada de oxidante
10	140"	- entrada de oxidante
	150	- intercambiador de calor precalentador de aire
	160	- intercambiador de calor del reformador
	161	- entrada de oxidante del intercambiador de calor del reformador
	162	- salida de oxidante del intercambiador de calor del reformador
15	170	- intercambiador de calor evaporador
	180	- escape del sistema de celdas de combustible
	190	- entrada de derivación de aire
	190'	- entrada de derivación de aire
	200	- medio de control
20	210	- soplador
	210'	- soplador
	210"	- soplador
	220	- válvula/separador
	220'	- válvula/separador
25	230	- trayectoria de flujo de gas de entrada del cátodo principal
	240	- trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire
	250	- fuente de combustible
	260	- trayectoria de flujo de gas de entrada de la derivación de aire
	A	- trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del ánodo
30	B	- trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del ánodo
	C	- trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo
	D	- trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del cátodo
	E	- trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del quemador de gas residual
	G	- trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del cátodo del reformador
35	L	- carga eléctrica
	T1	- sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible
	T2	- sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible
	T3	- sensor de temperatura de gas de entrada del ánodo del apilamiento de celdas de combustible

REIVINDICACIONES

1. Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) que comprende:

5 (i) al menos un apilamiento de celdas de combustible (20) que comprende al menos una celda de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (30) y que presenta una entrada de ánodo, una entrada de cátodo, una salida de efluentes gaseosos del ánodo, una salida de efluentes gaseosos del cátodo, y que define trayectorias de flujo separadas para el flujo de gas de entrada del ánodo (A), de gas de entrada del cátodo (C), de efluentes gaseosos del ánodo (B) y de efluentes gaseosos del cátodo (D); y

10 (ii) un reformador de vapor (70) para reformar un combustible de hidrocarburo a un reformado, y que comprende una entrada de reformador (71) para el gas de entrada del ánodo, una salida de reformador (72) para evacuar el gas de entrada del ánodo y un intercambiador de calor del reformador (160);

y que define:

(a) una trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del ánodo (A) desde una fuente de combustible (90) hasta dicho reformador de vapor (70) hasta dicha al menos una entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible (41);

15 (b) una trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del ánodo (B) desde dicha al menos una salida de efluentes gaseosos del ánodo del apilamiento de celdas de combustible (42) hasta un escape del sistema de celdas de combustible (180);

20 (c) una trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo (C) desde una al menos una entrada de oxidante (140, 140', 140") hasta dicho intercambiador de calor del reformador (160) hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible (61); y

(d) una trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del cátodo (D) desde dicha al menos una salida de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible (62) hasta dicho escape del sistema de celdas de combustible (180);

25 donde dicho intercambiador de calor del reformador (160) es un intercambiador de calor de flujo paralelo en comunicación de flujo de fluido con (i) dicha al menos una entrada de oxidante (140, 140', 140") y dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible (61), y (ii) dicha fuente de combustible (90) y dicha al menos una entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible (41), y está dispuesto para intercambiar calor entre dicho gas de entrada del cátodo y dicho gas de entrada del ánodo.

30 2. Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según la reivindicación 1, que comprende de forma adicional un al menos un calentador de oxidante situado en dicha trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del cátodo (C) entre dicha entrada de oxidante (140, 140', 140") y dicho intercambiador de calor del reformador (160), un al menos un soplador de oxidante (210, 210', 210"), un sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo del apilamiento de celdas de combustible (T1), un sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo del apilamiento de celdas de combustible (T2) y un medio de control (200), estando adaptado dicho medio de control para controlar dicho al menos un soplador de oxidante (210, 210', 210") y el calentamiento del oxidante de entrada mediante dicho al menos un calentador de oxidante para mantener dicho sensor de temperatura de gas de entrada del cátodo (T1) a una temperatura predeterminada o alrededor de una temperatura predeterminada, y dicho sensor de temperatura de efluentes gaseosos del cátodo (T2) a una temperatura predeterminada o alrededor de una temperatura predeterminada.

