

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 212**

51 Int. Cl.:
H01M 8/24 (2006.01)
H01M 8/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09784995 .4**
96 Fecha de presentación: **20.08.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2313942**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.04.2011**

54 Título: **Flujo de aire mejorado de la campana de flujo de un apilamiento de celdas de combustible utilizando un dispositivo de distribución de aire**

30 Prioridad:
21.08.2008 GB 0815312
26.08.2008 GB 0815535
22.08.2008 US 90947 P

73 Titular/es:
Ceres Intellectual Property Company Limited
Viking House, Foundry Lane Horsham
Sussex RH13 5PX

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
18.09.2012

72 Inventor/es:
BARNARD, Paul;
Haidar, Neville y
HARRINGTON, Matthew

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
18.09.2012

74 Agente/Representante:
BALLESTER CAÑIZARES, Rosalía

ES 2 387 212 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).

FLUJO DE AIRE MEJORADO DE LA CAMPANA DE FLUJO DE UN APILAMIENTO DE CELDAS DE COMBUSTIBLE UTILIZANDO UN DISPOSITIVO DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE

Descripción

5 **[0001]** La presente invención está relacionada con un ensamblaje de apilamiento o “*stack*” de celdas de combustible mejorado, y métodos de funcionamiento de un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible, específicamente con una gestión térmica y del flujo de gas mejorada.

10 **[0002]** El término “ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible” como se usa aquí significa al menos un apilamiento de celdas de combustible, cada uno de los al menos un apilamiento de celdas de combustible comprende al menos una capa de apilamiento de celdas de combustible, cada al menos una capa de apilamiento de celdas de combustible comprende al menos una celda de combustible, conexiones de entrada/salida de oxidante y combustible, y trayectorias de flujo para la corriente o
15 corrientes de oxidante y combustible, y para la corriente o corrientes de oxidante y combustible usados, una placa base del apilamiento de celdas de combustible y una campana unida herméticamente a la placa base del apilamiento de celdas de combustible y que define un volumen de campana entre la placa base del apilamiento de celdas de combustible y la campana, al menos una entrada de gas en el volumen de campana, y un precalentador (no situado en el volumen de campana). Otros
20 componentes opcionales de un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible incluyen un ensamblaje de cierre del lado de combustible, ensamblaje de cierre del lado del oxidante, placas de extremo y un sistema de compresión, aislamiento del apilamiento de celdas de combustible, y conexiones eléctricas y de control/monitorización según convenga.

[0003] El término “ensamblaje de sistema de apilamiento de celdas de combustible” según el uso aquí realizado significa un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible junto con electrónica de sistema y medios de control. Otros componentes opcionales incluyen un reformador (si el combustible de entrada debe ser reformado o
30 prerreformado), un sistema de recuperación de agua, una unidad de generador de vapor, al menos una intercambiador de calor que implica opcionalmente el cambio de fase de una de las corrientes del intercambiador de calor, aislamiento térmico, un quemador de arranque, y una cámara de combustión de gases de cola.

[0004] El término “electrónica de sistema” incluye electrónica de control y/o cualquier
35 electrónica de potencia, donde puede haber al menos una placa y/o unidad electrónica situada de forma opcional junto con el ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible, o separada, en el mismo o cerca del mismo.

[0005] El término “medios de control” incluye válvulas y bombas de control de fluido y gas, unidad de soplador de aire (oxidante), y equipo de seguridad, junto con medios de entrada y detección, según convenga.

[0006] Los ensamblajes de apilamiento de celdas de combustible funcionan tomando oxidante y combustible de entrada para generar productos de oxidación (aquí denominadas corrientes de gases de escape, pero también denominados efluentes gaseosos del ánodo y efluentes gaseosos del cátodo), calor, y electricidad en forma de corriente CC. En términos generales, los ensamblajes de sistema de apilamiento de celdas de combustible pueden comprender también elementos adicionales que incluyen medios de control del sistema y electrónica de sistema, p.ej., electrónica de potencia que transforme la salida CC de la celda de combustible de un primer voltaje a un segundo voltaje, y/o transforme la salida CC de la celda de combustible en la forma de onda CA.

[0007] Resulta común manejar apilamientos de celdas de combustible con una proporción de oxidante y combustible de 1:1 y 20:1, más comúnmente de 5:1 a 15:1 y más comúnmente de 8:1 a 12:1. Por ello, en el funcionamiento normal se da un exceso estequiométrico de gas oxidante que fluye por el apilamiento de celdas de combustible. Normalmente, el exceso de flujo de gas oxidante se utiliza para permitir que se produzca el enfriamiento del apilamiento de celdas de combustible cerca del lugar de reacción electroquímica de la celda de combustible.

[0008] En los casos en los que se usa una unidad de reformador para reformar o prerreformar el combustible, es común utilizar un catalizador de reformado con vapor para lograr un proceso de reformado eficiente y eficaz. Por ejemplo, cuando se usa combustible basado en metano, como el gas natural, no resulta atípico tener una proporción de vapor y carbono de entre 2:1 y 3:1. Cuando se utiliza gas combustible basado en propano, como GLP, no es atípico tener proporciones de vapor y carbono de entre 3:1 y 4:1, aunque puede ser tan alta como 5:1 según los elementos constituyentes del GLP, como el porcentaje de hidrocarburos de cadena larga y dobles enlaces, p.ej., alquenos. Cuando se utiliza gas combustible basado en butano, no es atípico tener una proporción de vapor a carbono de entre 4:1 y 5:1. Para un diseño de reformador dado, aumentar la proporción de vapor a carbono durante el funcionamiento del reformador da como resultado generalmente una disminución en la temperatura de escape del reformador.

[0009] Para aquellos con habilidad en la técnica, resulta bien conocido que la eficacia operativa de una celda de combustible está relacionada con la temperatura local en el punto de la reacción electroquímica en la celda de combustible. En el funcionamiento del ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible, se calienta la corriente de

gas de entrada antes de su entrada a la celda de combustible; si entra en la celda de combustible a una temperatura demasiado baja, entonces la temperatura local en el punto de la reacción electroquímica puede ser demasiado baja y la eficacia operativa y la salida de potencia de la celda de combustible puede verse afectada de manera adversa. La capacidad de gestionar la temperatura de un apilamiento de celdas de combustible tiene un efecto significativo en la eficacia operativa del apilamiento de celdas de combustible y su salida de potencia nominal. Se realizan grandes esfuerzos en la ingeniería para diseñar apilamientos de celdas de combustible y un equilibrio de los componentes del equipo y procesos de control para asegurar que el apilamiento de celdas de combustible mantiene la temperatura correcta para la reacción electroquímica más eficaz en un margen de condiciones operativas. Las condiciones operativas típicas incluyen el arranque del sistema, funcionamiento en estado continuo, cambio de carga dinámica, y apagado del sistema.

[0010] Por ejemplo, con un dispositivo de celda de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC), la reacción electroquímica de la(s) celda(s) de combustible de un apilamiento de celdas de combustible en un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible puede operar del modo más eficiente con una temperatura local de la celda de combustible entre 450-650 °C. La temperatura operativa del apilamiento de celdas de combustible es normalmente de entre 450-650 °C. Para el funcionamiento eficaz del apilamiento de celdas de combustible es recomendable calentar las corrientes de entrada de combustible y oxidante a una temperatura cercana a la temperatura operativa del apilamiento de celdas de combustible, p.ej., entre el 0 y el 20%, más preferiblemente entre el 0 y el 10%, más preferiblemente todavía entre el 0 y el 5% de la temperatura operativa del apilamiento de celdas de combustible en °C. Un ejemplo de tal IT-SOFC sería un apilamiento de celdas de combustible que incorpora al menos una celda de combustible de electrolito basado en óxido de cerio dopado con gadolinio (CGO) soportado sobre metal. Un ejemplo de tal sistema IT-SOFC puede tener al menos un sistema de intercambio de calor (precalentador) capaz de calentar la corriente de gas oxidante que entra en el apilamiento de celdas de combustible a una temperatura de alrededor de 480 °C. En algunos diseños de sistemas de celdas de combustible, la temperatura de la corriente de gas oxidante de la salida del sistema intercambiador de calor se configura de forma que sea sustancialmente la misma que la temperatura requerida de la entrada de corriente de gas oxidante del apilamiento de celdas de combustible, de forma que no es necesario mayor intercambio de calor a la corriente de gas oxidante de entrada de la celda de combustible. En un sistema IT-SOFC típico, el gas de calefacción para el sistema de intercambio de calor puede tener una temperatura de entrada del sistema

intercambiador de calor de aproximadamente 510 °C. Debido al bajo potencial térmico entre la temperatura necesaria (aproximadamente 480 °C) de la corriente de gas oxidante que entra en el apilamiento de celdas de combustible y la temperatura de entrada del gas de calefacción del sistema de intercambio de calor de aproximadamente 510 °C, el diseño del intercambiador de calor tiene necesariamente un tamaño y masa elevados. Un ejemplo de tal sistema de intercambio de calor para un sistema de celdas de combustible con una potencia eléctrica de salida de aproximadamente 1kW sería una unidad de intercambio de calor de alta eficacia pero un diseño costoso y complejo con un peso de unos 3,5 kg.

10 **[0011]** El sistema de intercambio de calor para calentar la corriente de gas oxidante del apilamiento de celdas de combustible puede estar compuesto de al menos dos unidades intercambiadoras de calor. Las al menos dos unidades de intercambio de calor pueden utilizar al menos dos corrientes de gas del sistema de celdas de combustible (p.ej., una corriente de efluentes gaseosos del ánodo y una corriente de efluentes gaseosos del quemador de gases de cola) como un fluido de calefacción para las corriente de gas oxidante del apilamiento de celdas de combustible.

15 **[0012]** Se conocen diversas configuraciones de intercambio de calor para permitir el calentamiento de las corrientes de entrada de gas del apilamiento de celdas de combustible en la técnica precedente, p. ej., US 5902692, US 6042956 y EP 0580918. Sin embargo, tales dispositivos son complejos y costosos y difíciles de fabricar, y en especial se enfrentan a problemas a la hora de lograr el cierra hermético para evitar que se mezcle la corriente de gas, y tienen un área de superficie de intercambio de calor limitada.

25 **[0013]** El documento US 2005/0089731 describe un sistema que presenta las características esenciales de un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido combinado con un prerreformador y un intercambiador de calor integrado, en el cual el intercambiador de calor integrado incorpora dos intercambiadores de calor y una cámara de combustión de efluentes gaseosos del apilamiento de SOFC todo ello incluido en un recipiente adiabático.

30 **[0014]** La energía térmica liberada de la cámara de combustión de efluentes gaseosos se utiliza como fuente de calor en los intercambiadores de calor. La SOFC se describe como capaz de operar a 750 °C, aunque se afirma un intervalo operativo de 650-850 °C. El combustible es prerreformado a una temperatura de 300 a 600 °C (párrafo [0063]). En la mayoría de los modos de realización descritos, tanto el combustible como el aire se calientan a continuación en uno o más intercambiadores de calor utilizando el calor de la cámara de combustión catalítica en el intercambiador de calor integrado (párrafo [0079]) o utilizando el calor de la cámara de combustión y la energía

calorífica del aire o combustible que sale del apilamiento de celdas de combustible (párrafo [0080]).

[0015] Las Figuras 21 y 22 muestran una situación en la que el gas combustible, en lugar de ser introducido directamente en el apilamiento, es introducido por la periferia del apilamiento para obtener un calor extra antes de entrar en el propio apilamiento de celdas de combustible. Sin embargo, los detalles de este método no son propicios. El combustible se introduce desde el prerreformador directamente a entre 300 y 600 °C (395 °C – párrafo [0125]) en el espacio alrededor del apilamiento de celdas de combustible antes de que el combustible entre en el apilamiento de celdas de combustible. El apilamiento de celdas de combustible exige que el combustible se encuentre a una temperatura de 650-850 °C, más probablemente alrededor de 750 °C. No existe descripción de cómo logra el combustible una energía calorífica suficiente entre que sale del prerreformador y entra en el apilamiento de celdas de combustible. Para que se produzca un aumento de temperatura de más de 100 °C, el combustible tendría que permanecer en el vacío del área del apilamiento durante un tiempo suficiente para adquirir energía térmica suficiente, y no se muestra ninguna sugerencia o enseñanza de cómo lograr esto. Además, no hay explicación de cómo se estructura el vacío alrededor del apilamiento y cómo se logra un vacío estanco a gas para impedir que el gas salga del aislamiento térmico que compone el recipiente adiabático. Este asunto no resulta trivial puesto que las altas temperaturas y la presencia de gases explosivos que contienen hidrógeno convierte en un reto importante de ingeniería asegurar la estanqueidad completa al gas en un amplio margen operativo de temperaturas, algo que puede que ni siquiera sea posible con gases por encima de los 650 °C en el vacío entre la periferia del apilamiento y el aislamiento térmico del recipiente adiabático.

[0016] En el párrafo [0105] se afirma que en lugar de calentar el combustible en la periferia del apilamiento de celdas de combustible, puede calentarse el aire en la periferia del apilamiento de celdas de combustible. Se explica que el aire es introducido desde el soplador de aire directamente a la periferia del apilamiento de celdas de combustible. De nuevo, esto no resulta propicio. En primer lugar, el aire entraría en el vacío alrededor de la periferia a una temperatura cercana a la temperatura ambiente y necesitaría que la temperatura aumentara al menos 600 °C. No se describe ni se sugiere cómo se puede lograr esto, y si no se logra, entonces el apilamiento de celdas de combustible simplemente dejaría de funcionar. El choque térmico introducido en la superficie del apilamiento de celdas de combustible al introducir el aire a tal diferencia de temperatura provocaría fuertes tensiones locales que podrían llevar al fallo del apilamiento y/o pérdida de rendimiento del apilamiento

bien mediante el rápido enfriamiento local de los componentes de la celda de combustible activos en esa zona y/o pérdida de la integridad del sellamiento del gas o integridad del material cerámico.

5 **[0017]** De ese modo, el documento US 2005/0089731 resulta relevante pero es fundamentalmente deficiente en cuanto a su revelación.

[0018] Otras técnicas precedentes incluyen las descritas en los documentos EP 0377151, US 6670069, US 6866954, US 2001/0009732 (EP 1120845), US 2003/0235751, US 2004/0043267, US 2005/0014046, US 2005/0074659, US 2006/0204796, US 2006/0257696, US6942942 (EP1411571), US2003/0235733
10 (EP1394883), US7255157 (EP1460367), WO2008/104760 (GB2447136), y US2003/0235726.

[0019] Además, se ha descubierto que un apilamiento de celdas de combustible que tiene múltiples capas de celdas de combustible a un gradiente de temperatura no solo a lo largo de la línea reactiva de forma electroquímica, sino también a lo largo de la
15 altura del apilamiento (definida desde la capa del apilamiento de celdas de combustible más cercana a la placa base hasta la capa del apilamiento de celdas de combustible más alejada de la placa base). Es recomendable minimizar la diferencia en temperatura a lo largo de la altura del apilamiento de forma que cada celda de combustible opere generalmente de la misma manera.

20 **[0020]** La mayoría del enfriamiento del apilamiento se logra bien utilizando la corriente de oxidante (típicamente una corriente de aire) para eliminar la energía térmica de las zonas activas de manera electroquímica de la celda de combustible, o bien utilizando además la reacción de reformado interna endotérmica para eliminar el calor del área activa de forma electroquímica de la celda de combustible.

25 **[0021]** En un diseño de apilamiento de celdas de combustible, se espera que las temperaturas de la capa de celda de combustible del apilamiento de celdas de combustible sean ligeramente menores en el extremo superior y en el extremo inferior del apilamiento (en comparación con el centro del apilamiento) porque las placas de
30 extremo del apilamiento de celdas de combustible adyacentes a los extremos del apilamiento de celdas de combustible generalmente no son generadoras de calor, y por ello, actúan como un disipador térmico, quitando calor de las capas adyacentes de celdas de combustible del apilamiento de celdas de combustible. Aunque un diseño del apilamiento y del sistema que lo rodea eficaces pueden reducir el efecto del disipador térmico, aún se puede apreciar el efecto durante el funcionamiento del
35 apilamiento de celdas de combustible. Para un apilamiento de celdas de combustible con un diseño de entrada de oxidante de colector abierto, se ha descubierto que las temperaturas de entrada del oxidante a las capas de extremo del apilamiento de

celdas de combustible son más altas que aquellas en la parte media, y esto se debe principalmente a la adición de calor que se recoge de la placa base/de extremo del apilamiento de celdas de combustible.

5 **[0022]** Para un diseño de celda de combustible dado, hay un margen de temperatura operativa definida en el que la celda produce un voltaje y salida de corriente óptimos. El funcionamiento fuera de este margen de temperatura da como resultado un rendimiento no óptimo de la celda. La diferencia de temperatura en el apilamiento solo es importante cuando la diferencia en la temperatura operativa entre una celda de combustible y otra celda de combustible produce una diferencia en el rendimiento
10 operativo de la celda en aquellas celdas afectadas. Esta diferencia en el rendimiento operativo de la celda puede manifestarse como una reducción en la salida de potencia eléctrica del apilamiento de celdas de combustible como resultado de la variación de temperatura a lo largo del apilamiento de celdas de combustible. Por lo tanto, es recomendable controlar la diferencia de temperatura en el apilamiento para que todas
15 las celdas de combustible del apilamiento de celdas de combustible operen en el margen de temperatura óptimo y optimicen así la salida de potencia eléctrica del apilamiento de celdas de combustible.

[0023] Una forma de lograr esto es controlar las temperaturas de entrada de oxidante y entrada de combustible a cada celda de combustible en el apilamiento. Sin embargo,
20 en la práctica el diseño de apilamientos de la relación coste-eficacia para grandes volúmenes de fabricación da como resultado que se introduzca oxidante y combustible común a un gran número de celdas en el apilamiento de celdas de combustible; no resulta práctico proporcionar una entrada de oxidante diferenciada a cada celda de combustible. Un ejemplo de una configuración de entrada de oxidante
25 para un apilamiento de celdas de combustible es un colector de alimentación de fluido común en un diseño de apilamiento de celdas de combustible con colector integrado. En uso, dicho colector tendrá diferentes temperaturas a lo largo de su longitud debido a los efectos de extremo térmico del apilamiento. Si la diferencia de temperatura del colector provoca que la temperatura de entrada de fluido en las celdas de combustible
30 sea tal que la temperatura operativa de determinadas celdas se encuentra fuera del margen operativo eficaz, entonces puede verse afectada la eficacia operativa general del apilamiento y la salida de potencia eléctrica.

