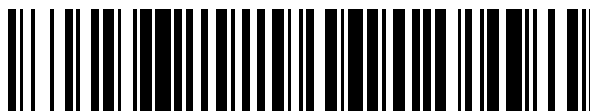


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 422 431**

51 Int. Cl.:

H01M 8/24 (2006.01)

H01M 8/04 (2006.01)

H01M 8/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.05.2006** **E 06770874 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2013** **EP 1889319**

54 Título: **Aparato de pila de combustible de alta temperatura y su gestión térmica, de reactivos y de seguridad**

30 Prioridad:

18.05.2005 US 682187 P

10.04.2006 US 402162

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

11.09.2013

73 Titular/es:

LILLIPUTIAN SYSTEMS, INC. (100.0%)

**36 JONSPIN ROAD,
WILMINGTON MA 01887, US**

72 Inventor/es:

**SCHAEVITZ, SAMUEL, B.;
FRANZ, ALEKSANDER;
BARTON, ROGER, W. y
LUDWISZEWSKI, ALAN**

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 422 431 T3

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

DESCRIPCIÓN

Aparato de pila de combustible de alta temperatura y su gestión térmica, de reactivos y de seguridad

Sector técnico

5 [0001] La invención se refiere a aparatos y procedimientos que mejoran la eficiencia y la seguridad de la pila de combustible. En una forma de realización, la invención se refiere a las pilas de combustible adaptadas para mejorar el balance energético mediante la integración de múltiples componentes de pila de combustible en una zona isotérmica.

Antecedentes

10 [0002] Las pilas de combustible que operan en conjunción con depósitos de combustible reemplazables llenos de, por ejemplo, hidrógeno gaseoso, metanol, butano o diesel combustible, son una tecnología en desarrollo. Estos tipos de pilas de combustible están diseñados para competir con las diversas soluciones de batería que dan potencia a productos de consumidor. La competitividad de estas pilas de combustible con respecto a las baterías depende de un número de factores, tales como la densidad de energía del combustible en el depósito, la capacidad de la pila de combustible para convertir la energía química en energía eléctrica con determinadas eficiencias, y la necesidad de
15 que la pila de combustible, junto con los componentes de bombeo de líquido y de control de potencia asociados, no sea más grande que una batería competitiva.

[0003] Se han logrado mejoras en la densidad de energía y la eficiencia de conversión química con pilas de combustible óxido-sólido (SOFC), que utilizan membranas de cerámica en lugar de membranas de polímero. Dado que las pilas de combustible de óxido sólido pueden convertir una variedad de diferentes tipos de combustibles moleculares en electricidad, por ejemplo, diversos hidrocarburos, una pila de combustible de óxido sólido puede utilizar combustibles líquidos con alta densidad de energía y aún así lograr eficiencias de conversión de energía adecuadas.
20

[0004] Sin embargo, las pilas de combustible de óxido sólido, requieren operación de membrana y de catalización a temperaturas por encima de 600 °C, a menudo por encima de 750 ° C. Por consiguiente, los diseñadores de pilas de combustible de óxido sólido para aplicaciones de potencia portátiles deben proteger al usuario final del calor elevado y sin añadir demasiado tamaño al conjunto. Además, a día de hoy, una pila de combustible de óxido sólido que funciona a 800 ° C puede irradiar o transmitir fácilmente diez veces más energía al medio ambiente en forma de calor perdido que la energía eléctrica entregada al usuario. Tal sistema no puede tener más de 10% de eficiencia, es decir, el sistema utiliza más del 90% de la energía del combustible con el único propósito de mantener la temperatura de funcionamiento del reactor a 800 °C. Por lo tanto, con tan baja eficiencia, es poco probable que las pilas de combustible de óxido sólido actuales puedan competir con las baterías.
25 30

[0005] Las pilas de combustible de óxido sólido portátiles del estado de la técnica no han sido capaces de lograr volúmenes similares a las baterías. El generador de pila de combustible de óxido sólido, sin aislamiento, rara vez supera los 0,35 vatios por centímetro cúbico (W / cc). Tras la adición de capas de aislamiento con un espesor suficiente para el funcionamiento eficiente energéticamente, las pilas más convencionales de combustible de óxido sólido proporcionan relaciones potencia volumen por debajo de 0,1 W / cc.
35

[0006] Además, el aparato de pila de combustible existente y diseños de sistemas proporcionan los elementos calentados (distintos de las pilas de combustible de óxido sólido) para mejorar la eficiencia del sistema. Sin embargo, cada componente calefactado añade volumen al aparato y la cantidad de aislamiento necesaria para evitar la disipación de calor excesiva.
40