40 3. Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según la reivindicación 1 o 2, que comprende de forma adicional:

una trayectoria principal de oxidante de entrada desde dicha al menos una entrada de oxidante (140, 140', 140") hasta dicho intercambiador de calor del reformador (160) hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible (61); y

45 una al menos una derivación de oxidante de entrada desde dicha al menos una entrada de oxidante (140, 140', 140") hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible (61), y/o desde dicha al menos una entrada de oxidante (140, 140', 140") hasta dicho intercambiador de calor del reformador (160) hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible (61).

50 4. Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según la reivindicación 3 cuando depende de la reivindicación 2, en el que dicho al menos un calentador de oxidante se sitúa en dicha trayectoria principal de oxidante de entrada.

5. Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según la reivindicación 3 o 4, donde dicha al menos una derivación de oxidante de entrada comprende al menos dos

derivaciones de oxidante de entrada, una desde dicha al menos una entrada de oxidante (140, 140', 140") hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible (61), y otra desde dicha al menos una entrada de oxidante (140, 140', 140") hasta dicho intercambiador de calor del reformador (160) hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible (61).

5 **6.** Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según la reivindicación 3, 4 o 5, que comprende de forma adicional un al menos un soplador de oxidante (210, 210', 210"), estando situado el al menos un soplador en dicha trayectoria principal de oxidante de entrada y/o dicha al menos una derivación de oxidante de entrada.

10 **7.** Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según cualquiera de las reivindicaciones 3-6, que comprende de forma adicional al menos un divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable, para controlar el flujo de oxidante de entrada entre dicha al menos una derivación de oxidante de entrada y dicha trayectoria principal de oxidante de entrada.

15 **8.** Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según la reivindicación 5, o la reivindicación 6 o 7 cuando depende de la reivindicación 5, o cualquier reivindicación que dependa de la misma, que comprende de forma adicional un divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable, para controlar el flujo de oxidante de entrada entre dicha una derivación de oxidante de entrada y dicha otra derivación de oxidante de entrada.

9. Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según la reivindicación 2, que comprende de forma adicional:

20 un divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable;

una derivación de oxidante de entrada; y

una trayectoria principal de oxidante de entrada,

25 estando configurado dicho medio de control para controlar dicho divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable para controlar el flujo de oxidante de entrada entre dicha derivación de oxidante de entrada y dicha trayectoria principal de oxidante de entrada, estando situado dicho al menos un calentador de oxidante en dicha trayectoria principal de oxidante de entrada.

10. Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según cualquiera de las reivindicaciones 2-9, comprendiendo dicho calentador de oxidante al menos un intercambiador de calor.

30 **11.** Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según la reivindicación 10, comprendiendo dicho al menos un calentador de oxidante un intercambiador de calor precalentador de oxidante en comunicación de flujo de fluido con al menos una de dicha salida de efluentes gaseosos del ánodo de apilamiento de celdas de combustible y salida de efluentes gaseosos del cátodo de apilamiento de celdas de combustible, y dispuesto para intercambiar calor entre (a) el flujo de gas desde dicha al menos una salida de efluentes gaseosos del ánodo de apilamiento de celdas de combustible y dicha salida de efluentes gaseosos del cátodo de apilamiento de celdas de combustible, y (b) dicho oxidante de entrada.

40 **12.** Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según la reivindicación 11, que comprende de forma adicional un quemador de gas residual en comunicación de flujo de fluido con dichas al menos una salida de efluentes gaseosos del ánodo y del cátodo de apilamiento de celdas de combustible, que presenta un escape de quemador de gas residual, que define una trayectoria de flujo de fluido desde dichas al menos una salida de efluentes gaseosos del ánodo y del cátodo de apilamiento de celdas de combustible hasta dicho escape de quemador de gas residual hasta dicho intercambiador de calor precalentador de oxidante, hasta dicho escape del sistema de celdas de combustible.

45 **13.** Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según cualquiera de las reivindicaciones 10-12, comprendiendo dicho calentador de oxidante un intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo en comunicación de flujo de fluido con dicha al menos una salida de efluentes gaseosos del ánodo del apilamiento de celdas de combustible, y dispuesto para intercambiar calor entre (a) el flujo de gas de dicha salida de efluentes gaseosos del ánodo y (b) dicho oxidante de entrada.