[0024] Un método alternativo consiste en adaptar los diseños de celdas de combustible de forma diferente para cada una de las temperaturas operativas del
35 apilamiento. Este enfoque no es recomendable en los casos en los que se toma un enfoque de bajo coste y alto volumen para la fabricación de celdas de combustible y para la fabricación de ensamblajes de apilamiento de celdas de combustible, en los

que se usa preferiblemente un solo diseño de celda de combustible a lo largo de la totalidad del apilamiento de celdas de combustible.

[0025] Otro enfoque consiste en utilizar múltiples alimentaciones de oxidante en el apilamiento de celdas de combustible, estando diseñadas las diferentes alimentaciones para alimentar oxidante a diferentes temperaturas. Esto no es recomendable puesto que aumenta la complejidad del apilamiento de celdas de combustible y la fabricación de ensamblajes de apilamientos de celdas de combustible, así como también provoca una complejidad adicional en el control del funcionamiento del apilamiento de celdas de combustible.

5
10 **[0026]** La presente invención trata de superar las desventajas de la técnica precedente.

[0027] Según la presente invención, se proporciona un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia que comprende:

- (i). una placa base;
- 15 (ii). una campana unida de forma hermética a dicha placa base y que define un volumen de campana entre dicha placa base y dicha campana;
- (iii). al menos un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia montado sobre dicha placa base y cerrado por dicha campana;
- 20 (iv). al menos una entrada de gas que define al menos un punto de entrada de gas en dicho volumen de campana; y
- (v). un precalentador situado de forma externa a dicho volumen de campana y en comunicación de fluido con una fuente de oxidante y dicha al menos una entrada de gas y adaptado para suministrar oxidante desde dicha fuente de oxidante a dicho volumen de campana mediante dicha entrada de gas,
- 25

cada apilamiento de celdas de combustible comprende al menos tres capas de apilamiento de celdas de combustible, comprendiendo cada capa de apilamiento de celdas de combustible al menos una celda de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia, definiendo cada celda de combustible un extremo de entrada de oxidante y un extremo de salida de oxidante de escape,

30
teniendo dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible:

- (a) al menos una entrada de gas de colector abierto que define un extremo de colector abierto de dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible; y
 - 35 (b) al menos una salida de gas de colector interno,
- dicho al menos un punto de entrada de gas en dicho volumen de campana situado distante de dicho extremo de colector abierto de dicho al menos un apilamiento de

5 celdas de combustible de forma que en uso el oxidante entre en dicho volumen de campana a través de dicha al menos una entrada de gas y pase alrededor del exterior de dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible hasta dicha al menos una entrada de gas de colector abierto, ocurriendo una transferencia de calor directa entre dicho oxidante y la superficie externa de dichas capas del apilamiento de celdas de combustible antes de la entrada de dicho oxidante en dicha entrada de gas de colector abierto, estando configurado dicho precalentador de forma que, en uso, el oxidante de dicha fuente de oxidante se calienta y suministra a dicho volumen de campana a través de dicha al menos una entrada de gas a una temperatura no superior de 100 °C por debajo de la temperatura operativa en uso en el extremo de entrada de la celda de combustible más cercana a la al menos una entrada de gas de colector abierto,

10 en el que dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia define una altura X medida desde la capa del apilamiento de celdas de combustible más cercana a dicha placa base hasta la capa del apilamiento de celdas de combustible más alejada de dicha placa base, y en el que al menos un punto de entrada de gas está situado a una altura Y sobre dicha capa del apilamiento de celdas de combustible más cercana a la placa base, en el que $0,25X \leq Y \leq 0,75X$.

20 **[0028]** Preferentemente, el al menos un apilamiento de celdas de combustible comprende al menos 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 ó 80 capas de apilamiento de celdas de combustible.

25 **[0029]** El al menos un punto de entrada de gas es el punto en el que, en uso, el gas oxidante entra en el volumen de campana, de forma que se pueda mezclar con el oxidante existente contenido en el volumen de campana y sea capaz de pasar por el exterior del al menos un apilamiento de celdas de combustible hasta la al menos una entrada de gas de colector abierto.

30 **[0030]** Preferiblemente, el ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible no comprende ningún punto de entrada de gas adicional en el volumen de campana localizado a una altura Y sobre dicha capa del apilamiento de celdas de combustible más cercana a dicha placa base en la que $Y < 0,25X$ o $Y > 0,75X$ y está configurada para, en uso, permitir que el oxidante entre en el volumen de campana a la misma temperatura, o sustancialmente a la misma, que el oxidante que entra en el volumen de campana desde el al menos un punto de entrada de gas localizado a una altura Y donde $0,25X \leq Y \leq 0,75X$. Los experimentos han mostrado que cuando los puntos de entrada de gas se proporcionan a alturas verticales en las que $Y < 0,25X$ ó $Y >$

0,75X, no se logran los perfiles de temperatura mejorados observados por la presente invención.

[0031] Se ha descubierto que en un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) que opera en el intervalo de 450-650 °C, la diferencia entre la temperatura del oxidante en las entradas de gas de colectores abiertos donde (i) $X=0$ y $X=1$ (las capas del apilamiento de celdas de combustible más cercanas y más lejanas de la placa base) y (ii) $X=0,5$ (capas intermedias del ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible) puede variar hasta 40 °C. Claramente, esto no es deseable.

[0032] Como se detalla a continuación y se muestra en la Figura 10, la provisión del al menos un punto de entrada de gas en la posición vertical exigida reduce de forma significativa la variación de temperatura en la al menos una entrada de gas del colector abierto. Esto resulta especialmente evidente en las capas del apilamiento de celdas de combustible más cercanas y lejanas de la placa base, donde la desviación de la temperatura de entrada ideal es reducida de forma significativa, y en algunos modos de realización se reduce más de la mitad.

[0033] Esta reducción en la variación de la temperatura del oxidante en la al menos una entrada de gas de colector abierto permite mejoras significativas en el rendimiento del apilamiento de celdas de combustible en términos de eficacia operativa y salida de potencia eléctrica, y también puede ayudar a ampliar la vida operativa reduciendo la diferencia de temperatura entra celdas de combustible adyacentes y a través de un apilamiento de celdas de combustible y reducir así las tensiones mecánicas en las celdas de combustible individuales.

[0034] Tanto los resultados del modelo como los datos experimentales con valores de Y y variantes confirman que las mejoras del perfil de temperaturas son reales cuando $0,25X \leq Y \leq 0,75X$, y que esto resultó en una mejora perceptible en el rendimiento del ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible, específicamente cuando Y es aproximadamente $0,5X$, cuando la diferencia en la temperatura del oxidante en las entradas de gas del colector abierto en (i) y en (ii) (arriba) pueden reducirse a menos de 10 °C.

[0035] Por tanto, preferiblemente, $0,3X \leq Y \leq 0,7X$. Más preferiblemente, $0,35X \leq Y \leq 0,65X$. Más preferiblemente, $0,4X \leq Y \leq 0,6X$. Más preferiblemente, $0,45X \leq Y \leq 0,55X$. Más preferiblemente todavía, Y es aproximadamente $0,5X$.

[0036] Preferiblemente, el precalentador es un dispositivo intercambiador de calor pasivo. Más preferiblemente, el precalentador es diseñado de forma que el fluido que cede energía térmica en el intercambiador de calor es la corriente de escape del ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible o una parte componente del

mismo, por ejemplo de la corriente de escape del reformador en los modos de realización que incluyen un reformador, o de un quemador de gases de cola, y el fluido que gana energía térmica en el intercambiador de calor es el gas oxidante.

5 **[0037]** La presente invención trata de lograr un número significativo de ventajas proporcionando en uso el oxidante al volumen de campana en el margen de temperatura especificado y logrando calefacción en el volumen de campana. En primer lugar, trata de lograr una reducción significativa en el tamaño y la masa del componente de precalentador utilizado para calentar el oxidante antes de su entrada en el apilamiento de celdas de combustible, reduciendo a su vez el tamaño y coste del
10 producto final. Al proporcionar el oxidante en el volumen de campana a una distancia del extremo de colector abierto del al menos un apilamiento de celdas de combustible y permitir que el oxidante enfríe la superficie del al menos un apilamiento de celdas de combustible y a su vez calentar el oxidante, la presente invención trata de provocar una reducción significativa en el gradiente de temperatura a través del al menos un
15 apilamiento de celdas de combustible, aumentando a su vez su eficiencia y reduciendo la tensión mecánica y aumentando la vida útil. Esto no ha sido sugerido ni revelado por la técnica precedente.

[0038] Al contrario que el ejemplo aportado arriba para un sistema de intercambiador de calor necesario en un sistema de celdas de combustible con una salida de potencia
20 eléctrica de 1 kW aproximadamente, si la temperatura exigida de la corriente de gas oxidante del apilamiento de celdas de combustible que sale del sistema intercambiador de calor se reduce de aproximadamente 480 °C a aproximadamente 455 °C, el aumento en el potencial térmico entre los fluidos de intercambio de calor significa que la eficacia necesaria del sistema intercambiador de calor puede reducirse
25 significativamente, y en consecuencia se reducen la complejidad, el coste y la masa. En el ejemplo del sistema de celdas de combustible de salida de potencia eléctrica de 1 kW mencionado arriba, la masa puede reducirse a aproximadamente 2,5 kg, una reducción de casi el 30%. Del mismo modo, las dimensiones físicas de dicho sistema intercambiador de calor pueden también reducirse de forma significativa, otra
30 característica altamente recomendable en cualquier ensamblaje de sistema de apilamiento de celdas de combustible en el que el frecuentemente el espacio es reducido y se busca un bajo peso.

[0039] En uso, un apilamiento de celdas de combustible que comprende al menos una celda de combustible genera calor, electricidad y agua por la actividad electroquímica
35 que ocurre en la(s) celda(s) de combustible. Debido a la resistencia eléctrica interna de los componentes del apilamiento de celdas de combustible, existe un calor adicional generado a medida que la corriente eléctrica fluye por los componentes del

apilamiento de celdas de combustible. Esto significa que la temperatura de la celda de combustible y los componentes de la celda de combustible de alrededor aumenta a lo largo la trayectoria del flujo de gas desde la(s) entrada(s) hasta la(s) salida(s). Por tanto, a menudo se observa que la temperatura en el extremo de entrada de la trayectoria de flujo de gas (fluido) del apilamiento de celdas de combustible es más fría que la del extremo de salida de gas (fluido). Esta diferencia de temperatura genera un gradiente térmico a lo largo de la trayectoria del flujo de gas y da como resultado que el apilamiento de celdas de combustible y sus componentes tengan diferentes temperaturas entre los extremos de entrada de flujo de gas y los extremos de salida. Por ello, la superficie externa del apilamiento de celdas de combustible puede tener temperaturas diferentes en su extremo de entrada de la trayectoria del flujo de gas (p.ej., un extremo de entrada de colecto abierto) y su extremo de salida (p.ej., un extremo de salida de colector interno).

[0040] Es recomendable minimizar los gradientes térmicos en un apilamiento de celdas de combustible para permitir y optimizar un funcionamiento eficiente del apilamiento de celdas de combustible. Al reducir los gradientes térmicos en el apilamiento de celdas de combustible, y así en las capas del apilamiento de celdas de combustible, se reducen las tensiones mecánicas inducidas de manera térmica en los componentes del apilamiento de celdas de combustible. Por lo tanto, al minimizar el gradiente de temperatura a lo largo del área electroquímica activa de la celda de combustible no solo es beneficioso para la eficacia y eficiencia del funcionamiento de las celdas de combustible, sino que también puede reducir la complejidad del sistema, reducir el coste total del sistema, y puede resultar en un sistema más fiable.

[0041] Preferiblemente, el ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible no comprende un precalentador del gas de entrada o un sistema de intercambio de calor situado en dicho volumen de campana. En particular, se prefiere que la campana y/o la placa base no comprenda una superficie de intercambio de calor de un intercambiador de calor que tenga, en uso, un lado frío en el interior del volumen de la campana y un lado caliente fuera del volumen de campana y en comunicación térmica con una salida de fluido del ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible, específicamente una salida del lado del oxidante del apilamiento de celdas de combustible. Más preferiblemente, dicho precalentador de gas de entrada situado en dicho volumen de campana no es un precalentador de oxidante.

[0042] Preferiblemente, el precalentador se configura de forma que, en uso, el oxidante de dicha fuente de oxidante es calentado y suministrado a dicho volumen de campana mediante dicha al menos una entrada de gas a una temperatura no superior de 80 °C, más preferiblemente no superior de 70 °C, más preferiblemente no superior

de 60 °C, más preferiblemente no superior de 50 °C por debajo de la temperatura operativa en uso en el extremo de entrada de la celda de combustible más cercana a la al menos una entrada de gas de colector abierto.

5 **[0043]** Como se apreciará, con el ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible operando en distintos modos (p.ej., arranque, operación en estado continuo, etc.) es posible que el precalentador suministre oxidante al volumen de campana a una temperatura superior a la temperatura operativa en uso en el extremo de entrada de la celda de combustible más cercana a la al menos una entrada de gas del colector abierto.

10 **[0044]** Preferiblemente, dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible comprende además al menos una entrada de combustible de colector interno.

[0045] Preferiblemente, dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible comprende además una salida de combustible de escape de colector interno.

15 **[0046]** En determinados modos de realización, la al menos una salida de gas de colector interno comprende al menos una salida de oxidante y combustible de escape mezclados de colector interno.

[0047] Mediante “transferencia de calor directa” se hace referencia a que el oxidante contacta directamente con una superficie externa del al menos un apilamiento de celdas de combustible. En particular, esta superficie externa puede incluir los lados de
20 las capas del apilamiento de celdas de combustible. La superficie externa puede incluir también los lados de componentes del apilamiento de celdas de combustible adiciones como placas de interconexión, empaquetadura de las capas del apilamiento o espaciadores no conductivos.

[0048] De este modo, la transferencia de calor directa se realiza desde el exterior del
25 al menos un apilamiento de celdas de combustible hasta el oxidante que pasa sobre el mismo, y esto puede lograr la calefacción final requerida del oxidante antes de su entrada en el al menos un apilamiento de celdas de combustible.

[0049] El al menos un punto de entrada de gas en el volumen de campana está situado a cierta distancia del extremo de colector abierto del al menos un apilamiento
30 de celdas de combustible. Preferiblemente, el al menos un punto de entrada de gas en el volumen de campana está situado en el extremo del al menos un apilamiento de celdas de combustible opuesto al extremo de colector abierto. En los casos en los que hay más de un colector abierto en el al menos un apilamiento de celdas de combustible, el al menos un punto de entrada de gas en el volumen de campana
35 puede estar situado a cierta distancia o generalmente equidistante de los colectores abiertos.

[0050] En determinados modos de realización, la al menos una entrada de gas comprende un sola entrada de gas. En modos de realización alternativos, la al menos una entrada de gas comprende una pluralidad de entradas de gas.

5 **[0051]** En determinados modos de realización, la al menos una entrada de gas está situada en la placa base. En modos de realización alternativos, la al menos una entrada de gas está situada en la campana. En modos de realización alternativos, las entradas de gas están situadas tanto en la campana como en la placa base. En los diversos modos de realización, las ubicaciones y el número de las entradas de gas y los puntos de las entradas de gas, el ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible preferiblemente comprende además al menos un deflector, rasgo o
10 componente situado en comunicación de fluido con la al menos una entrada de gas, para fomentar que una distribución de fluido de gas deseada entre en el volumen de campana desde la entrada de gas. En particular, en los modos de realización en los que la al menos una entrada de gas está situada en la placa base, se puede
15 proporcionar un colector o componente para ayudar a la distribución en uso del flujo de gas de entrada por la totalidad de la superficie caliente del ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible, ayudando así a evitar cualquier región de flujo de fluido estancado en el volumen de campana, y ayudando también a evitar una excesiva canalización no deseada del flujo de gas. La distribución del flujo de gas de entrada
20 puede diseñarse de forma que acabe con las temperaturas de superficie desiguales del apilamiento de celdas de combustible.

[0052] La campana se sitúa de forma que encierra el al menos un apilamiento de celdas de combustible con espacio libre entre el al menos un apilamiento de celdas de combustible y la superficie interior de la campana.

25 **[0053]** A continuación se muestran los modos de realización preferidos, y al tener una entrada de gas en el volumen de campana situada a determinada distancia del extremo de colector abierto del al menos un apilamiento de celdas de combustible, en uso, se hace que el gas de entrada fluya alrededor de la superficie externa del al menos un apilamiento de celdas de combustible antes de que llegue al extremo de
30 colector abierto en el que puede entrar en la al menos una entrada de gas de colector abierto y pasar a la al menos una celda de combustible.

[0054] Esta configuración permite el intercambio de calor entre el al menos un apilamiento de celdas de combustible y el gas de entrada sobre un área de superficie ampliada en comparación con los dispositivos de la técnica precedente y permite así el
35 aumento de temperatura deseado mediante un diseño simple y conveniente del ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible.

[0055] Además, puesto que el al menos un punto de entrada de gas en el volumen de campana está situado a distancia del al menos un extremo del colector abierto del al menos un apilamiento de celdas de combustible, normalmente estará situado adyacente al al menos un extremo de salida de gas del al menos un apilamiento de celdas de combustible, que, en funcionamiento, es normalmente la región con la temperatura más alta del al menos un apilamiento de celdas de combustible. El potencial térmico entre el oxidante que entra por medio del punto de entrada de gas en el volumen de campana y la parte adyacente del al menos un apilamiento de celdas de combustible será, por tanto, alto y la velocidad de intercambio de calor será alta, lo que quiere decir que el intercambio de calor tendrá lugar a una velocidad relativamente alta. A medida que se calienta el gas en el volumen de campana y fluye hacia el extremo de colector abierto más frío del al menos un apilamiento de celdas de combustible, el potencial térmico entre el oxidante y la parte adyacente del al menos un apilamiento de celdas de combustible será más bajo y así la velocidad de intercambio de calor será más baja y se producirá menos intercambio de calor. En general, esto significa que se producirá menos intercambio de calor en el extremo de colector abierto más frío del al menos un apilamiento de celdas de combustible y que se producirá más en el extremo alejado más caliente, lo que quiere decir que el gradiente de temperatura a lo largo del apilamiento de celdas de combustible puede reducirse.