[0007] US 6,682,841 describe un aparato que comprende un alojamiento de pila de combustible, una pila de combustible dispuesta dentro del alojamiento de pila de combustible, un camino de circulación de fluido capaz de llevar combustible desde una fuente de combustible a la pila de combustible, un circuito de control para garantizar la operación segura del aparato de pila de combustible, y un volumen de aislamiento dispuesto adyacente a un exterior del alojamiento de pila de combustible y que define una región que tiene una presión seleccionada para proporcionar aislamiento térmico cerca del exterior del alojamiento de pila de combustible.
45

[0008] Existe una necesidad de construir un aparato de pila de combustible en miniatura, que cuando se combina con un recipiente de combustible portátil, pueda proporcionar capacidades de almacenamiento de energía similares a o superiores a las de las baterías recargables, por ejemplo, mayor que 200 vatios - hora por litro (W-hr / L), y preferiblemente mayor que 400 W-h / L. Una pila de combustible sería de gran valor para la alimentación de dispositivos electrónicos portátiles, cuyas funciones están actualmente a menudo limitadas por la capacidad de la energía de las baterías. Además, habida cuenta de las muchas posibles aplicaciones de suministro de energía de interés para los consumidores individuales, una pila de combustible segura para los usuarios individuales también es de gran valor.
50

55

Resumen de la invención

[0009] La presente invención proporciona un aparato según la reivindicación 1 y un procedimiento de fabricación de un aparato de pila de combustible según la reivindicación 6.

[0010] Preferentemente, la eficiencia del combustible se consigue, en parte, mediante la regulación de la eficiencia térmica. Específicamente, la mejora de la eficiencia térmica puede resultar, en parte, de cualquiera o una combinación de los siguientes factores: la integración del reformador de combustible, de la pila de combustible, y del quemador de gas de cola en una única zona de alta temperatura, esencialmente isotérmica, reduciendo sustancialmente el área de disipación de calor de la zona caliente mediante el aumento de la densidad de potencia en la pila de combustible, preferentemente a valores superiores a 2 W / cc, el uso de medios de aislamiento térmico eficientes (ya sea aerogel o de vacío) de tal manera que todos los componentes que requieren alta temperatura de operación están contenidos dentro de un único alojamiento y en el que dicho aislamiento térmico está dispuesto exterior a dicho alojamiento; la incorporación de conexiones de baja conductancia térmica para el intercambio de fluidos entre el aparato de pila de combustible y el mundo exterior y para la extracción de las corrientes eléctricas de la pila de combustible, y / o al incorporación de un recuperador de calor, preferiblemente situado dentro de la zona de aislamiento térmico, por ejemplo, de modo que el recuperador de calor pueda operar a una temperatura intermedia entre la temperatura de la zona caliente y el ambiente exterior.

[0011] Como se usa en este documento, "aparato de pila de combustible" y "sistemas de pilas de combustible" se refieren a un aparato o dispositivo que puede contener algunos o todos de los siguientes componentes: un reformador de combustible, un quemador de gas de cola, elementos de ánodo / electrolito / cátodo, bombas, y controles. Sin embargo, "pila de combustible" se refiere a la estructura de membrana ánodo / electrolito / cátodo. Además, "densidad de potencia" se refiere a una relación entre la potencia generada en un volumen dado y como se entiende de otro modo en la técnica de pilas de combustible.

[0012] Debe entenderse que los términos "un," y "el" significan "uno o más," salvo que se especifique expresamente lo contrario.

[0013] Tal como se usa en este documento "en comunicación con" se refiere a la comunicación directa o indirecta, por ejemplo, contacto, directo o indirecto, tales como a través de conexiones apropiadas, tales como paredes, tubos, pistas y capas de semiconductores, cableado, y otros medios conocidos en la técnica, y combinaciones de estos.

[0014] Lo anterior y otras características y ventajas de la invención, así como la propia invención, se comprenderán más plenamente a partir de la descripción, los dibujos y las reivindicaciones siguientes

Breve descripción de los dibujos

[0015] La referencia a las figuras en este documento está destinada a proporcionar una mejor comprensión de los procedimientos y aparatos de la invención pero no se pretende que limiten el alcance de la invención a las formas de realización descritas específicamente. Los dibujos no están necesariamente a escala, sino que se pone énfasis en ilustrar los principios de la invención. Los caracteres de referencia similares en las figuras respectivas típicamente indican partes correspondientes.