50 **14.** Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según la reivindicación 13 cuando depende de la reivindicación 12, que comprende de forma adicional un intercambiador de calor del condensador situado en la trayectoria de flujo de fluido de efluentes gaseosos del ánodo entre dicho intercambiador de calor de efluentes gaseosos del ánodo y dicho quemador de gas residual, donde dicho intercambiador de calor del condensador está dispuesto para intercambiar calor entre dichos efluentes gaseosos del ánodo y un fluido refrigerante.

15. Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende de forma adicional:

5 un evaporador que presenta una entrada de combustible en comunicación de flujo de fluido con dicha fuente de combustible, una entrada de agua en comunicación de flujo de fluido con una fuente de agua, y un escape de evaporador, estando situado el evaporador en la trayectoria de flujo de fluido de gas de entrada del ánodo entre dicha fuente de combustible y dicho reformador de vapor,

y un intercambiador de calor del evaporador situado en la trayectoria de flujo de fluido entre (a) al menos una de dicha salida de efluentes gaseosos del ánodo y dicha salida de efluentes gaseosos del cátodo, y (b) dicho escape del sistema de celdas de combustible,

10 donde:

dicho intercambiador de calor del evaporador se dispone para intercambiar calor entre (a) el flujo de gas procedente de dicha al menos una de dicha salida de efluentes gaseosos del ánodo y dicha salida de efluentes gaseosos del cátodo, y (b) al menos uno de dicho gas de entrada del ánodo y dicha agua.

16. Sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) según la reivindicación 1, que comprende de forma adicional:

15 una al menos una derivación de oxidante de entrada desde dicha al menos una entrada de oxidante hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible;

20 una trayectoria principal de oxidante de entrada desde dicha al menos una entrada de oxidante hasta dicho intercambiador de calor del reformador hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible; y

un divisor de flujo de oxidante de entrada ajustable situado en dicha al menos una derivación de oxidante de entrada y dicha trayectoria principal de oxidante de entrada, para controlar el flujo de oxidante de entrada entre dicha al menos una derivación de oxidante de entrada y dicha trayectoria principal de oxidante de entrada.

17. Método de funcionamiento de un sistema de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el método las etapas de:

(i) hacer pasar combustible desde una fuente de combustible (90) hasta dicho reformador de vapor (70);

30 (ii) hacer pasar oxidante de entrada calentado desde dicha entrada de oxidante (140) hasta dicho intercambiador de calor del reformador (160) de manera que se intercambia el calor entre dicho oxidante de entrada calentado y dicho combustible;

(iii) hacer pasar gas de entrada del ánodo desde dicho reformador de vapor (70) hasta dicha al menos una entrada de ánodo del apilamiento de celdas de combustible (41), y hacer pasar el oxidante de entrada desde dicho intercambiador de calor del reformador (160) hasta dicha al menos una entrada de cátodo del apilamiento de celdas de combustible (61); y

35 (iv) hacer funcionar el al menos un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia.