[0056] Preferiblemente, el al menos un apilamiento de celdas de combustible y la campana están configurados de forma que, en uso, el flujo de oxidante de la entrada de gas al volumen de campana al extremo de colector abierto del al menos un apilamiento de celdas de combustible se produce principalmente por los lados del al menos un apilamiento de celdas de combustible y no por encima de la parte superior del al menos un apilamiento de celdas de combustible.

[0057] Por ejemplo, el al menos un apilamiento de celdas de combustible y la campana pueden dimensionarse de forma que se defina un espacio estrecho entre la parte superior del al menos un apilamiento de celdas de combustible y la campana de forma que, en uso, limite el flujo de oxidante sobre la parte superior del al menos un apilamiento de celdas de combustible. De forma alternativa, puede proporcionarse una pared alrededor del perímetro de la parte superior del al menos un apilamiento de celdas de combustible de forma que actúe como cerramiento entre el mismo y la campana y bloquee el flujo de oxidante. Preferentemente, dicha pared se encuentra aislada térmicamente para reducir o minimizar la transferencia de calor desde el al menos un apilamiento de celdas de combustible a la campana. Alternativamente, se puede proporcionar un bloque de aislamiento térmico en la parte superior del al menos

un apilamiento de celdas de combustible entre el mismo y la campana para reducir o evitar el flujo de oxidante por la parte superior del al menos un apilamiento de celdas de combustible. Preferiblemente, dicho bloque de aislamiento térmico contacta con la campana de forma que realiza el cerramiento hermético entre el al menos un apilamiento de celdas de combustible y la campana y evita el flujo de oxidante sobre la parte superior del apilamiento de celdas de combustible. De modo alternativo, la campana puede contactar con la parte superior del apilamiento de celdas de combustible para realizar un cerramiento hermético entre el al menos un apilamiento de celdas de combustible y la campana y evitar el flujo de oxidante sobre la parte superior del al menos un apilamiento de celdas de combustible.

[0058] Preferiblemente, el al menos un apilamiento de celdas de combustible comprende una placa de extremo situada en su parte superior, y dicha placa de extremo puede ser dimensionada y diseñada para controlar el flujo de oxidante sobre la parte superior del al menos un apilamiento de celdas de combustible, por ejemplo mediante la provisión de brazos, piezas separadoras, paredes o cuerpos que afectan al flujo de fluido en uso.

[0059] Esto puede resultar especialmente ventajoso en la reducción del gradiente térmico entre el centro y los extremos del apilamiento de celdas de combustible. Un apilamiento de celdas de combustible que consta de un número de capas del apilamiento de celdas de combustible, y así un número de celdas de combustible, operará con una eficacia aumentada si el gradiente de temperatura entre las celdas a lo largo de la dirección de apilamiento se minimiza. Para este fin, la reducción de la pérdida de calor desde las placas de extremo del apilamiento de celdas de combustible en la parte superior e inferior del apilamiento de celdas de combustible ha demostrado ser una ventaja significativa. Por tanto, la minimización del flujo de oxidante en el volumen de campana sobre las pacas de extremo del apilamiento de celdas de combustible ayudará a lograr este objetivo reduciendo la cantidad de calor expulsada desde la placa de extremo al oxidante del volumen de campana. El flujo sobre la placa de extremo de la parte superior puede minimizarse mediante el uso de una barrera física entre la placa de extremo y la campana que puede ser un material de aislamiento térmico.

[0060] En uso, el apilamiento de celdas de combustible genera una cantidad sustancial de calor que debe ser eliminado para permitir un funcionamiento electroquímico eficaz de la celda de combustible. El gas de entrada que entra en el al menos un apilamiento de celdas de combustible realiza el importante papel de enfriar el apilamiento. Esto se logra normalmente mediante el paso de un volumen de exceso de oxidante (por ejemplo con un volumen molar de oxígeno de al menos, p.ej., 2, 3, 4,

8, 10, 12, 15 o 20 veces el necesario para la oxidación del combustible) por el apilamiento de celdas de combustible. Sin embargo, esto exige a su vez el gasto de energía en, p.ej., sopladores para pasar el oxidante a través del ensamblaje del sistema de apilamiento de celdas de combustible, y así cualquier mejora en el intercambio de calor total desde el al menos un apilamiento de celdas de combustible al gas de entrada, específicamente el oxidante, puede reducir el volumen de gas necesario para realizar el intercambio de calor necesario y a su vez puede reducir el consumo de energía del ensamblaje del sistema de apilamiento de celdas de combustible. La provisión de la superficie externa del al menos un apilamiento de celdas de combustible como una superficie de intercambio de calor puede ser ventajoso también para proporcionar una cantidad aumentada de intercambio de calor a cada volumen de unidad de gas de entrada, y así reducir la cantidad de gas de entrada necesaria.

[0061] La conexión hermética de la base de la campana a la placa base se realiza preferiblemente mediante soldadura, soldadura fuerte o pegado. Preferiblemente, el ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible comprende además un material de aislamiento térmico situado entre la placa base y la campana. Preferiblemente, esta adopta la forma de una empaquetadura, y así una empaquetadura puede situarse entre la campana y la placa base y se aplican medios de compresión de la empaquetadura para lograr el cierre hermético necesario. Preferiblemente, dicha empaquetadura es una empaquetadura de aislante térmico y cerramiento hermético como una empaquetadura de vermiculita o vitón. Por tanto, dicha empaquetadura puede aislarse de la transferencia de calor desde el al menos un apilamiento de celdas de combustible por medio de la placa base.

[0062] Preferiblemente, la campana se proporciona con material de aislamiento situado en al menos una de las superficies interna y externa. Esto actúa para aislar en mayor medida la campana de la transferencia de calor desde el al menos un apilamiento de celdas de combustible y también actúa para reducir la transferencia de calor a otros componentes externos al mismo.

[0063] Para mejorar aún más el flujo de gas dentro del volumen de campana, la entrada de gas en el volumen de campana se proporciona preferiblemente con al menos un deflector.

[0064] Preferiblemente (y como se detalla a continuación), se proporciona la campana con al menos un deflector que se extiende en el volumen de campana, estando el al menos un deflector diseñado y dimensionado para controlar el flujo de fluido en el volumen de campana. En particular, el al menos un deflector puede evitar el flujo de

fluido que se produce sobre la parte superior del al menos un apilamiento de celdas de combustible.

5 **[0065]** Alternativamente, la campana puede proporcionarse con al menos un rasgo de superficie adicional como un nervio o pieza separadora para controlar la dirección del flujo de fluido y/o fomentar el flujo de fluido por el al menos un apilamiento de celdas de combustible en contraste con el flujo sobre la parte superior del al menos un apilamiento de celdas de combustible.

10 **[0066]** Como se ha explicado arriba, el al menos un apilamiento de celdas de combustible y la campana se dimensionan preferiblemente para controlar el flujo de fluido dentro del volumen de campana, preferiblemente para fomentar que el flujo de fluido ocurra alrededor del al menos un apilamiento de celdas de combustible y no sobre su parte superior.

15 **[0067]** Cuando la campana se fabrica como un artículo presionado, el ángulo creado puede utilizarse para definir unas características de superficie apropiadas en la campana para realizar el control del flujo de fluido en uso.

[0068] El al menos un deflector se diseña preferiblemente de forma que dirija el flujo de gas cerca de la superficie del al menos un apilamiento de celdas de combustible.

20 **[0069]** Para facilitar en mayor medida la transferencia de calor desde la superficie externa del al menos un apilamiento de celdas de combustible o partes componentes del mismo, se pueden proporcionar rasgos adicionales, incluyendo por ejemplo proyecciones como una aleta, partes separadoras o brazos, por ejemplo, que se extienden desde las capas del apilamiento de celdas de combustible (preferiblemente incluyendo la al menos una celda de combustible), proporcionando un área de superficie adicional por la que puede darse el intercambio de calor y/o para fomentar la turbulencia en el flujo de gas cerca de la superficie del al menos un apilamiento de celdas de combustible para mejorar la transferencia de calor.

25 **[0070]** El espacio entre la campana y el al menos un apilamiento de celdas de combustible o partes componentes del mismo o cualquier proyección desde el mismo o rasgo de superficie en el mismo preferiblemente se dispone de forma que mejore el flujo de gas y así la transferencia de calor por el elemento.

30 **[0071]** Preferiblemente, se proporciona al menos una forma en el extremo de la al menos una capa del apilamiento de celdas de combustible para fomentar la turbulencia en el flujo de gas.

35 **[0072]** Preferiblemente, la superficie interna de la campana se proporciona con un material que absorbe o adsorbe azufre para eliminar en uso el azufre del oxidante antes de su entrada en la al menos una entrada de gas de colector abierto. Por ejemplo, para atrapar el azufre residual para una aplicación de energía auxiliar

automotriz, el material que absorbe o adsorbe azufre puede atrapar el azufre a niveles asociados con la operación del sistema de celdas de combustible en aire de ciudad sucio.

5 **[0073]** Preferiblemente, la superficie interna de la campana se proporciona con un material que adsorbe o absorbe Cr, por ejemplo en forma de un recubrimiento, para eliminar en uso cualquier especie de cromo de la carga de oxidante, reduciendo así la posibilidad de que el envenenamiento por Cr del cátodo de las celdas de combustible.

10 **[0074]** Preferiblemente, el volumen de campana es al menos parcialmente relleno con unas fibras, red o malla de conducción térmica, o material de relleno que, en uso, mejora la transferencia de calor entre el al menos un apilamiento de celdas de combustible y el gas. Más preferiblemente, dicho material no es conductor de la electricidad. Más preferiblemente todavía, está recubierto con al menos uno de un material que absorbe el azufre, y un material que adsorbe el azufre.

15 **[0075]** Preferiblemente, para mejorar en mayor medida el rendimiento del al menos un apilamiento de celdas de combustible, el combustible de entrada también se calienta antes de su entrada en el al menos un apilamiento de celdas de combustible. Preferiblemente, esto se logra mediante el paso del flujo de combustible de escape a lo largo de la salida de combustible de colector interno hasta un intercambiador de calor de gas a gas y al menos un intercambiador de calor condensador para eliminar el vapor de agua y recuperar calor. El flujo de combustible de escape ahora más seco contiene así gas combustible sin reaccionar, y la energía calorífica retenida en la energía química no utilizada se recupera pasándolo por un quemador donde se mezcla con el flujo de oxidante de escape que ha pasado por la salida de oxidante del colector interno y se quema. Esto crea un efluente gaseoso del quemador a alta temperatura que se usa entonces preferiblemente para proporcionar una fuente de calor para calentar el combustible de entrada. En algunos modos de realización, esta energía calorífica se utiliza para soportar un reformado con vapor endotérmico del combustible de entrada. El efluente gaseoso del quemador se pasa entonces preferiblemente a una unidad generadora de vapor para generar el vapor necesario para el reformado con vapor endotérmico antes de entrar en una unidad de quemador de arranque opcional y entrar después en el precalentador.

30 **[0076]** En los casos en los que se proporcionan dichas múltiples etapas de intercambio de calor, resulta especialmente ventajoso y deseable acoplar térmicamente tantas como sea posible. Por ejemplo, proporcionando las unidades de intercambio de calor y de reacción química arriba mencionadas como al menos una unidad combinada se logra una reducción en el tamaño del ensamblaje del sistema de apilamiento de celdas de combustible. Por ejemplo, un generador de vapor

combinado, reformador de combustible y refrigerador reformado se pueden proporcionar en una unidad. Dicho dispositivo o dispositivos se conectan de forma preferida y directa a la parte de debajo de la placa base opuesta al lado del apilamiento de celdas de combustible. De este modo, la longitud de la trayectoria del gas se reduce significativamente, y se minimizan las conexiones de las tuberías de gas, reduciendo la cantidad de piezas y el riesgo de fuga en las conexiones y simplificando el ensamblaje del sistema.

5

[0077] Preferiblemente, el al menos un apilamiento de celdas de combustible es un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) soportado en metal, más preferiblemente como se describe en US 6794075.

10

[0078] Preferiblemente, la campana se fabrica de al menos una capa de plástico, cerámica o metal o una mezcla de al menos dos de estos materiales, por ejemplo una campana de metal revestida con plástico. Más preferiblemente, se fabrica de acero inoxidable, formado, por ejemplo, mediante embutición profunda, curvatura y soldadura, soldadura fuerte, o colada. Para aplicaciones de celdas de combustible de baja temperatura, la campana se moldea preferiblemente por inyección a partir de un material plástico adecuado.

15

[0079] Preferiblemente, la campana está aislada térmicamente en al menos uno de su interior y su exterior, más preferiblemente en el exterior. Las capas de aislamiento adecuadas incluyen, sin carácter limitativo, aquellas que se enrollan o se forman para ajustarse, o se pueden fabricar a partir de más de una capa y más de un material aislante. Preferiblemente, para un sistema de celdas de combustible de temperatura alta o intermedia, se proporciona una sola capa de aislamiento, que comprende Promalight (RTM) (Promat Uk Limited, Bracknell, UK; www.promat.co.uk).

20

[0080] Alternativamente, se proporciona un aislamiento multicapa que comprende una primera capa interior relativamente gruesa capaz de soportar la temperatura operativa (por ejemplo un aislamiento proporcionado por Microtherm In. (TN, USA)) y una segunda capa exterior más fina que comprende un Aspen Aerogel (Aspen Aerogels, Inc., MA, USA) capaz de soportar las condiciones operativas exteriores de la(s) primera(s) capa(s) de aislamiento o capa interior.

25

30

[0081] En términos generales, estas opciones de aislamiento pueden proporcionar la ventaja concreta de reducir el volumen del aislamiento general mientras se facilita un aislamiento capaz de soportar temperaturas fuera del margen de temperaturas operativas del aislamiento de la capa exterior.

35

[0082] Determinados modos de realización del diseño del sistema permiten que se produzca el calentamiento del oxidante utilizando un precalentador alimentado por los gases calientes de un quemador de gas de cola y/o el proceso de reformado de

combustible. Sin embargo, la provisión de calor de tales fuentes implica un lapso de tiempo y el funcionamiento eficaz del precalentador está estrechamente relacionado con el funcionamiento general del ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible.

5 **[0083]** Resulta recomendable incluir una capacidad térmica controlable para reducir o desligar esta relación de intercambio de calor estrechamente vinculada. Dicha capacidad térmica controlable puede lograrse utilizando un calentador eléctrico.

[0084] Se ha descubierto que colocar un calentador eléctrico externo al volumen de campana presente varias desventajas.

10 **[0085]** Cuando el dispositivo de calefacción eléctrica es parte de un precalentador que es externo al volumen de campana (por ejemplo, un precalentador que comprende un intercambiador de calor), los problemas incluyen: pérdida de calor aumentada que se produce desde el conducto (comúnmente una tubería) entre el precalentador y la al menos una placa base del apilamiento de celdas de combustible, la necesidad de
15 características adicionales en el precalentador para dirigir de forma eficaz el flujo de oxidante sobre el dispositivo de calefacción eléctrica (lo que añade complejidad al diseño del precalentador), una etapa de fabricación del precalentador adicional (lo que puede limitar las temperaturas disponibles para soldar un precalentador durante la fabricación del precalentador o limitar las operaciones de soldadura), añadir
20 complejidad al diseño del precalentador para tener en cuenta el mayor riesgo de fuga de oxidante al recorrer el cableado eléctrico del dispositivo de calefacción eléctrica fuera de la unidad de precalentador, y la adición de un punto de fuente de calor a una temperatura potencialmente alta en la unidad de precalentador.

[0086] También resulta problemático situar el dispositivo de calefacción eléctrica en un
25 conducto de oxidante entre el precalentador y la campana del apilamiento de celdas de combustible. A pesar de que ubicar el dispositivo de calefacción eléctrica en el conducto resultaría en una buena transferencia de energía térmica al oxidante, el conducto necesita diseñarse para acomodar el calentador y también permitir que las conexiones eléctricas salgan del conducto de una forma eficaz que no cree una trayectoria de fuga. Dicho diseño del conducto es probable que sea considerablemente
30 más grande en volumen de embalaje en comparación con el mismo diseño de conducto sin la necesidad de situar el dispositivo de calentador eléctrico. Este aumento en el tamaño de embalaje puede tener un impacto significativo en el embalaje del ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible y el ensamblaje de
35 fabricación del mismo. Además, el aumento del tamaño del conducto para acomodar el dispositivo de calefacción eléctrica aumenta la superficie de pérdida de calor del

conducto, imponiendo restricciones de diseño adicionales y sanciones en la eficacia del funcionamiento potencial en dicho enfoque.

5 **[0087]** Situar el dispositivo de calefacción eléctrico en el volumen de campana general elimina algunas o todas las desventajas arriba indicadas. Sin embargo, es difícil dirigir de forma eficaz el flujo de oxidante a dicho dispositivo de calefacción eléctrico, lo que da como resultado una eficacia de calentamiento reducida. Fabricar el dispositivo de calefacción eléctrico como parte de la campana o montarlo en la campana aumenta la pérdida de calor desde la superficie de la campana.

[0088] La presente invención trata además de superar estas desventajas.

10 **[0089]** Preferiblemente, el ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible comprende además un dispositivo de calefacción eléctrico en comunicación, o en comunicación térmica directa, con la al menos una entrada de gas y contenido dentro del volumen de campana o la campana, o placa base, es decir, el dispositivo de calefacción eléctrico no está ubicado fuera de la campana o placa base fuera del
15 volumen de campana.

[0090] Se ha descubierto que la provisión de un dispositivo de calefacción eléctrico de dicha manera puede ser extremadamente ventajoso. Este es el caso especialmente cuando el precalentador es un precalentador pasivo.