La figura 1 es una vista lateral en sección transversal de un aparato de pila de combustible de acuerdo con una realización ilustrativa de la invención;

La figura 2 es una vista en perspectiva de un componente de aparato de pila de combustible que tiene conexiones de fluidos y un recuperador de calor de acuerdo con una realización ilustrativa de la invención;

La figura 3 es un dibujo esquemático de ánodos, cátodos, electrolitos y dispuestos en una configuración adecuada para su uso en el aparato de pila de combustible de acuerdo con una realización ilustrativa de la invención;

La figura 4 es una vista lateral en sección transversal de otro aparato de pila de combustible de acuerdo con una realización ilustrativa de la invención;

La figura 5 es un dibujo esquemático de la capa de enrutamiento de flujo adecuada para su uso con un aparato de pila de combustible de acuerdo con una realización ilustrativa de la invención;

La figura 6 es un diagrama esquemático de un aparato de pila de combustible que incorpora diversas características de seguridad de acuerdo con una realización ilustrativa de la invención;

Las figuras 7 A, 7B y 7C son dibujos esquemáticos que ilustran flujos de control para la regulación de un aparato de pila de combustible de acuerdo con una realización ilustrativa de la invención; y

La figura 8 es un gráfico de la conversión de butano como una función de la temperatura adecuada para configurar ajustes preestablecidos de temperatura y rangos de temperatura de reacción para regular una forma de realización de la invención.

Descripción detallada

[0016] La siguiente descripción se refiere a los dibujos adjuntos que ilustran ciertas realizaciones de la presente invención.

5 **[0017]** Por lo tanto, la siguiente descripción detallada no tiene la intención de limitar la presente invención. Más bien, el alcance de la presente invención se define por las reivindicaciones adjuntas

Aparato de pila de combustible Integrado, Empaquetamiento, y Conexiones

10 **[0018]** Las realizaciones del aparato de pila de combustible descritas en este documento pueden producir energía eléctrica por encima de 2 W / cc y más de 3 W / cc. Estos aparatos de pila de combustible son los únicos capaces de producir tamaños de empaquetamiento aislados lo suficientemente pequeños como para aplicaciones portátiles, a pesar de que las potencias están por debajo de 100 vatios, por debajo de 20 vatios o menos de 5 vatios. En contraste, los diseños de pila de combustible existentes sólo generan densidades de potencia normalmente inferiores a 0,5 W / cc. Como resultado, las pilas de combustible de baja densidad de potencia son demasiado grandes y no lo suficientemente eficaces para muchas aplicaciones tales como, por ejemplo, sustitutos de la batería de los consumidores.

15 **[0019]** La densidad de potencia (W / cc) depende principalmente del diseño del aparato de pila de combustible integrada y la célula de combustible individual o la pila de combustible (pluralidad de células de combustible individuales). En particular, el nivel de integración proximal de los diversos componentes del aparato de pila de combustible dentro del alojamiento es un factor de diseño importante. Como resultado, la eficiencia del aparato de pila de combustible puede ser una función de cuán próximas las membranas de las pilas de combustible pueden ser
20 colocadas con sujeción a las limitaciones de resistencia mecánica y de conducción de fluido. Muchos de los aspectos y formas de realización descritos en este documento se refieren a la integración de componentes dentro de una región térmica y técnicas relacionadas para controlar las pérdidas térmicas. El uso de estructuras de semiconductores en muchas de las realizaciones descritas en la presente memoria permite pequeños tamaños y densidades de energía elevadas que permiten un aparato de pila de combustible que puede competir con diferentes
25 tipos de baterías.

[0020] La figura 1 muestra un ejemplo de un aparato de pila de combustible 5, en vista en sección transversal. La figura 1 ilustra un reformador de combustible 10, un par de membranas de pilas de combustible de óxido sólido 14 y 16, y un quemador de gas de cola 12 todos contenidos dentro de un único alojamiento 18. El alojamiento está hecho de un material térmicamente conductor de tal manera que todos los componentes dentro del alojamiento pueden
30 funcionar sustancialmente a la misma temperatura. Por lo tanto, el alojamiento facilita la formación de una zona que es sustancialmente isotérmica.

[0021] El alojamiento 18 de la figura 1 incluye en su interior todos los medios para conducir flujo y distribuir combustible y aire a la o las células de combustible. La corriente de combustible 20 pasa fuera del reformador de combustible 10, a lo largo del lado del ánodo de la primera célula de combustible 16. La corriente de combustible 20' pasa a continuación a lo largo del lado del ánodo 22 de la segunda célula de combustible 14 y, finalmente, en el quemador de gas de cola 12. La corriente de aire 26 pasa (por medio de canales de circulación internos que no se muestran) a lo largo del lado del cátodo 24 de las células de combustible 14, 16 y culmina en el quemador de gas de cola 12, donde el exceso de aire está disponible para la combustión del combustible de salida no utilizado. (La entrada de aire al quemador de gas de cola no aparece en la figura 1.)