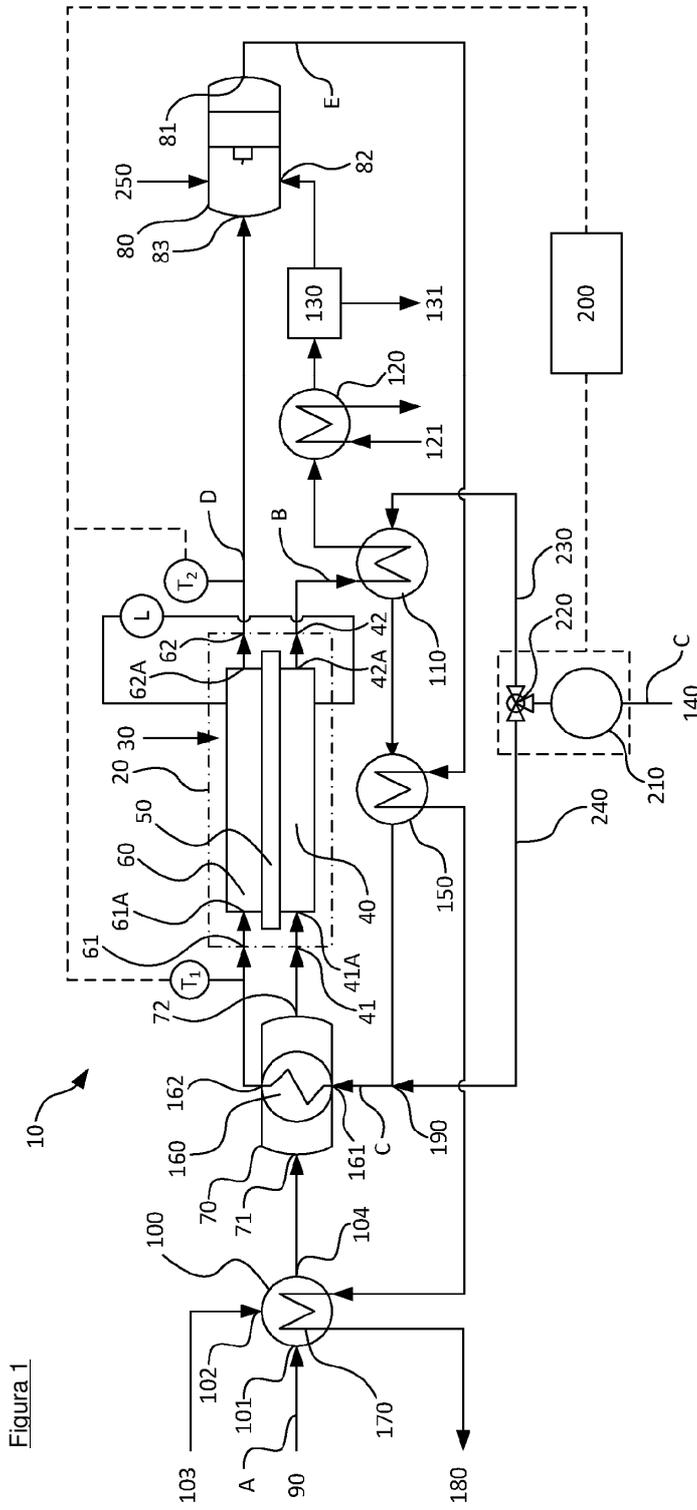