20 **[0091]** Por tanto, el dispositivo de calefacción eléctrico puede contenerse completamente dentro de la entrada de gas situada hasta e incluyendo el punto de entrada de gas, o el dispositivo de calefacción eléctrico puede formar una parte componente en el extremo de una entrada de gas dentro del volumen de campana y definir el al menos un punto de entrada de gas.

25 **[0092]** Preferiblemente, también se proporcionan medios de control para el dispositivo de calentados eléctrico. Los medios de control para dispositivos de calentadores eléctricos son bien conocidos en la técnica, y serán evidentes fácilmente a una persona de habilidad ordinaria.

30 **[0093]** Preferiblemente, el aparato se configura de forma que el dispositivo de calefacción eléctrico proporciona energía calorífica al apilamiento de celdas de combustible de forma que el apilamiento de celdas de combustible alcanza un límite inferior de su margen de temperaturas operativas, preferiblemente en el intervalo de 400-450 °C, después de que el reformador alcance su temperatura operativa y produzca reformado, más preferiblemente inmediatamente después de que el reformador alcance su temperatura operativa y produzca reformado.

35 **[0094]** En determinados modos de realización, la al menos una entrada de gas entra en el volumen de campana a través de la placa base, y en otros modos de realización

la al menos una entrada de gas entra en el volumen de campana a través de la campana.

[0095] En uso, la provisión de un dispositivo de calentador eléctrico permite la provisión de calefacción adicional a la corriente de oxidante de entrada cuando convenga, por ejemplo:

- cuando el rendimiento del precalentador se degrada;
- cuando el entorno operativo del ensamblaje del sistema de apilamiento de celdas de combustible es subóptimo, p.ej.:
 - cuando la temperatura del oxidante de entrada es demasiado baja (p.ej. cuando se utiliza aire ambiental frío como oxidante), o
 - cuando el oxidante de entrada está demasiado húmedo (p.ej. cuando se usa aire ambiental húmedo como oxidante);
- cuando se altera la proporción vapor:carbono (por ejemplo cuando se usa un combustible que resultaría en un aumento en la proporción vapor:carbono);
- cuando es necesario un arranque rápido o un aumento en la temperatura del apilamiento de celdas de combustible (por ejemplo en casos en los que el oxidante que fluye a la entrada de gas se encuentra o se encontraría a una temperatura a más de 100 °C por debajo de la temperatura de operación en uso en el extremo de entrada de la celda de combustible más cercana a la al menos una entrada de gas de colector abierto);
- cuando se da una marcha lenta; o
- cuando no hay actividad electroquímica en las celdas de combustible (es decir, cuando el ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible se encuentra en “off” (apagado) o “hibernating” (hibernando)) para ayudar en el arranque rápido.

[0096] Al situar el dispositivo de calentador eléctrico en la al menos una entrada de gas como se define arriba, las restricciones de ubicación y embalaje del diseño pueden minimizarse. En particular:

- el espacio ocupado por el dispositivo de calentador eléctrico se encuentra dentro de otras partes componentes y así ya definidas dentro del volumen de campana
- puede haber una buena transferencia de energía térmica en uso desde el dispositivo de calentador eléctrico al oxidante
- el dispositivo de calentador eléctrico puede tener una inercia térmica muy baja y, por tanto, puede ser altamente controlable y sensible cuando hay una

demanda de un aumento o disminución de salida de energía térmica desde el dispositivo de calentador eléctrico

- el cableado para el dispositivo de calentador eléctrico puede conectarse de forma conveniente a un circuito de control por medio de la placa base, y esto se puede lograr utilizando conexiones eléctricas similares a las utilizadas en cualquier otro sitio del ensamblaje del sistema de apilamiento de celdas de combustible, por ejemplo las conexiones eléctricas diseñadas para transferir la energía eléctrica del apilamiento de celdas de combustible a través de la placa base.

5
10 **[0097]** Preferiblemente, el dispositivo de calentador eléctrico comprende un cable calefactor eléctrico, por ejemplo un cable fabricado predominantemente de metal de Ni/Cr o Ni/Cu o materiales similares. Por ejemplo, el dispositivo de calentador eléctrico puede comprender un cable calefactor eléctrico enrollado alrededor de un soporte inerte y térmicamente estable, como una tabla de mica, o parcialmente integrado en un dispositivo moldeado térmicamente estable e inerte.

15 **[0098]** En situaciones en las que existe una preocupación de que la calefacción del cable calefactor produzca la evaporación de especies de Cr desde el cable y de que tales especies de cromo podrían entonces afectar de forma adversa al rendimiento del material del cátodo en el lado del cátodo de la al menos una celda de combustible, el cable puede recubrirse con una capa protectora para reducir la migración de especies de Cr, o el dispositivo de calentador eléctrico puede diseñarse de forma que la mayoría del cable de calefactor eléctrico no se encuentre expuesto directamente al flujo de oxidante. Por ejemplo, el cable puede estar separado del flujo de oxidante en uso por una lámina altamente conductora de la energía térmica que tiene un bajo contenido de Cr, por ejemplo papel de aluminio con una elevada temperatura de fusión. En este caso, la energía calorífica generada en uso por el calor del cable calefactor se transfiere al flujo de oxidante a través de la lámina. Para evitar que la lámina sea fundida por el dispositivo de calentador eléctrico, pueden proporcionarse medios de control configurados de forma que el dispositivo de calentador eléctrico solo opere cuando haya pasado suficiente flujo de oxidante por la lámina para evitar que ésta se funda.

25
30 **[0099]** Para determinar cuándo y cuánta calefacción eléctrica del dispositivo de calentador eléctrico es apropiada, puede proporcionarse un medio de sensor y/o entrada según convenga junto con los medios de control para llevar a cabo la calefacción necesaria. Por ejemplo, como se detalla a continuación, puede proporcionarse al menos un sensor de temperatura. De manera opcional, se puede proporcionar un sensor de la humedad para el oxidante de entrada, o un sensor de

tipo de combustible. De manera opcional, se pueden proporcionar medios de entrada para que el usuario indique el tipo de combustible que se está usando.

[0100] En determinados modos de realización, se proporciona un sensor de temperatura para determinar en uso la temperatura del oxidante que fluye hacia o a través de la al menos una entrada de gas o la temperatura en un punto seleccionado en el volumen de campana. Preferiblemente, el sensor de temperatura se ubica (i) dentro del volumen de campana, o (ii) dentro de la trayectoria del flujo de oxidante entre la salida del precalentador y el extremo del colector abierto del al menos un apilamiento de celdas de combustible, o (iii) a lo largo de, o en línea con, y en comunicación térmica con la trayectoria del flujo de oxidante entre la salida del precalentador y el extremo del colector abierto del al menos un apilamiento de celdas de combustible. Preferiblemente, se sitúa un sensor de temperatura en comunicación térmica con la trayectoria del flujo de oxidante entre el precalentador y la placa base.

[0101] Preferiblemente, el sensor de temperatura está en comunicación con los medios de control que controlan la operación del dispositivo de calentador eléctrico y los medios de control se configuran para controlar la operación del dispositivo de calentador eléctrico según la información determinada a partir del sensor de temperatura. Como se ha indicado arriba, la operación del dispositivo de calentador eléctrico puede no depender únicamente de la información determinada a partir del sensor de temperatura y, por tanto, otros factores como el arranque, el tipo de combustible, el tipo de oxidante, la temperatura del oxidante y la humedad del oxidante pueden usarse de forma adicional por los medios de control para determinar la operación del dispositivo de calentador eléctrico.

[0102] Preferiblemente, el dispositivo de calentador eléctrico tiene entre un 10 y un 50% de la capacidad eléctrica nominal del ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible. Por ejemplo, para una capacidad nominal del apilamiento de celdas de combustible de 1 kWe, el dispositivo de calentador eléctrico puede tener una capacidad de 100 We, 200 We, 300 We, 400 We o 500 We.

[0103] La energía térmica máxima transferida desde el calentador eléctrico a la corriente de oxidante se establece bien físicamente mediante la especificación del calentador eléctrico o por medio del sistema de control. La salida más alta de energía térmica desde el calentador eléctrico es requerida durante el arranque rápido. Bajo estas condiciones, la salida de energía térmica del calentador eléctrico es controlada para asegurar que a medida que el sistema completo se calienta, el reformador se pone en funcionamiento antes de que el apilamiento alcance el límite inferior de su margen de temperatura operativo. Por lo tanto, durante el arranque rápido, el reformado se introduce en el lado del ánodo del apilamiento de celdas de combustible

antes de que el apilamiento de celdas de combustible esté químicamente activo. Esto permite cierta protección de las capas químicas de las celdas de combustible a medida que comienzan a estar química y electroquímicamente activas.

5 **[0104]** El calentador eléctrico preferiblemente se controla y se programa para que mantenga la temperatura de entrada de oxidante del apilamiento de celdas de combustible por encima de una determinada temperatura exigida, por ejemplo sobre 480 °C en el caso del funcionamiento normal de un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible de IT-SOFC.

10 **[0105]** La cantidad de energía térmica transferida desde el dispositivo de calentador eléctrico al oxidante de entrada puede controlarse con respecto a la temperatura de entrada del oxidante del apilamiento de celdas de combustible. Por lo tanto, monitorizar la temperatura de entrada del oxidante del apilamiento de celdas de combustible permite que el ensamblaje del sistema del apilamiento de celdas de combustible (el ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible incluyendo los
15 medios de control y el dispositivo de calentador eléctrico) controle la cantidad de energía térmica añadida al oxidante de entrada por el dispositivo de calentador eléctrico para lograr la temperatura de entrada de oxidante del apilamiento de celdas de combustible exigida.

20 **[0106]** Los métodos de medición de la temperatura de entrada de oxidante del apilamiento de celdas de combustible incluyen, sin carácter limitativo:

- utilizar un termopar situado directamente en la región de entrada de oxidante del apilamiento de celdas de combustible para medir la temperatura de entrada del oxidante;
- utilizar un termopar situado en el dispositivo de entrada de gas antes de un
25 dispositivo de calentador eléctrico para medir la temperatura de entrada de oxidante en este punto, y después deducir la temperatura de entrada de oxidante del apilamiento de celdas de combustible mediante la adición de una desviación de temperatura basada en un mapa derivado experimentalmente y modelado, o un conjunto de mapas, que se encuentran contenidos en los
30 medios de control. El mapa toma en consideración factores que pueden incluir la temperatura de entrada de oxidante en el punto de la medición, el índice de caudal másico de oxidante en el punto de medición, la salida de potencia del apilamiento de celdas de combustible, y la temperatura de salida de escape del apilamiento de celdas de combustible; y/o
- utilizar un termopar situado alejado de la entrada de oxidante donde se crea un
35 mapa para explicar los factores del efecto de la temperatura entre el punto de

medida y el punto de entrada de oxidante del apilamiento de celdas de combustible.

[0107] Es posible obtener un mapa o conjunto de mapas para distintos tipos de combustible o configuraciones del sistema, y que dichos mapas se carguen en los medios de control durante la fabricación del sistema o durante la operación o el servicio del sistema. La selección del mapa puede establecerse manualmente durante la fabricación, durante la instalación, por el operador o puede lograrse automáticamente por el sistema.

[0108] La medida de los factores se logra mediante:

- la temperatura de entrada del oxidante en el punto de medida – desde el termopar;
- el índice de caudal másico de oxidante en el punto de medida – desde el punto de operación del soplador de oxidante;
- la salida de potencia del apilamiento de celdas de combustible – desde el punto de operación de la electrónica de potencia; y/o
- la temperatura de salida de escape del apilamiento de celdas de combustible – desde una medición del termopar en la salida de escape del apilamiento de celdas de combustible.

[0109] Medir estos factores permite al mapa indicar el aumento de temperatura del oxidante del apilamiento de celdas de combustible a medida que pasa entre la entrada de gas antes del calentador eléctrico y la entrada de oxidante del apilamiento de celdas de combustible. Si este aumento de temperatura es menor que la temperatura de entrada de oxidante del apilamiento de celdas de combustible deseada, entonces se puede obtener energía térmica adicional a partir del dispositivo de calentador eléctrico, estando determinado el suministro de energía eléctrica al dispositivo de calentador eléctrico por la cantidad de energía térmica necesaria y el índice de caudal másico de oxidante.

[0110] De este modo, por ejemplo, esto puede lograrse mediante el uso de las siguientes reglas:

$$T_{en_deducida} = T_{medida} + T_{desviación}$$

SI $T_{en_deseada} > T_{en_deducida}$ ENTONCES añadir calor del calentador eléctrico

$T_{en_deseada}$ = la temperatura de oxidante deseada en la al menos una entrada de gas del colector abierto

T_{medida} = la temperatura determinada por el sensor de temperatura

T_desviación= el cambio de temperatura resultante del flujo de oxidante en el volumen de campana desde el al menos un punto de entrada de gas hasta el extremo del colector abierto del al menos un apilamiento de celdas de combustible

[0111] T_en_deseada puede seleccionarse según el estado del sistema necesario. Por ejemplo, puede aumentarse durante el arranque del sistema, puede establecerse en un valor óptimo para el funcionamiento en estado continuo, puede modificarse para

5 lograr puntos operativos de una dinámica concreta o establecerse por debajo de T_medida para apagar el sistema o para una reducción del rendimiento del sistema controlada, como un modo de hibernación o marcha lenta del sistema.

[0112] La cantidad de energía térmica necesaria del calentador eléctrico es denominada Q_en donde:

10 **$Q_{en} = (T_{en_deseada} - T_{en_deducida}) \times (\text{índice de caudal másico de oxidante} \times \text{capacidad calorífica específica del gas oxidante})$**

[0113] La presente invención es igualmente aplicable a ensamblajes de apilamiento de celdas de combustible que usen una variedad de configuraciones de flujo de gas, incluyendo el coflujo, contraflujo y flujo cruzado.

15 [0114] También se proporciona, según la presente invención, un ensamblaje de sistema del apilamiento de celdas de combustible que comprende un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible según la presente invención.

[0115] También se proporciona según la presente invención un método de operación de un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de

20 temperatura intermedia, comprendiendo dicho ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible:

(i). una placa base;

(ii). una campana unida herméticamente a dicha placa base y que define un volumen de campana entre dicha placa base y dicha campana;

25 (iii).al menos un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia montado sobre dicha placa base y encerrado por dicha campana;

(iv).al menos una entrada de gas que define al menos un punto de entrada de gas en dicho volumen de campana; y

30 (v).un precalentador situado en el exterior de dicho volumen de campana y en comunicación de fluido con una fuente de oxidante y dicha al menos una entrada de gas y adaptada para suministrar oxidante desde dicha fuente de oxidante a dicho volumen de campana por medio de dicha entrada de gas,

comprendiendo cada apilamiento de celdas de combustible al menos tres capas de apilamiento de celdas de combustible, cada capa de apilamiento de celdas de combustible comprendiendo al menos una celda de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia, definiendo cada celda de combustible un extremo de entrada de oxidante y un extremo de salida de oxidante de escape, teniendo dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible:

- (a) al menos una entrada de gas de colector abierto que define un extremo de colector abierto de dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible; y
- (b) al menos una salida de gas de colector interno,

dicho al menos un punto de entrada de gas en dicho volumen de campana situado a distancia de dicho extremo de colector abierto de dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible,

en el que dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia define una altura X medida desde la capa del apilamiento de celdas de combustible más cercana a dicha placa base hasta la capa del apilamiento de celdas de combustible más lejana a dicha placa base, y en el que dicho al menos un punto de entrada de gas está situado a una altura Y sobre dicha capa de apilamiento de celdas de combustible más cercana a dicha placa base, en la que $0,25X \leq Y \leq 0,75X$,

comprendiendo dicho método las etapas de pasar el oxidante al volumen de campana a través de dicha al menos una entrada de gas, pasándolo alrededor del exterior de dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible hasta dicha al menos una entrada de gas de colector abierto, sucediendo una transferencia de calor directa entre dicho oxidante y la superficie externa de dichas capas del apilamiento de celdas de combustible antes de la entrada de dicho oxidante en dicha entrada de gas de colector abierto, estando configurado dicho precalentador de forma que, en uso, el oxidante de dicha fuente de oxidante es calentado y suministrado a dicho volumen de campana por medio de dicha entrada de gas a una temperatura no superior a 100 °C por debajo de la temperatura operativa en uso en el extremo de entrada de la celda de combustible más cercana a la entrada de gas de colector abierto (es decir, a una temperatura de 100 °C por debajo o más caliente de 100 °C por debajo de la temperatura operativa en uso en el extremo de entrada de la celda de combustible más cercana a la al menos una entrada de gas de colector abierto).

[0116] Preferiblemente, dicho ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible comprende además:

(i). un dispositivo de calentador eléctrico en, o en comunicación térmica directa con, dicha al menos una entrada de gas y contenido en dicho volumen de campana o dicha campana o placa base;

5 (ii). al menos un sensor de temperatura situado para determinar en uso la temperatura del oxidante que fluye a dicha al menos una entrada de gas de colector abierto; y

(iii). medios de control,

estando dicho dispositivo de calentador eléctrico y dicho al menos un sensor de temperatura en comunicación eléctrica con dichos medios de control,

10 comprendiendo dicho método además la etapa de realizar un calentamiento adicional de dicho oxidante con dicho dispositivo de calentador eléctrico bajo el control de dichos medios de control de forma que en uso dicho oxidante en dicha al menos una entrada de gas de colector abierto se calienta hacia una temperatura deseada.

[0117] Preferiblemente, el oxidante se calienta hasta la temperatura deseada.

15 **[0118]** Preferiblemente, el método comprende además la etapa de realizar una reacción electroquímica con oxidante y combustible en dicha al menos una celda de combustible para generar calor y electricidad.