40 **[0022]** También se muestra en la figura 1 un volumen de aislamiento 28, que separa el alojamiento 18 de una pared exterior 30 del aparato 5. La pared exterior se mantiene sustancialmente a una temperatura que se encuentra en o cerca de la temperatura ambiente del dispositivo eléctrico accionado por el aparato de pila de combustible. Para un funcionamiento eficiente de un aparato de pila de combustible de óxido sólido, la temperatura dentro del alojamiento debe ser mayor que 400 ° C, con mejores eficiencias operativas obtenidas si la temperatura se mantiene en exceso de 550 ° C, 600 ° C, o 750 ° C. Las temperaturas ambientales de circuitos eléctricos externos y la pared exterior 30
45 de un aparato de pila de combustible estarán típicamente en el intervalo de 0 ° C a aproximadamente 60 °

C. Por lo tanto, en esta forma de realización, se mantiene un gradiente térmico grande en exceso de 300 ° C deseablemente no sólo a través del espesor del volumen aislante intermedio 28, sino también a lo largo de las conexiones de fluido 32, conexiones eléctricas, 36, y a lo largo de soportes mecánicos 38.

50 **[0023]** Por lo tanto, se forma un vacío parcial dentro del volumen de aislamiento. También puede estar dispuesto un escudo de radiación infrarroja 40 dentro o sobre el aparato de pila de combustible. Es beneficioso mantener el bajo nivel de presión total de gas requerido en el volumen de aislamiento al fabricar una realización de baja presión o de aislamiento de vacío. Para este propósito, es útil añadir un material de captura 42 que tiene la capacidad de absorber gases remanentes y mantener altos niveles de vacío durante la vida de funcionamiento del dispositivo. Un
55 material de captura no evaporable, que puede ser activado por calentamiento eléctrico, y que es útil para este propósito, es el dispositivo captador SAES ST 171 (www.saesgetters.com).

[0024] La pila de combustible integrada contenida dentro de un alojamiento puede tener un espesor total de 2,5 mm. En la figura 1, hay dos capas de pilas de combustible 14 y 16, y tres capas de circulación 46, 48, y 50, cada una con 0,5 mm de espesor. Cada una de las dos capas de pilas de combustible es capaz de producir $0,4 \text{ W / cm}^2$ de potencia eléctrica. Como resultado, un ejemplo de aparato de pila de combustible integrado es capaz de entregar $(2 * 0,4) / 2,5 = 3,2 \text{ W / cc}$ de densidad de potencia.

[0025] El alojamiento, que integra las funciones de un reformador de combustible, un conjunto de membranas de pilas de combustible, un quemador de gas de cola, y todos los colectores de fluidos internos en una zona térmica, se puede fabricar a través de cualquiera de entre varias técnicas de fabricación. En particular, las realizaciones de la invención se pueden fabricar usando técnicas de MEMS (sistemas micro-electro-mecánicos) o técnicas de micromecanizado. Estas técnicas hacen posible la integración de materiales de película delgada (por ejemplo, electrolitos, los ánodos, cátodos y / o conexiones eléctricas de película delgada) junto con microcanales grabados al agua fuerte para el control del flujo de fluido sobre un sustrato común que es térmicamente conductora y mecánicamente robusta. Se incluyen elementos de soporte estructurales en algunas formas de realización, ya que son útiles para realizar el patrón de los ánodos o cátodos en regiones discretas. Los conjuntos membranas-electrodo individuales y los colectores de fluidos se pueden apilar entre sí mediante una variedad de técnicas de unión, para crear "sistemas" de procesamiento de fluidos.

[0026] Por ejemplo, un alojamiento integrado se puede montar a partir de un grupo de estructuras de semiconductores sustancialmente planos o no planos. Específicamente, se pueden unir cinco sustratos de silicio entre sí para formar la "caja" en cuyo interior se integran diversos componentes del aparato de pila de combustible. Unir entre sí los cinco sustratos de silicio da como resultado una configuración apilada. En una forma de realización, los sustratos pueden ser apilados de la siguiente manera: (1) sustrato reformador de combustible que incluye incluyendo interconexiones de fluido; (2) un conjunto de membrana electrodos, (3) una capa de circulación de fluido, (4) otro conjunto de membrana electrodos, y (5) una capa de circulación de fluido superior que incluye el quemador de gas de cola. Por lo tanto, una pila de capas puede formar parte o la totalidad del aparato de pila de combustible integrado.