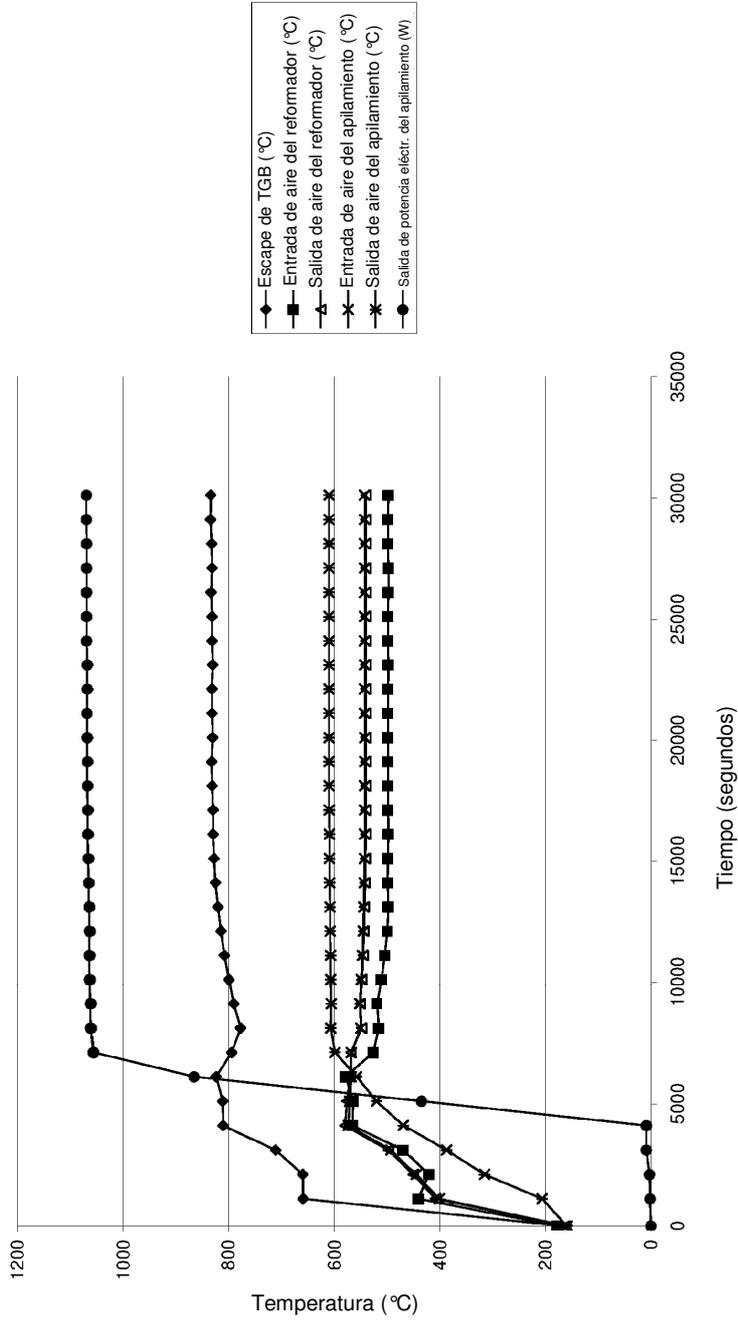