20 **[0119]** La invención resultará más evidente a partir de la siguiente descripción en relación con las distintas figuras de los dibujos adjuntos que muestran, a modo de ejemplo, solo algunas formas de los ensamblajes de apilamiento de celdas de combustible. De las figuras:

Figura 1 muestra una vista lateral en sección parcial de un ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible de la presente invención;

Figura 2 muestra el flujo de fluido de oxidante en el ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible de la Figura 1;

Figura 3 es una sección a través de las líneas A-A' que muestra el flujo de fluido de oxidante en el ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible de la Figura 1;

Figura 4 es una representación esquemática de una sección a través de las líneas B-B' que muestra una sola capa del apilamiento de celdas de combustible;

Figura 5 es una vista lateral en sección parcial de otro ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible, que incorpora además un sistema de intercambio de calor del oxidante (precalentador);

Figura 6 muestra un ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible alternativo con entradas de oxidante situadas en la campana;

- Figura 6A muestra un ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible alternativo con entradas de oxidante situadas en la campana y en la placa base; y
- Figura 6B muestra un ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible alternativo con entradas de oxidante situadas en la placa base y comprendiendo además un dispositivo de distribución del flujo.
- Figura 7 muestra el ensamblaje del sistema de apilamiento de celdas de combustible de la Figura 1 indicando las temperaturas de fluido claves cuando se opera en un gas natural rico en metano cumpliendo los requisitos (Instrumento reglamentario de Reino Unido 1996 No. 551 reglamento de seguridad (manipulación) en materia de gases) con una proporción de vapor a carbono en el reformador de vapor (330) de 2,5:1
- Figura 8 muestra el ensamblaje del sistema de apilamiento de celdas de combustible de la Figura 1, indicando las temperaturas de fluido claves cuando se opera en GLP rico en propano con una proporción de vapor a carbono en el reformador de vapor (330) de 3,5:1
- Figura 9 muestra el ensamblaje del sistema de apilamiento de celdas de combustible de la Figura 1, indicando las temperaturas de fluido claves cuando se opera en GLP rico en butano con una proporción de vapor a carbono en el reformador de vapor (330) de 4,0:1.
- Figura 10 muestra la diferencia de temperatura entre el punto de entrada de aire en el volumen de campana y la temperatura de la entrada de aire de la capa del apilamiento de celdas de combustible para las capas del apilamiento celdas de combustible en el apilamiento de celdas de combustible, en un caso ideal (línea de punto fina a 480 °C), un caso en el que $Y=0$ (línea continua, máximo valor en el eje Y de 520 °C) y cuando $Y=0,5X$ (línea de punto gruesa, valor máximo en el eje Y de 495 °C). El eje X indica el número de capas del apilamiento de celdas de combustible contado desde la capa del apilamiento de capas de combustible más cercana a la placa base; el eje Y indica la temperatura del oxidante en el extremo de entrada de gas de colector abierto de la capa del apilamiento de celdas de combustible;
- Figura 11 muestra una vista lateral en sección parcial de un ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible de la presente invención con una entrada de gas que pasa a través de la campana y define un punto de entrada de gas;

- Figura 12 muestra la configuración de la Figura 11, que comprende además un calentador eléctrico situado en la entrada de gas;
- Figura 13 muestra una vista lateral en sección parcial del ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible de la presente invención con una entrada de gas que pasa a través de la placa base y define un punto de entrada de gas; y
- Figura 14 muestra la configuración de la Figura 13, que comprende además un calentador eléctrico situado en la entrada de gas.

[0120] Los principios de la celda de combustible y los ensamblajes de apilamientos de celdas de combustible son bien conocidos por las personas con una habilidad ordinaria en la técnica, y en particular incluyen los documentos US 6794075, WO 02/35628, WO 03/075382, WO 2004/089848, WO 2005/078843, WO 2006/079800, WO 2006/106334, WO 2007/085863, WO 2007/110587, WO 2008/001119, WO 2008/003976, WO 2008/015461 y WO 2008/053213.

[0121] Se incluye un resumen de los signos de referencia aquí utilizados justo antes de las reivindicaciones.

[0122] En un primer modo de realización del ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible 1, se ensambla un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido 10 a partir de un número de capas de apilamiento de celdas de combustible 20, cada capa de apilamiento de celdas de combustible 20 contiene una celda de combustible 30 (en otros modos de realización, no mostrados, cada capa de apilamiento de celdas de combustible 20 contiene una pluralidad de celdas de combustible 30). Cada celda de combustible comprende un ánodo 31, un electrolito 32 y un cátodo 33 montados en un sustrato de metal 34 de la celda de combustible y cubriendo una región porosa de sustrato de la celda de combustible 36 que está rodeada por una región no porosa de sustrato de la celda de combustible 35. La placa de interconexión conductora de la electricidad 37 proporciona una distribución para el flujo de combustible. Se evita que el sustrato de metal 34 de una primera capa del apilamiento de celdas de combustible 20 entre en contacto eléctrico directo con la placa de interconexión 37 de una segunda capa del apilamiento de celdas de combustible adyacente mediante una empaquetadura aislante de la electricidad 38.

[0123] El apilamiento de celdas de combustible 10 se monta sobre la placa base 40 y se sitúa una campana 50 sobre el apilamiento de celdas de combustible 10 y se une herméticamente a la placa base 40 para definir un volumen de campana 60 entre la placa base 40 y la campana 50 y que contiene en él el apilamiento de celdas de combustible 10.

[0124] El apilamiento de celdas de combustible 10 se proporciona con una entrada de oxidante de colector abierto 70, que define un extremo de colector abierto 80 del apilamiento de celdas de combustible 10. Cada capa del apilamiento de celdas de combustible 20 tiene también una salida de oxidante de colector interno 90 (para una capa de apilamiento de celdas de combustible que tiene una sola celda de combustible, correspondiente al extremo de salida del oxidante de escape de la celda de combustible), junto con una entrada de combustible de colector interno 100 y una salida de combustible de colector interno 110, cada una de las cuales pasa a través de los canales (no mostrado) en la placa base 40.

[0125] La placa base 40 cuenta además con una entrada de oxidante 120 en el volumen de campana 60 y que define un punto de entrada de oxidante 125 situado en el extremo opuesto del apilamiento de celdas de combustible 10 al extremo de colector abierto 80.

[0126] En uso, el combustible 130 se introduce en el lado del electrodo del ánodo de la celda de combustible 30 por medio de la entrada de combustible de colector interno 100 que pasa a través de la placa base 40.

[0127] El oxidante (aire) 140 entra en el volumen de campana 60 a través de la entrada de oxidante 120 en el extremo opuesto del apilamiento de celdas de combustible 10 al extremo de colector abierto 80. Se proporciona un dispositivo de restricción de flujo de aislamiento térmico 150 en la parte superior de la placa de extremo 160 del apilamiento de celdas de combustible 10 y se dimensiona de forma que contacte con la campana 50 y evite el flujo de aire entre la placa de extremo 160 y la campana 50. En uso, el flujo de aire se produce así en el volumen de campana 60 desde la entrada de oxidante 120 a lo largo de los lados del apilamiento de celdas de combustible 10 hasta el extremo de colector abierto 80, y en el apilamiento de celdas de combustible 10. Las flechas 210 indican el flujo de oxidante 140.

[0128] En cada uno de los presentes modos de realización, el punto de entrada de oxidante 125 está situado a una altura vertical Y sobre la capa 20 del apilamiento de celdas de combustible más cercana a la placa base 40, y $0,25X \leq Y \leq 0,75X$, donde X es una altura medida desde la capa 20 del apilamiento de celdas de combustible más cercana a la placa base 40 hasta la capa 20 del apilamiento de celdas de combustible más alejada de la placa base 40.

[0129] La placa de extremo del apilamiento de celdas de combustible 160 es una placa de extremo de la parte superior, y la placa base 40 actúa como placa de extremo de la parte inferior. Se proporcionan medios de compresión, según convenga, para comprimir el al menos un apilamiento de celdas de combustible, asegurando el cierre estanco al gas y las conexiones eléctricas necesarios. Los ejemplos de sistemas de

compresión adecuados incluyen aquellos descritos, y a los que se ha hecho referencia, en WO 2007/085863.

[0130] Las superficies externas 170 del apilamiento de celdas de combustible 10 se proporcionan con protrusiones en forma de aletas (no mostrado) que son diseñadas y dimensionadas para mejorar el flujo de aire por los lados del apilamiento de celdas de combustible 10 y para mejorar la transferencia de calor entre el exterior del apilamiento de celdas de combustible 10 y el oxidante 140.

[0131] El oxidante 140 entra en el volumen de campana 60 a una temperatura inicial de unos 455 °C y la temperatura de salida operativa del apilamiento de celdas de combustible 10 en la salida de oxidante de colector interno 90 es de aproximadamente 600 °C. El extremo de entrada de la celda de combustible 30 más cercano a la entrada de oxidante de colector abierto 70 se encuentra a una temperatura operativa en uso en estado continuo de aproximadamente 500 °C. Para lograr una eficacia operativa aceptable, el oxidante 140 se calienta a una temperatura de aproximadamente 480 °C antes de entrar en la entrada de oxidante de colector abierto 70. El calentamiento del oxidante 140 se lleva a cabo mediante el contacto y el intercambio de calor con la superficie externa 170 del apilamiento de celda de combustible 10 y la superficie interior 190 de la campana 50.

[0132] En este modo de realización, la entrada de oxidante de colector abierto 70 comprende una entrada de colector abierto diferenciada para cada capa del apilamiento de celdas de combustible 20. En otros modos de realización (no mostrados), la entrada de oxidante de colector abierto 70 comprende una pluralidad de entradas de colector abierto para cada capa del apilamiento de celdas de combustible. En otros modos de realización (no mostrados), la entrada de oxidante de colector abierto 70 comprende una sola entrada de colector abierto para una pluralidad de capas del apilamiento de celdas de combustible.

[0133] El oxidante 140 a una temperatura de al menos 480 °C entra en la entrada de oxidante de colector abierto 70 y se introduce en el lado del electrodo del cátodo de la celda de combustible 30, y tiene lugar una reacción electroquímica en la que el oxidante 140 reacciona con el cátodo y el combustible 130 reacciona con el ánodo, con el resultado de la generación de calor, agua y energía eléctrica. La energía eléctrica pasa por una carga en un circuito eléctrico (no mostrado).

[0134] El combustible reaccionado 130 sale entonces de la celda de combustible 30 y la capa del apilamiento de celdas de combustible 20 por medio de la salida de combustible de colector interno 110 en el lado del apilamiento de celdas de combustible 10 alejado del extremo de colector abierto 80, pasando a través de la placa base 40. El oxidante reaccionado 140 sale entonces de la celda de combustible

30 y la capa del apilamiento de celdas de combustible 20 por medio de la salida de oxidante de colector interno 90 en el lado del apilamiento de celdas de combustible 10 alejado del extremo de colector abierto 80, pasando a través de la placa base 40.

[0135] Por lo tanto, el lado del apilamiento de celdas de combustible 10 en el que los efluentes gaseosos (oxidante 120 y combustible 130) salen del apilamiento de celdas de combustible 10 por medio de la salida de combustible de colector interno 110, y la salida de oxidante de colector interno 90 se encontrará a la temperatura más alta ya que será calentada por los gases de escape calientes, y el extremo de colector abierto 80 estará a la temperatura más fría, ya que pierde calor por la corriente de oxidante de entrada 140. De ese modo, el mayor potencial térmico existe (y el mayor intercambio de calor ocurrirá) entre el lado externo del apilamiento de celdas de combustible 10 alejado del extremo de colector abierto 80 y el oxidante 140 que entra en el volumen de campana 60 en el punto de entrada de gas 125.

[0136] Este intercambio de calor actúa en beneficio del apilamiento de celdas de combustible 10, ya que actúa para reducir el gradiente de temperatura a lo largo de la longitud del apilamiento de celdas de combustible 10. Este intercambio de calor también reduce la tensión mecánica en el ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible 1 y permite reducir la masa y el tamaño del precalentador 200 en comparación con lo que se requeriría si el aire tuviera que entrar en la entrada de oxidante de colector abierto 70 a una temperatura superior.

[0137] Como se muestra en la Figura 5, el apilamiento de celdas de combustible 10, la placa base 40 y la campana 50 forman parte de un ensamblaje del sistema de apilamiento de celdas de combustible más grande que incluye un sistema de intercambio de calor del oxidante (precalentador) 200 que eleva el oxidante 140 que fluye a través de la entrada de oxidante 120 hasta una temperatura de entrada inicial de aproximadamente 455 °C (en el caso de que el combustible sea gas natural rico en metano que cumpla los requisitos (Instrumento reglamentario de Reino Unido 1996 No. 551 reglamento de seguridad (manipulación) en materia de gases) con una proporción de vapor:carbono de 2,5:1)), con el combustible de escape 130 que fluye a lo largo de la salida de combustible de colector interno 110 que actúa como el fluido de calefacción. Los sistemas de intercambio de calor del oxidante del ensamblaje de sistemas de apilamiento de celdas de combustible de la técnica precedente convencionales tenían que elevar el oxidante a una temperatura de aproximadamente 480 °C antes de su entrada en el apilamiento de celdas de combustible 10, y esta reducción en la carga térmica en el precalentador de oxidante significa que se puede reducir sustancialmente el tamaño, la masa, el coste y la complejidad del sistema de intercambio de calor del oxidante 200.

- 5 **[0138]** Para mejorar en mayor medida el rendimiento del apilamiento de celdas de combustible 10, el combustible de entrada 130 también es calentado antes de su entrada en el apilamiento de celdas de combustible 10. Esto se logra pasando el flujo de combustible de escape 130a a lo largo de la salida de combustible de colector interno 110 a un intercambiador de calor de gas a gas (290) y al menos un intercambiador de calor condensador 300 para eliminar el vapor de agua y recuperar el calor. El flujo de combustible de escape más seco 130b contiene así gas combustible sin reaccionar 130, y la energía calorífica retenida en la energía química no utilizada se recupera pasándola a un quemador (310) con oxidante de escape 140a que ha
- 10 fluido a lo largo de la salida de oxidante de colector interno 90. El efluente gaseoso del quemador a alta temperatura 320 se utiliza entonces para proporcionar una fuente de calor para calentar el combustible de entrada 130. En determinados modos de realización, esta energía calorífica se usa para soportar un reformado con vapor endotérmico en la unidad de reformador 330 del combustible de entrada 130. El
- 15 efluente de gas del quemador puede pasarse entonces a una unidad de generador de vapor 340 para generar vapor 280 usando un suministro de agua 270, que es necesario para el reformado catalítico antes de entrar a la unidad de quemador de arranque opcional (no mostrado) y entrar entonces en el sistema de intercambio de calor del oxidante 200.
- 20 **[0139]** En el presente modo de realización, una placa de extremo del apilamiento de celdas de combustible 160 ha montado entre ella y la parte inferior de la campana 50 un dispositivo de restricción de flujo de aislamiento térmico 150 que bloquea el flujo de fluido por la parte superior de la placa de extremo 160 y que aísla térmicamente la campana 50 del apilamiento de celdas de combustible 10.
- 25 **[0140]** Además, se proporciona una empaquetadura de vermiculita de aislante térmico hermético a los gases 230 entre la base de la campana 50 y la placa base 40 para aislar térmicamente en mayor medida la campana 50 del apilamiento de celdas de combustible 10.
- 30 **[0141]** Se proporciona un mayor aislamiento para los componentes fuera de la campana 50 mediante una capa aislante interna relativamente gruesa 240 de un producto de Microtherm Freemoulding y una capa aislante externa relativamente fina 250 de Aspen Aerogel Pyrogel (RTM), que proporciona sobre todo el aislamiento térmico deseado de la campana 50 al tiempo que logra tal aislamiento con un volumen reducido de materiales aislantes en comparación con el volumen que sería necesario
- 35 si se usara solo el material de la capa aislante interna 240.

[0142] En otros modos de realización (no mostrados) las capas de aislamiento 240, 250 son sustituidas por una sola capa de aislamiento de Promalight (RTM) (Promat UK Limited, Bracknell, UK; www.promat.co.uk).

[0143] La Figura 4 muestra una sección a través de B-B' (Figura 3) con (solo con fines ilustrativos) una capa del apilamiento de celdas de combustible 20 ampliada y capas adicionales del apilamiento de celdas de combustible 21. Como se puede apreciar, el aire 140 entra en el ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible 1 a través de la entrada de oxidante 120 en el punto de entrada de oxidante 125, que está situado en el lado opuesto del apilamiento de celdas de combustible 10 a (es decir, alejado de) la entrada de oxidante de colector abierto 70. El aire 140 pasa entonces alrededor de los lados del apilamiento de celdas de combustible 10 (estando bloqueado el flujo de fluido por la parte superior del apilamiento de celdas de combustible 10 mediante una empaquetadura de vermiculita de aislamiento térmico y cierre hermético contra gas 150 situada entre y conectando con la superficie de la parte superior de la placa de extremo del apilamiento de celdas de combustible 160 y la campana 50) y se calienta y pasa a la entrada de oxidante de colector abierto 70 de la capa del apilamiento de celdas de combustible 20 y pasa por el cátodo 33 de la celda de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (IT-SOFC) 30, sufre una reacción electroquímica para generar calor, óxidos y electricidad, y gases de escape a través del colector 90. El combustible 130 entra en el apilamiento de celdas de combustible 10 a través de la entrada de combustible de colector interno 100, pasa bajo la región porosa del sustrato de la celda de combustible 36 a través de la que pasa al ánodo de la celda de combustible 31 y sufre una reacción electroquímica para generar calor, óxidos (principalmente óxidos de carbono y agua) y electricidad. El combustible de escape 130 sale entonces del apilamiento de celdas de combustible 10 a través de la salida de combustible de colector interno 110.

[0144] Cada capa del apilamiento de celdas de combustible 20 comprende una placa de interconexión conductora de la electricidad 37 que proporciona distribución y contacto eléctrico con los componentes del apilamiento de celdas de combustible adyacentes 10. El sustrato de metal de las celdas de combustible 34 se monta sobre la parte superior de la placa de interconexión 37 y comprende una región porosa del sustrato de la celda de combustible 36 bordeada de región no porosa del sustrato de la celda de combustible 35. De ese modo, puede darse el flujo de fluido a través de la región porosa 36. En la parte superior de la región porosa 36 se monta la celda de combustible 30. El ánodo de la celda de combustible cubre la región porosa 36, y entonces el electrolito 32 de la celda de combustible se extiende por el ánodo 31 y la región porosa 36 para evitar el flujo de fluido desde el lado de combustible de la celda

de combustible 30 al lado del oxidante de la celda de combustible 30 a través de la región porosa 36. El cátodo de la celda de combustible 33 se monta en la parte superior del electrolito de la celda de combustible 32.

5 **[0145]** Un conductor de la corriente conductivo eléctricamente (no mostrado) se extiende desde el cátodo de la celda de combustible 33 y está en contacto eléctrico con la placa de interconexión conductora de la electricidad 37, de manera que forma un circuito eléctrico, y se sitúa una carga en el circuito. Se sitúan capas 21 del apilamiento de celdas de combustible adicionales en la parte superior de la capa 20 del apilamiento de celdas de combustible, y se evita un cortocircuito eléctrico desde el

10 sustrato de metal de la celda de combustible 34 a la placa de interconexión conductora de la electricidad 37 de una capa 21 del apilamiento de celdas de combustible adyacente mediante una empaquetadura aislante de la electricidad 38 que además proporciona apoyo mecánico para capas 21 del apilamiento de celdas de combustible adicionales.

15 **[0146]** En otro modo de realización (Figura 6), se proporcionan una pluralidad de entradas de oxidante 120 en la campana 50 en lugar de en la placa base 40. Esta configuración ayuda al flujo y la distribución del gas, ayudando especialmente a prevenir áreas estancadas de flujo de gas. De nuevo, los puntos de entrada de oxidante 125 se sitúan todos a una altura vertical Y sobre la capa 20 del apilamiento de celdas de combustible más cercano a la placa base 40, y $0,25X \leq Y \leq 0,75X$,

20 donde X es una altura medida desde la capa del apilamiento de celdas de combustible 20 más cercana a la placa base 40 hasta la capa del apilamiento de celdas de combustible 20 más lejana de la placa base 40.

[0147] En otro modo de realización (Figura 6A), se proporciona una pluralidad de

25 entradas de oxidante 120 en la campana 50 así como en la placa base 40, y de nuevo esto se realiza para ayudar al flujo y la distribución de gas, especialmente ayudando a evitar las áreas estancadas de flujo de gas.

[0148] En el modo de realización de la Figura 6B, se proporciona una entrada de oxidante 120 en la placa base 40, y se proporciona un dispositivo de distribución de

30 flujo 260 que comprende un tubo de metal perforado, diseñado para ayudar a la distribución del flujo de gas desde las entradas 120 a través del volumen de campana 60. En modos de realización alternativos (no mostrados), el dispositivo de distribución del flujo 260 comprende un material cerámico altamente poroso, y una sección formada de campana 50.

35 **[0149]** En otro modo de realización (Figura 7), se muestran las temperaturas del fluido claves cuando opera en gas natural rico en metano con una proporción de vapor a carbono en el reformador de vapor (330) de 2,5:1.

[0150] Las temperaturas en las posiciones C-J son las siguientes:

C- 465-490 °C

D- 430-460 °C

E- 430-460 °C

5 F- 550-620 °C

G- 700-725 °C

H- 550-580 °C

I- 100-120 °C

J- 230-250 °C

10 **[0151]** En otro modo de realización (Figura 8), se muestran las temperaturas del fluido claves cuando se opera en GLP rico en propano con una proporción de vapor a carbono en el reformador de vapor (330) de 3,5:1. En particular, la entrada de oxidante
120 cuenta además con un calentador eléctrico 400 para proporcionar el calentamiento adicional necesario, siendo la temperatura del oxidante de entrada en el
15 punto (E) inferior a la del modo de realización de la Figura 7 y, por lo tanto, es necesario un calentamiento adicional para lograr la eficacia y salida operativa deseada del ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible 1.

[0152] En la Figura 8 se muestra la electrónica de control 420, el termopar 410, el calentador eléctrico 400, el soplador 460 y los conectores eléctricos 430-450. La
20 electrónica de control 420, el termopar 410, el soplador 460 y los conectores eléctricos 440 y 450 también están presentes (no mostrado) en los otros modos de realización.

[0153] En los modos de realización que incluyen calentador eléctrico 400, también están presentes los medios de control 420 y los conectores eléctricos 430.

[0154] En uso, el termopar 410 se conecta eléctricamente a la electrónica de control
25 420 mediante el conector eléctrico 440 y proporciona una salida eléctrica que es convertida por la electrónica de control 410 en un valor de temperatura. El soplador 460 está conectado eléctricamente a la electrónica de control 410 mediante el conector eléctrico 450, y la electrónica de control 410 se preconfigura con un mapa de caudal másico de oxidante del soplador para calcular el caudal másico de oxidante del
30 soplador.

[0155] Las entradas adicionales (no mostradas) que se proporcionan a la electrónica de control 410 son: la salida de energía eléctrica necesaria desde el ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible 1, y la salida de energía eléctrica medida del ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible 1.

35 **[0156]** La electrónica de control 410 se preconfigura para utilizar la información de entrada para determinar el nivel de suministro de energía eléctrica apropiado para el

calentador eléctrico 400 y le suministra la corriente eléctrica necesaria al mismo mediante el conector eléctrico 420.

[0157] Las temperaturas en las posiciones C-J son las siguientes:

- C- 465-490 °C
- 5 D- 430-465 °C
- E- 415-445 °C
- F- 550-620 °C
- G- 700-725 °C
- H- 535-565 °C
- 10 I- 100-120 °C
- J- 215-235 °C

[0158] En otro modo de realización más (Figura 9), se indican las temperaturas del fluido claves cuando se opera en GLP rico en butano con una proporción de vapor a carbono en el reformador de vapor (330) de 4,0:1. De nuevo, esto requiere un calentamiento adicional que es proporcionado por el calentador eléctrico 400.

[0159] Las temperaturas en las posiciones C-J son las siguientes:

- C- 465-490 °C
- D- 430-460 °C
- E- 405-435 °C
- 20 F- 550-620 °C
- G- 700-725 °C
- H- 525-555 °C
- I- 100-120 °C
- J- 205-225 °C

[0160] La Figura 10 muestra los resultados de adaptación de la temperatura del oxidante en los extremos de entrada de gas del colector abierto de capas del apilamiento de celdas de combustible, y los resultados han sido validados con datos experimentales. En un caso en el que $Y=0$, hay una variación significativa desde la temperatura óptima, y cuando $Y=0,5X$ hay una mejora considerable. Esto tiene como resultado una operación y eficacia del ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible mejoradas.

[0161] Las Figuras 11-13 muestran configuraciones alternativas de la entrada de oxidante 120 y el punto de entrada de oxidante 125 y también la provisión de calentadores eléctricos 400 en determinados modos de realización.

[0162] Se apreciará que no se pretende limitar la presente invención únicamente a los modos de realización anteriores, siendo evidentes fácilmente otros muchos modos de

realización para una persona de habilidad ordinaria en la técnica sin abandonar el ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

Signos de referencia:

- 5 **[0163]**
- 1- Ensamblaje del apilamiento de celdas de combustible
 - 10- Apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido
 - 20- Capa del apilamiento de celdas de combustible
 - 21- Capas adicionales del apilamiento de celdas de combustible
 - 30- Celda de combustible
 - 31- Ánodo de la celda de combustible
 - 32- Electrolito de la celda de combustible
 - 33- Cátodo de la celda de combustible
 - 34- Sustrato de metal de la celda de combustible
 - 35- Región no porosa del sustrato de la celda de combustible
 - 36- Región porosa del sustrato de la celda de combustible
 - 37- Placa de interconexión conductora de la electricidad
 - 38- Empaquetadura aislante de la electricidad
 - 40- Placa base
 - 50- Campana
 - 60- Volumen de campana
 - 70- Entrada de oxidante de colector abierto
 - 80- Extremo de colector abierto
 - 90- Salida de oxidante de colector interno
 - 100- Entrada de combustible de colector interno
 - 110- Salida de combustible de colector interno
 - 120- Entrada de oxidante
 - 125- Punto de entrada de gas
 - 130- Combustible
 - 130a- Combustible de escape
 - 130b- Combustible de escape más seco
 - 140- Oxidante (aire)
 - 140a- Oxidante de escape
 - 150- Bloque aislante térmico
 - 160- Placa de extremo del apilamiento de celdas de combustible
 - 170- Superficie externa del apilamiento de celdas de combustible

ES 2 387 212 T3

- 190- Superficie interior de la campana
- 200- Sistema de intercambio de calor del oxidante (precalentador)
- 210- Flujo de oxidante 140
- 230- Empaquetadura de vermiculita de aislante térmico de cierre hermético contra el gas
- 240- Capa aislante interior
- 250- Capa aislante exterior
- 260- Dispositivo de distribución de flujo
- 270- Agua
- 280- Vapor
- 290- Intercambiador de calor de gas a gas
- 300- Intercambiador de calor condensador
- 310- Quemador de gas de cola
- 320- Efluente gaseoso del quemador
- 330- Reformador de vapor
- 340- Generador de vapor
- 350- Fluido refrigerante de entrada
- 360- Fluido refrigerante de salida
- 400- Calentador eléctrico
- 410- Termopar
- 420- Electrónica de control
- 430- Conector eléctrico
- 440- Conector eléctrico
- 450- Conector eléctrico
- 460- Soplador

5

10

Reivindicaciones

1. Un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (1) que comprende:

(i). una placa base (40);

5 (ii). una campana (50) unida de forma hermética a dicha placa base y que define un volumen de campana (60) entre dicha placa base y dicha campana;

10 (iii). al menos un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (10) montado sobre dicha placa base y encerrado por dicha campana;

(iv). al menos una entrada de gas (120) que define al menos un punto de entrada de gas (125) en dicho volumen de campana; y

15 (v). un precalentador (200) situado en el exterior de dicho volumen de campana y en comunicación de fluido con una fuente de oxidante y dicha al menos una entrada de gas y adaptado para suministrar oxidante (140) desde dicha fuente de oxidante a dicho volumen de campana a través de dicha entrada de gas,

comprendiendo cada apilamiento de celdas de combustible al menos tres capas de apilamientos de celdas de combustible (20,21), comprendiendo cada
20 capa de apilamiento de celdas de combustible al menos una celda de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (30), definiendo cada celda de combustible un extremo de entrada de oxidante y un extremo de salida de oxidante de escape (140a),

teniendo dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible:

25 (a) al menos una entrada de gas de colector abierto (70) que define un extremo de colector abierto (80) de dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible ; y

(b) al menos una salida de gas de colector interno,

dicho al menos un punto de entrada de gas en dicho volumen de campana
30 situado alejado de dicho extremo de colector abierto de dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible de manera que el oxidante en uso entra en dicho volumen de campana a través de dicha al menos una entrada de gas y pasa alrededor del exterior de dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible hacia dicha al menos una entrada de gas de colector abierto,

35 produciéndose una transferencia de calor directa entre dicho oxidante y la superficie externa (170) de dichas capas de apilamiento de celdas de combustible antes de la entrada de dicho oxidante en dicha entrada de gas de

- colector abierto, estando configurado dicho precalentador de forma que en uso el oxidante de dicha fuente de oxidante se calienta y suministra a dicho volumen de campana a través de dicha al menos una entrada de gas a una temperatura no superior de 100 °C por debajo de la temperatura operativa en uso en el extremo de entrada de la celda de combustible más cercana a la al menos una entrada de gas de colector abierto,
- 5 en el que dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia define una altura X medida desde la capa de apilamiento de celdas de combustible (20) más cercana a dicha placa base hasta la capa del apilamiento de celdas de combustible (21) más alejada de dicha placa base, y en el que dicho al menos un punto de entrada de gas está situado a una altura Y sobre dicha capa de apilamiento de celdas de combustible más cercana a dicha placa base, en el que $0,25X \leq Y \leq 0,75X$.
- 10 2. Un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible según la reivindicación 1, que no comprende un precalentador de gas de entrada situado como parte de dicha campana.
- 15 3. Un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia es un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia soportado en metal.
- 20 4. Un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo además dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible al menos una entrada de combustible de colector interno (100).
- 25 5. Un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible según la reivindicación 4, siendo dicha al menos una salida de gas de colector interno una salida de combustible de escape de colector interno (110), comprendiendo además dicho apilamiento de celdas de combustible al menos una salida de oxidante de escape de colector interno (90).
- 30 6. Un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible según la reivindicación 4, comprendiendo dicha al menos una salida de gas de colector interno al menos una salida mixta de oxidante y combustible de escape de colector interno.
- 35 7. Un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo además la superficie externa de dicha al menos una capa de apilamiento de celdas de combustible al menos

una protrusión adaptada para realizar en uso la transferencia de calor entre ella misma y el gas.

- 5
8. Un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo además al menos una de la superficie interna de dicha campana y la superficie externa de dicha al menos una capa de apilamiento de celdas de combustible al menos una protrusión adaptada para provocar en uso el flujo de fluido turbulento.
- 10
9. Un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicho apilamiento de celdas de combustible tiene en uso una temperatura operativa de 450-650 °C.
10. Un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia tiene un soporte metálico.
- 15
11. Un apilamiento de celdas de combustible según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo además un dispositivo de calentador eléctrico (400) en o en comunicación térmica directa con dicha al menos una entrada de gas y contenido dentro de dicho volumen de campana o dicha campana o placa base;
- 20
- y comprendiendo además opcionalmente medios de control (420) para dicho dispositivo de calentador eléctrico;
- y comprendiendo además opcionalmente un sensor de temperatura (410) para determinar en uso la temperatura del oxidante que fluye a o a través de dicha al menos una entrada de gas o la temperatura del oxidante en un punto
- 25
- seleccionado dentro de dicho volumen de campana.
12. Un ensamblaje de sistema de apilamiento de celdas de combustible que comprende un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible según cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
- 30
13. Un método de funcionamiento de un ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (1), comprendiendo dicho ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible:
- (i). una placa base (40);
- (ii). una campana (50) unida de forma hermética a dicha placa base y que define un volumen de campana (60) entre dicha placa base y dicha
- 35
- campana;

(iii).al menos un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (10) montado sobre dicha placa base y encerrado por dicha campana;

(iv).al menos una entrada de gas (120) que define al menos un punto de entrada de gas (125) en dicho volumen de campana; y

(v).un precalentador (200) situado en el exterior de dicho volumen de campana y en comunicación de fluido con una fuente de oxidante y dicha al menos una entrada de gas y adaptado para suministrar oxidante (140) desde dicha fuente de oxidante a dicho volumen de campana a través de dicha entrada de gas,

comprendiendo cada apilamiento de celdas de combustible al menos tres capas de apilamientos de celdas de combustible (20,21), comprendiendo cada capa de apilamiento de celdas de combustible al menos una celda de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia (30), definiendo cada celda de combustible un extremo de entrada de oxidante y un extremo de salida de oxidante de escape (140a),

teniendo dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible:

(a) al menos una entrada de gas de colector abierto (70) que define un extremo de colector abierto (80) de dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible ; y

(b) al menos una salida de gas de colector interno,

dicho al menos un punto de entrada de gas en dicho volumen de campana situado alejado de dicho extremo de colector abierto de dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible,

en el que dicho al menos un apilamiento de celdas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia define una altura X medida desde la capa de apilamiento de celdas de combustible (20) más cercana a dicha placa base hasta la capa del apilamiento de celdas de combustible (21) más alejada de dicha placa base, y en el que dicho al menos un punto de entrada de gas está situado a una altura Y sobre dicha capa de apilamiento de celdas de combustible más cercana a dicha placa base, en el que $0,25X \leq Y \leq 0,75X$,

comprendiendo dicho método las etapas de pasar oxidante a dicho volumen de campana a través de dicha al menos una entrada de gas, pasándolo alrededor de la parte exterior de dicho al menos una apilamiento de celdas de combustible hasta dicha al menos una entrada de gas de colector abierto, produciéndose la transferencia de calor directa entre dicho oxidante y la superficie externa (170) de dichas capas de apilamiento de celdas de

combustible antes de la entrada de dicho oxidante a dicha entrada de gas de colector abierto, estando configurado dicho precalentador de forma que en uso el oxidante de dicha fuente de oxidante es calentado y suministrado a dicho volumen de campana a través de dicha entrada de gas a una temperatura no superior de 100 °C por debajo de la temperatura operativa en uso en el extremo de entrada de la celda de combustible más cercana a la entrada de gas de colector abierto.

14. Un método según la reivindicación 13, que comprende además la etapa de llevar a cabo una reacción electroquímica con oxidante y combustible (130) en dicha al menos una celda de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia para generar calor y electricidad.

15. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 13 o 14, comprendiendo además dicho ensamblaje de apilamiento de celdas de combustible:

(i). un dispositivo de calentador eléctrico (400) en o en comunicación térmica directa con dicha al menos una entrada de gas y contenido dentro de dicho volumen de campana o dicha campana o placa base;

(ii). al menos un sensor de temperatura (410) situado para determinar en uso la temperatura del oxidante que fluye a dicha al menos una entrada de gas de colector abierto; y

(iii). medios de control (420),

estando dicho dispositivo de calentador eléctrico y dicho al menos un sensor de temperatura en comunicación eléctrica con dichos medios de control;

comprendiendo además dicho método la etapa de realizar un calentamiento adicional de dicho oxidante con dicho dispositivo de calentador eléctrico bajo el control de dichos medios de control de forma que en uso dicho oxidante en dicha al menos una entrada de gas de colector abierto es calentado hacia una temperatura deseada.