Figura 1

Figura 2



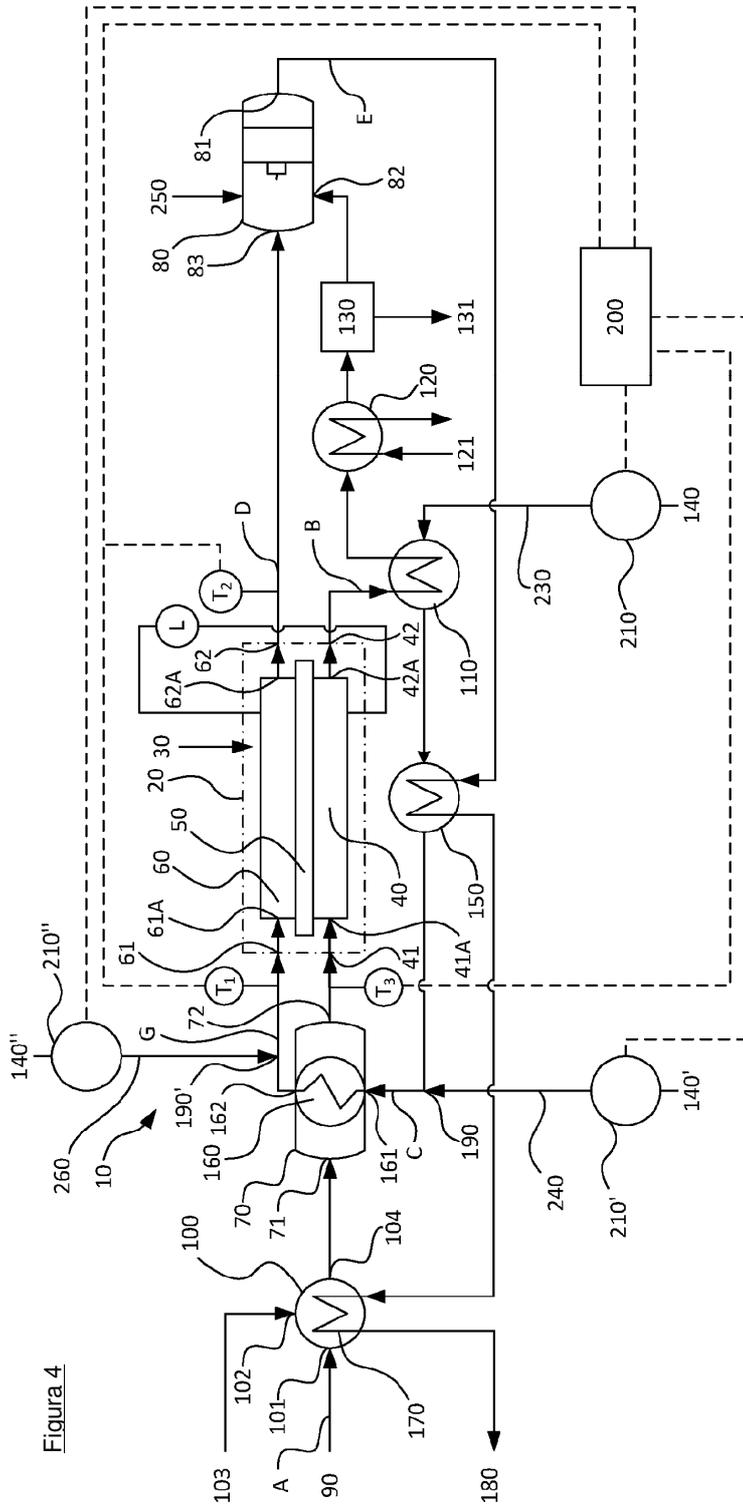


Figura 4