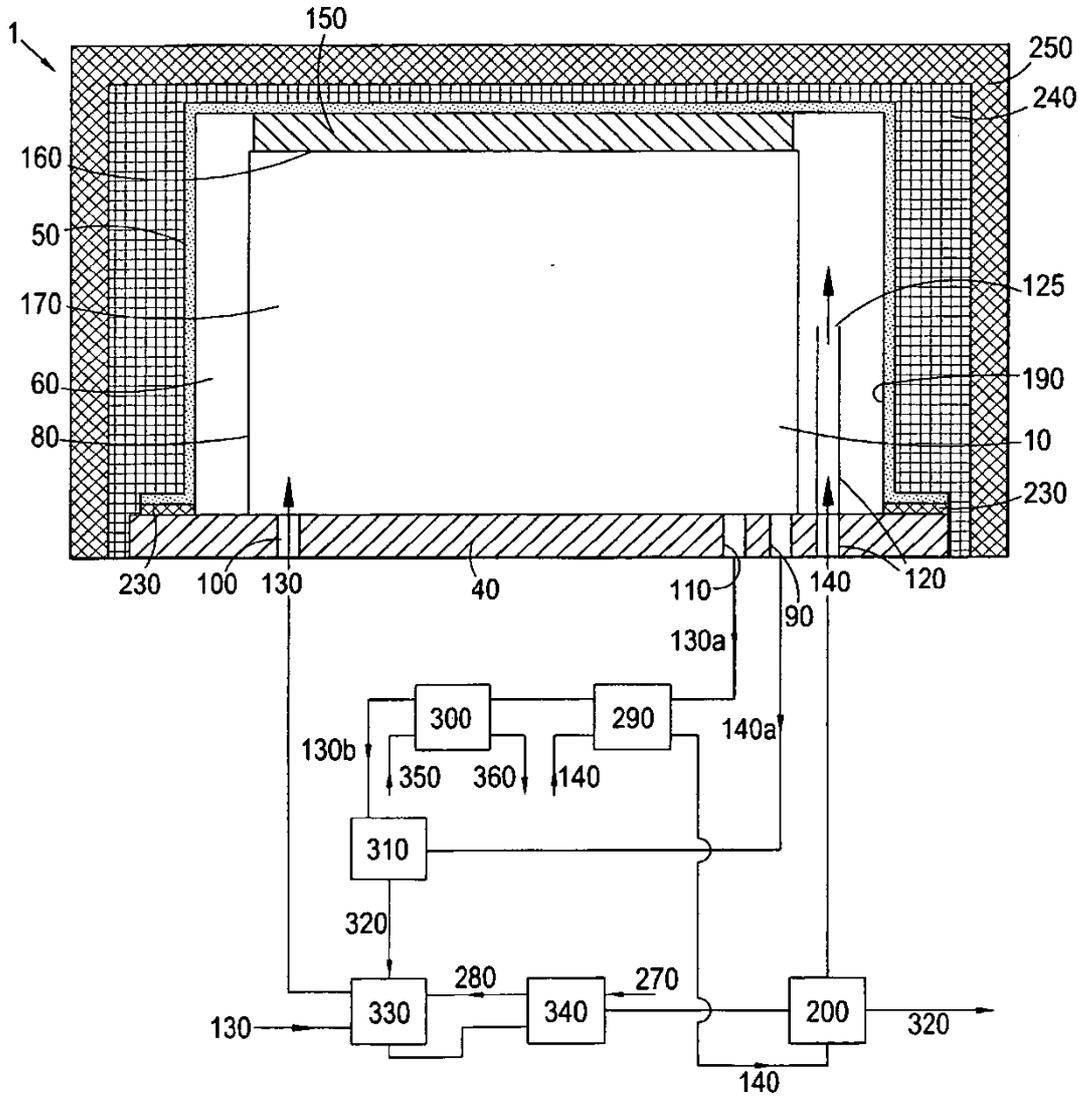


Figura 1

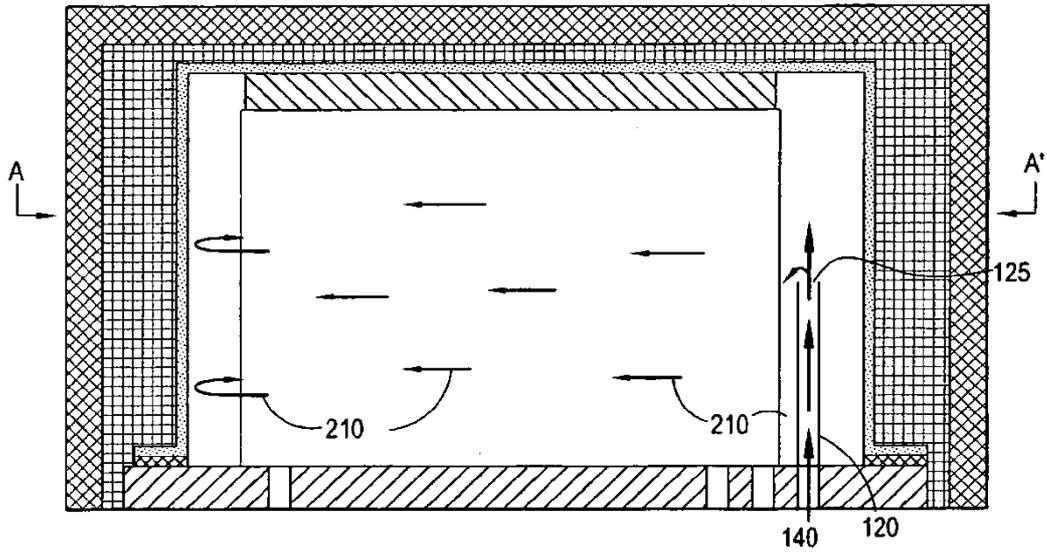


Fig. 2

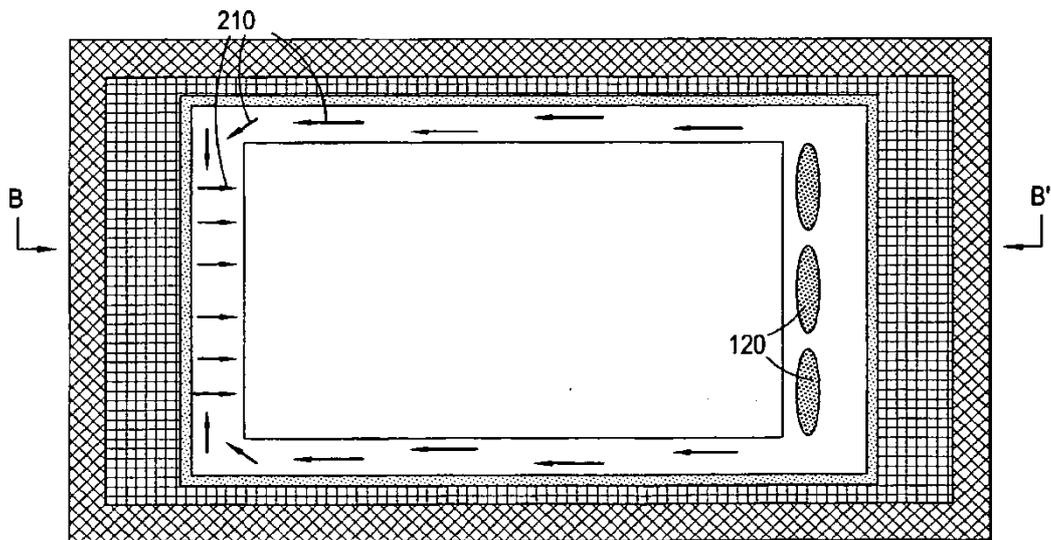


Fig. 3

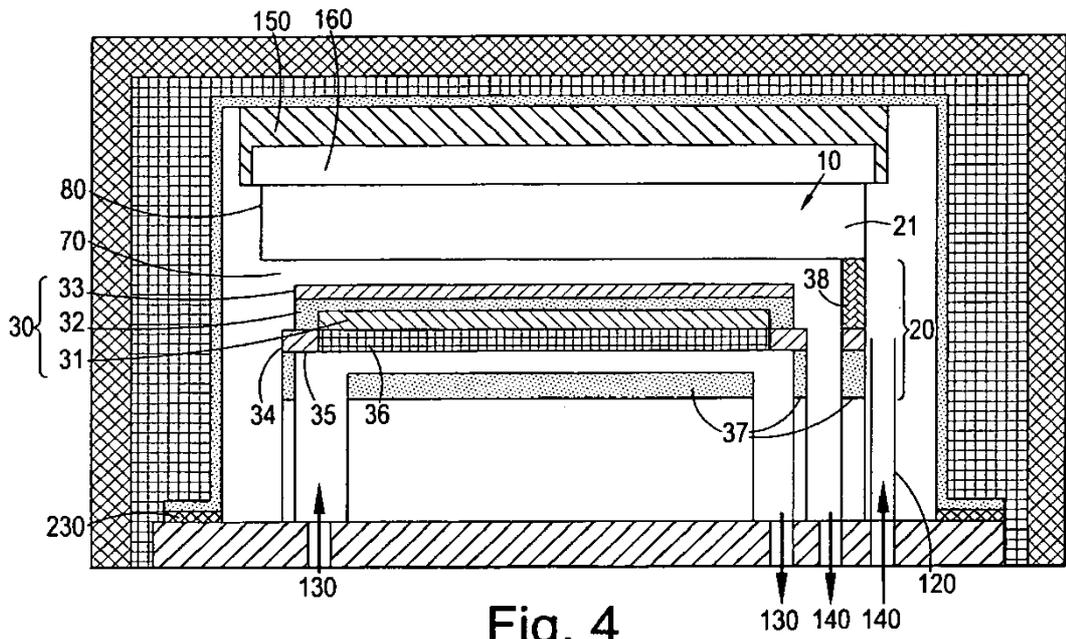


Fig. 4

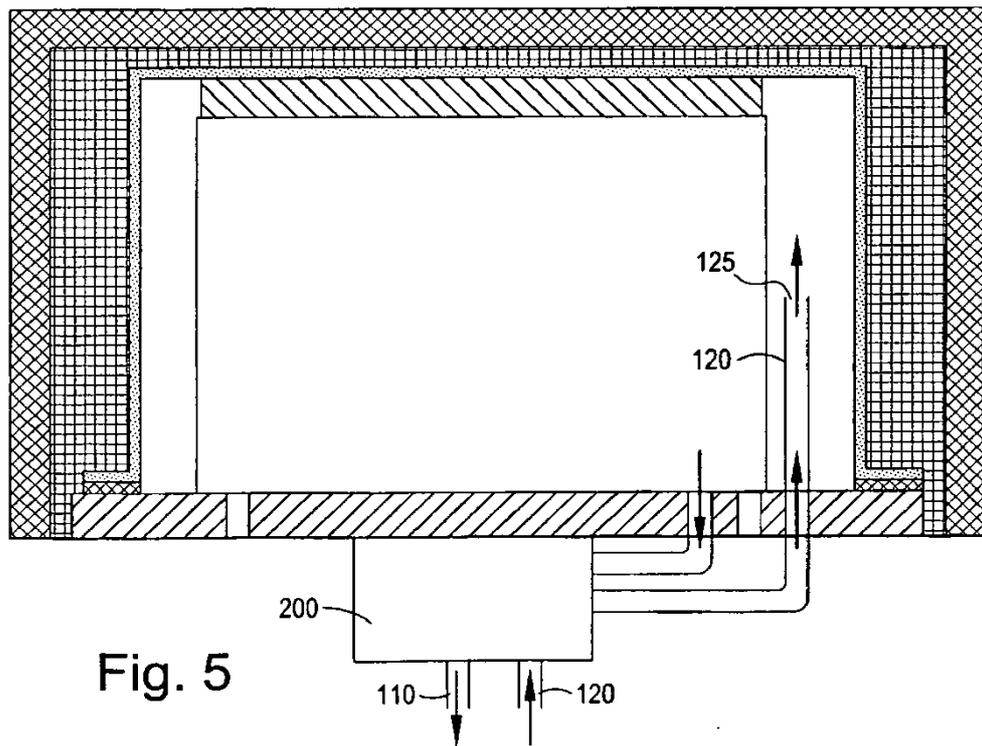


Fig. 5

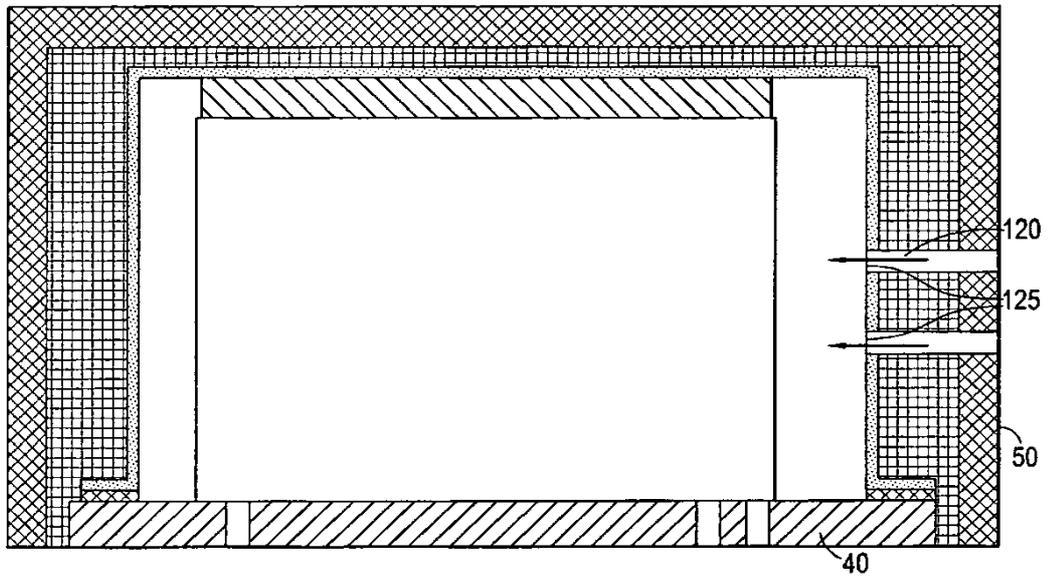


Fig. 6

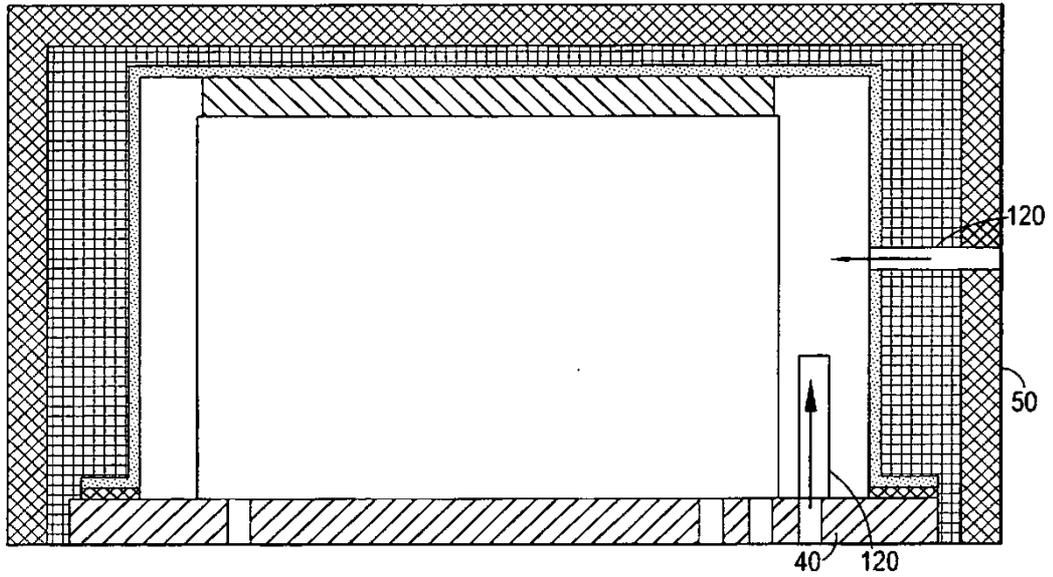


Fig. 6A

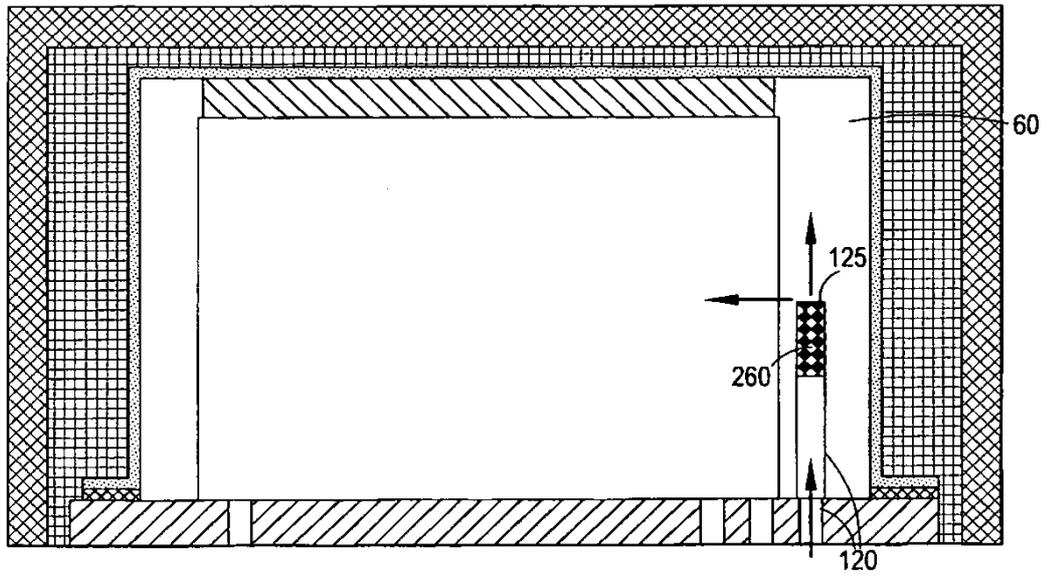


Fig. 6B

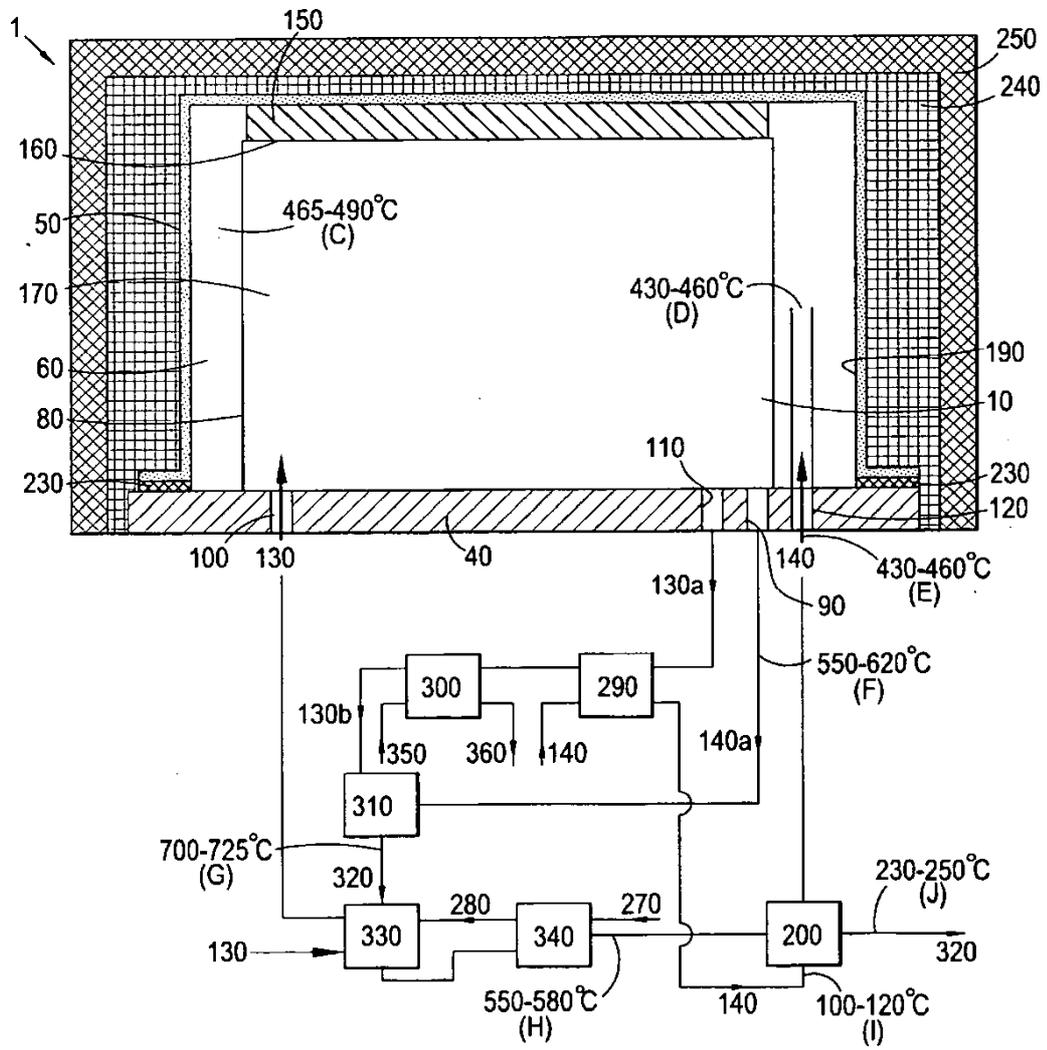


Fig. 7

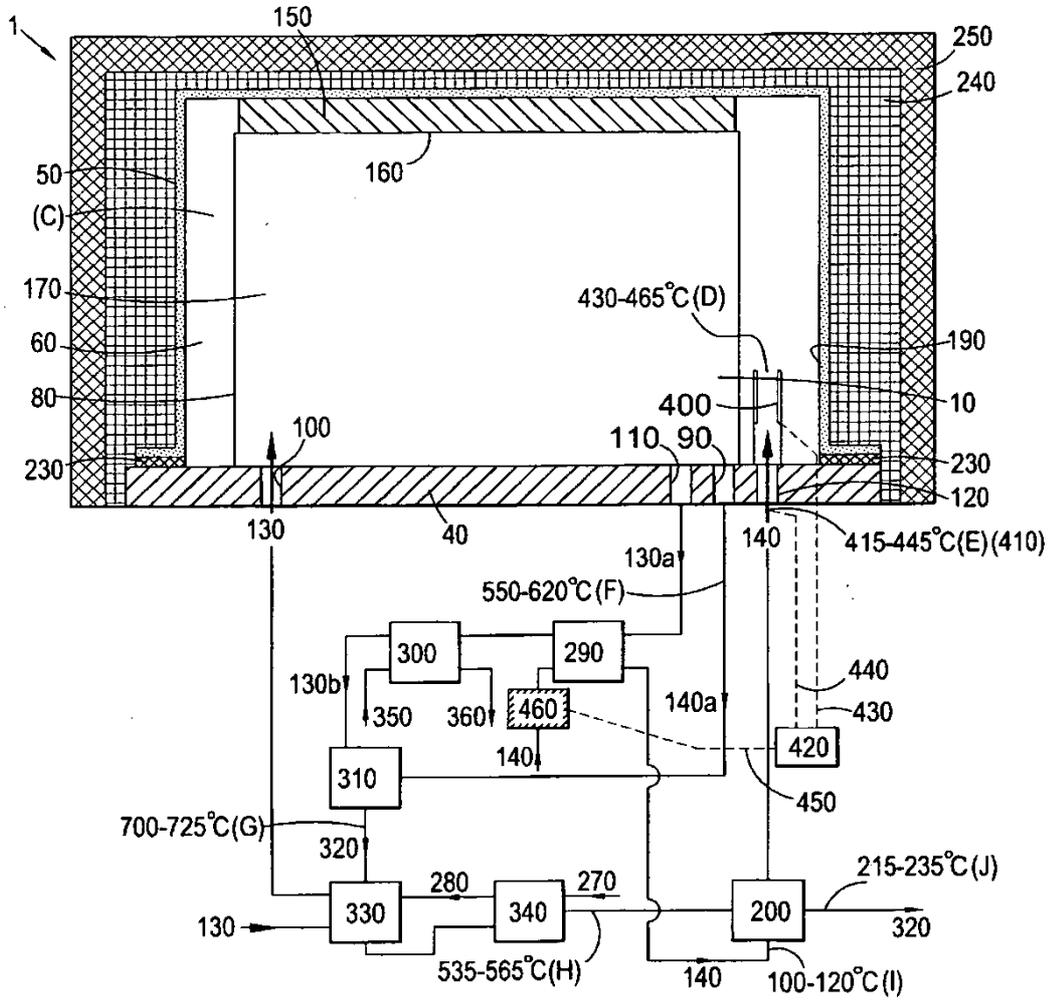


Fig. 8

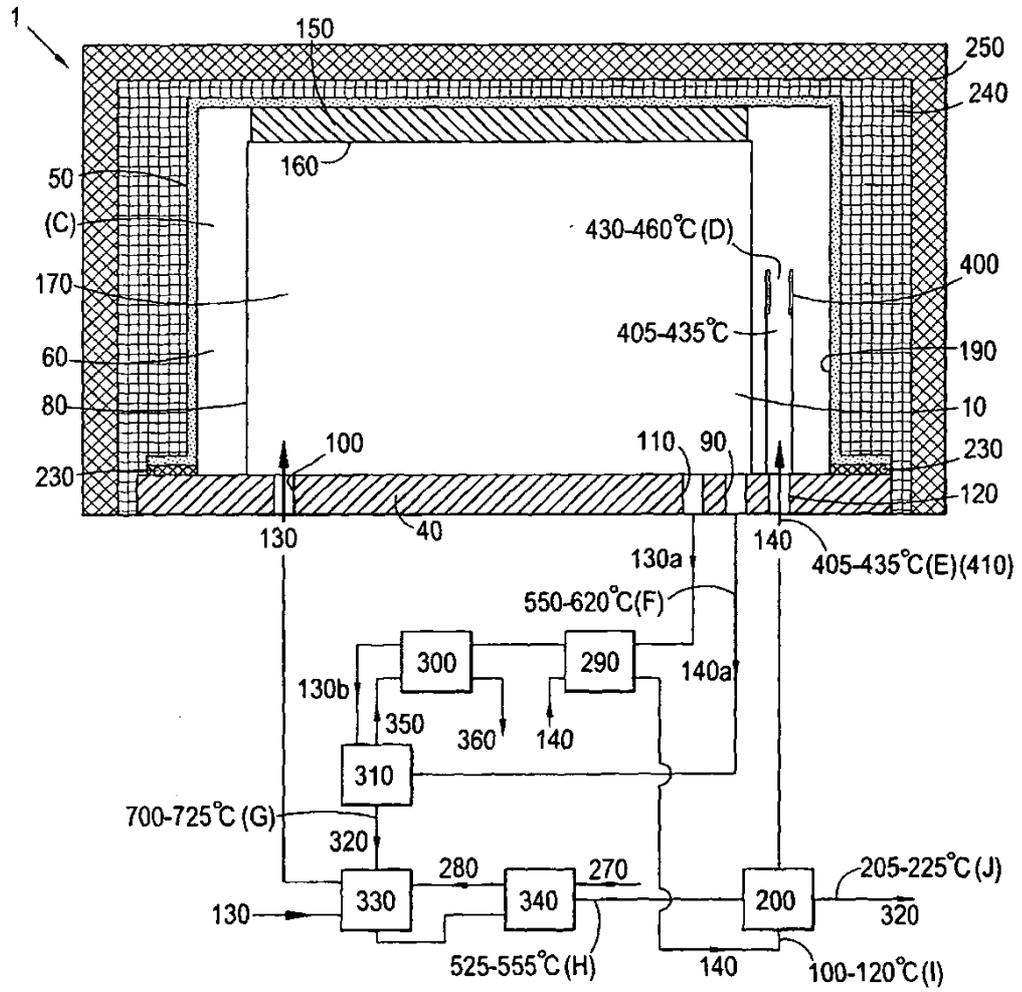


Fig. 9

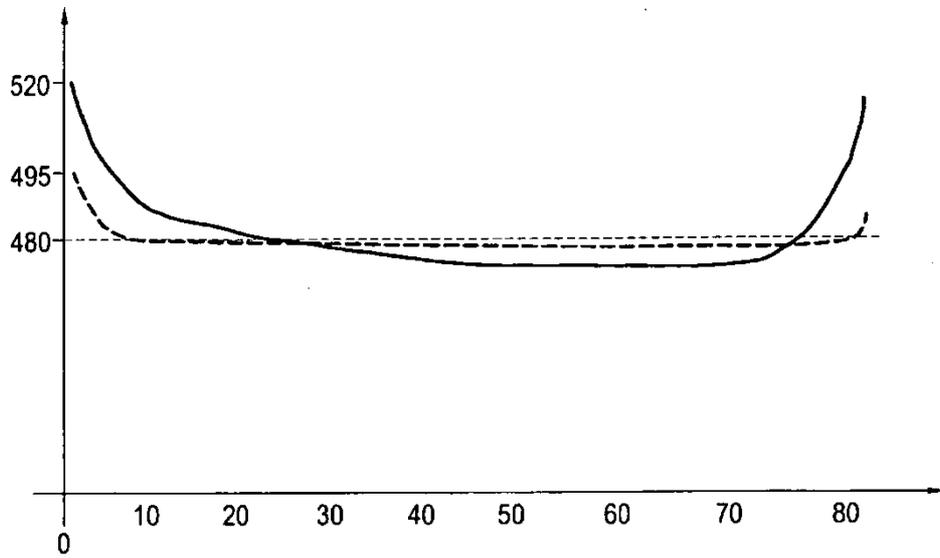


Fig. 10

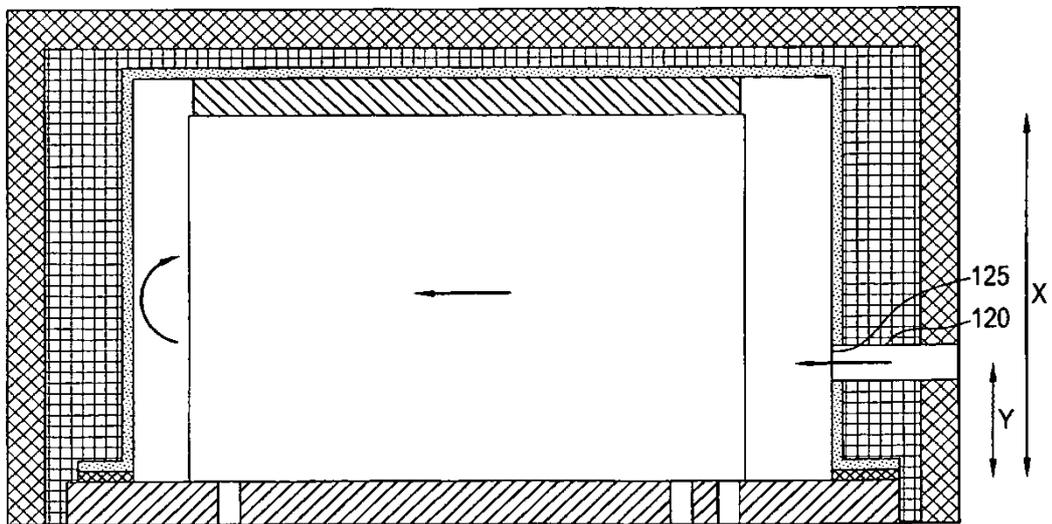


Fig. 11

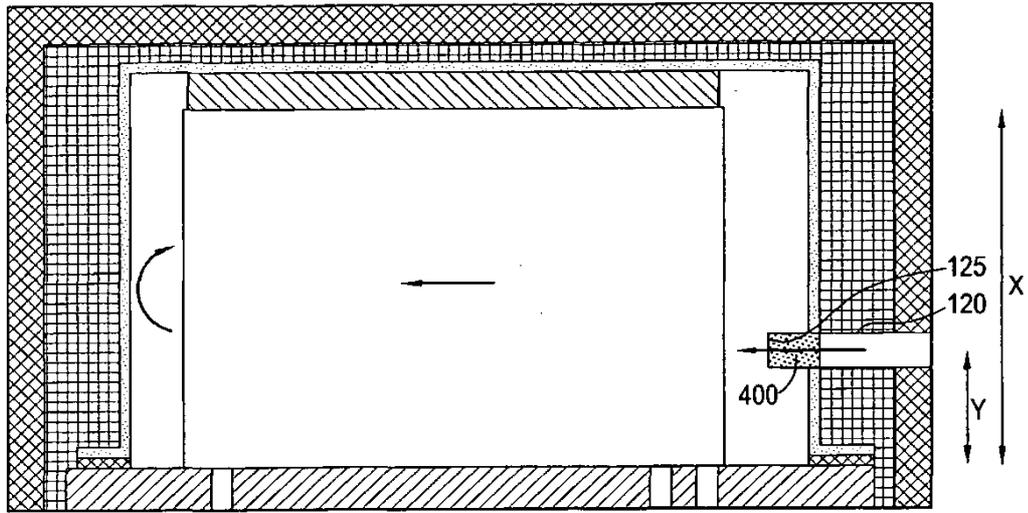


Fig. 12

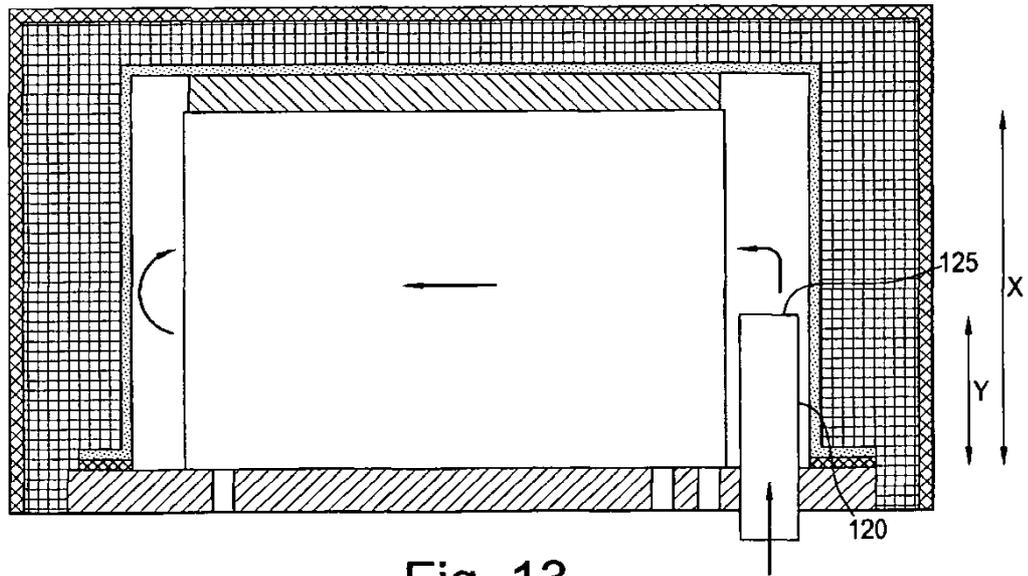


Fig. 13

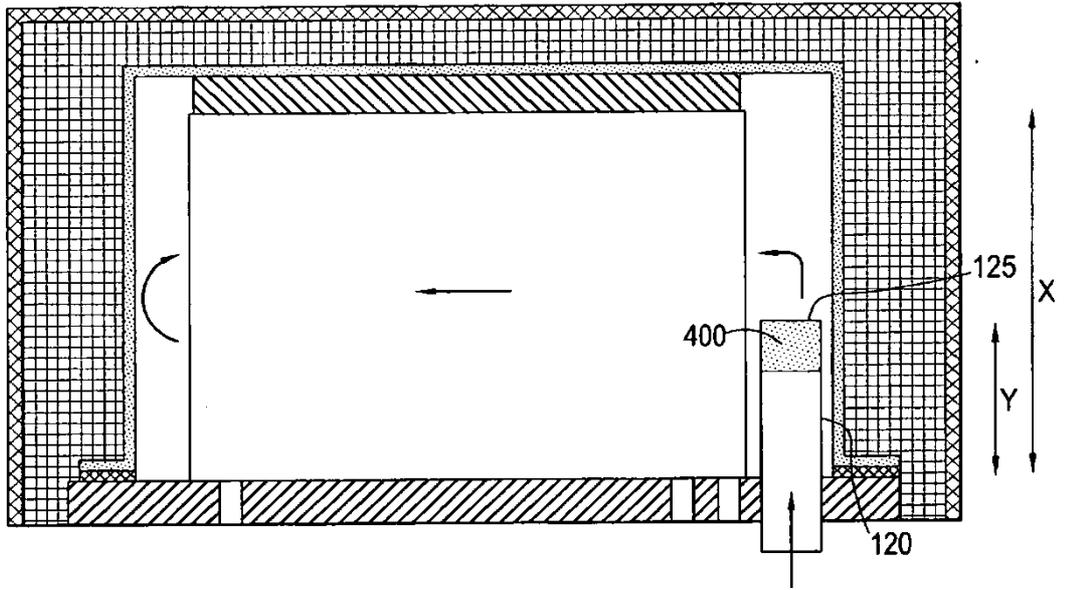


Fig. 14