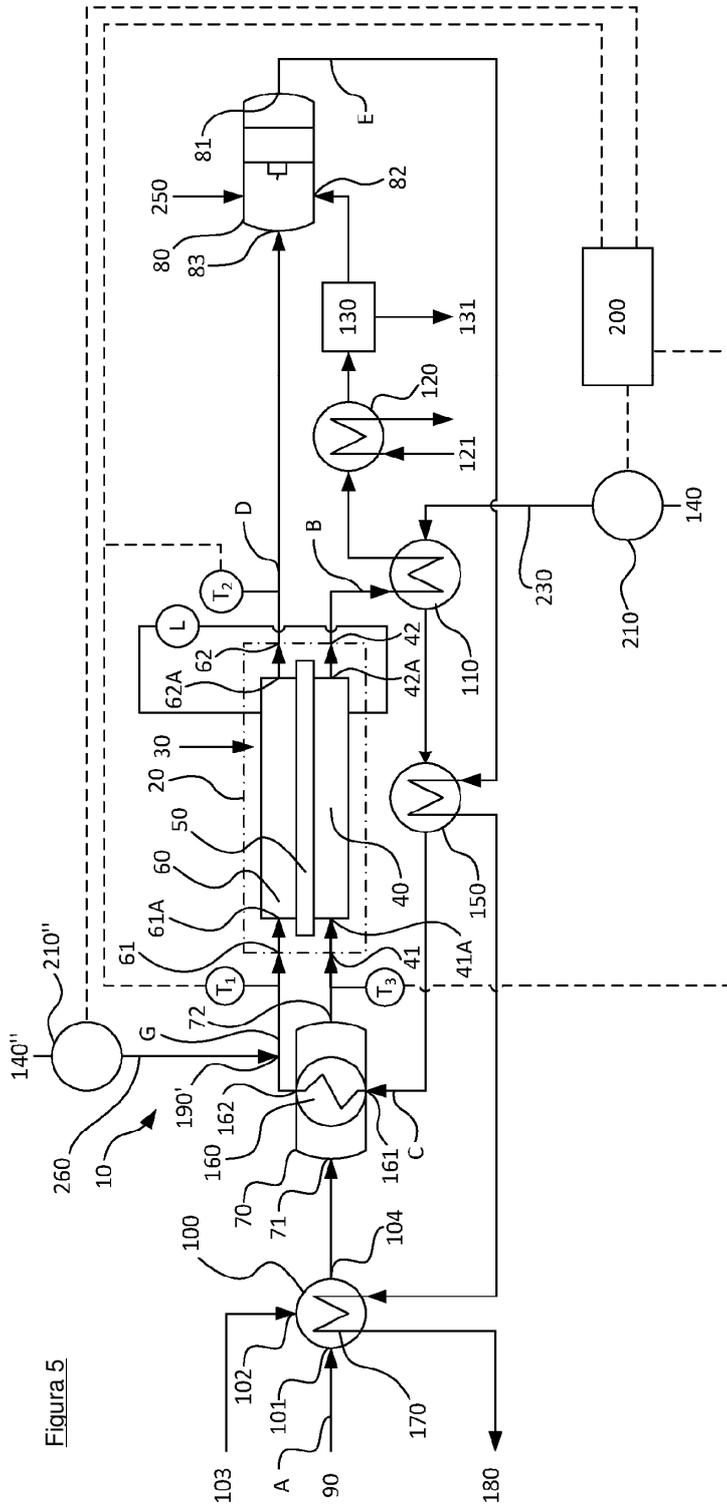


Figura 5

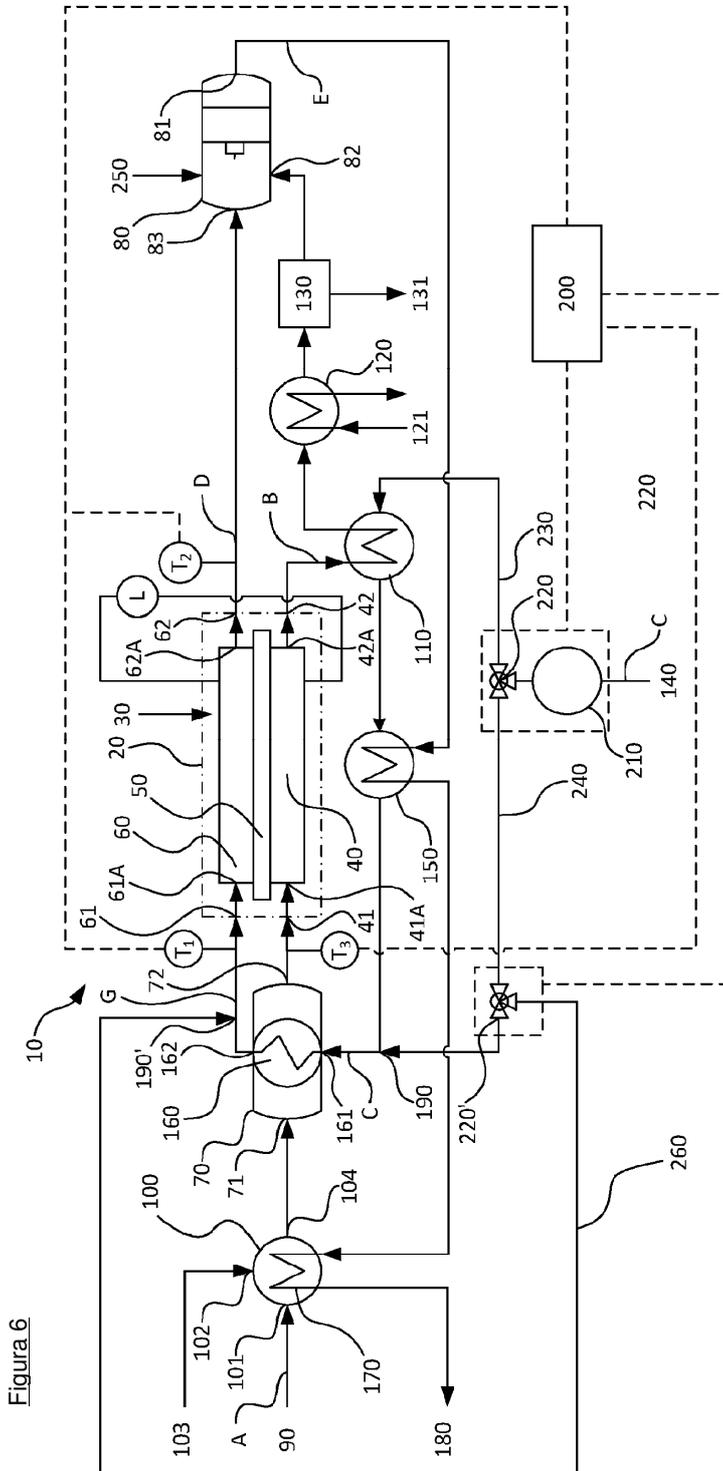


Figura 6