[0027] En una forma de realización preferida, se elige el silicio como sustrato para la construcción de las membranas de las pilas de combustible y otras estructuras múltiples. Sin embargo, también existen técnicas de micro-mecanizado para la construcción de canales de flujo de fluido en obleas rígidas de vidrio y de cerámica, todos los materiales que poseen alta resistencia a la temperatura requerida para las pilas de combustible de óxido sólido. Con el fin de prevenir el cortocircuito eléctrico entre diferentes puntos del conjunto de membrana, puede recubrirse un sustrato de silicio con capas de óxido de silicio o nitruro de silicio para que sea eléctricamente aislante.

[0028] Los microcanales de fluidos grabados al agua fuerte se forman en los sustratos más superiores mediante una variedad de técnicas, incluyendo grabado químico húmedo y seco, ablación con láser, fresado con diamante, moldeo en cinta, o moldeo por inyección. Hay disponible una variedad de técnicas de unión de sustrato u oblea, incluyendo la unión por fusión, la unión anódica, el sellado por medio de materiales eutécticos de soldadura o películas delgadas, o de sellado por medio de fritas de vidrio.

[0029] Se pueden depositar conjuntos de pila de combustible, que incluyen el ánodo, cátodo y electrolito mediante una variedad de técnicas de deposición de película fina y gruesa incluyendo pulverización catódica, evaporación, deposición química de vapor, ablación por láser, serigrafía, recubrimiento por inmersión, o técnicas de pulverización de vapor.

[0030] El material preferido para el electrolito es circonia estabilizada con itria (YSZ), aunque una variedad de materiales de óxido de cerio dopado están también disponibles para este propósito. El material preferido para el ánodo de la pila de combustible es un cermet de níquel e YSZ, aunque se pueden emplear otros metales catalíticos tal como Pt, Pd, Fe o Co, y otros materiales de matriz de óxido pueden ser utilizados tales como óxido de cerio.

El material preferido para el cátodo de la pila de combustible es el manganato de lantano (estroncio) (LSM), aunque se han descrito otros materiales de cátodo incluyendo la cobaltita de lantano (estroncio) (LSC) y cobalto-ferrita de lantano (estroncio) de (LSCF). El material preferido para las conexiones eléctricas de película delgada en la pila de combustible es el platino, aunque también se ha descrito la cromita de lantano para esta aplicación.

[0031] La figura 2 es una ilustración adicional del aparato de pila de combustible de la figura 1, haciendo hincapié en la disposición de las conexiones de fluidos y un recuperador de calor 34. El alojamiento del aparato de pila de combustible integrado '18 se muestra sólo en su aspecto externo, con sub-regiones que denotan la colocación sugerida de un reformador de combustible 10, y un quemador de gas de cola (o catalizador) 12. Una mezcla de combustible y aire entra a lo largo de un tubo de entrada 60 directamente al reformador de combustible 10. Después de esto, por medio de canales internos de circulación, el carburante reformado pasa por el ánodo de la pila de combustible, eventualmente terminando en la región del quemador de gas de cola 12. El aire para el cátodo de la pila de combustible entra a través de un tubo 62 de entrada y fluye internamente a través de una ruta controlada al cátodo de la pila de combustible. Ambas corrientes de aire y combustible se reúnen finalmente en el quemador de gas de cola 12 para la extracción de cualquier calor residual de la oxidación antes de salir de la zona caliente a través de un tubo de salida 64.

[0032] Los tubos de entrada y salida ponen en comunicación de fluido la región entre el alojamiento y la pared exterior fría y se deben diseñar para baja conductividad térmica. Como un ejemplo, estos tubos pueden estar compuestos de nitruro de silicio, preferentemente con espesor de pared de 5 micrómetros o menos, tal como se describe en la Publicación Internacional N ° WO 03/013729. Como alternativa, los tubos se pueden hacer de capilares de vidrio de sílice. Por ejemplo, los capilares de vidrio están disponibles con 1 mm de diámetro exterior y espesores de pared de sólo 125 micras. La energía térmica que será conducida por estos capilares, si son 5 mm de largo y abarcan un gradiente de temperatura de 800 ° C, es de sólo 0,05 vatios.

[0033] Los expertos en la técnica reconocerán que otras disposiciones del reformador de combustible y quemador de gas de la cola dentro del alojamiento están dentro del alcance de esta invención. Del mismo modo, otras disposiciones y diferentes números de tubos de entrada y salida son posibles aparte de las que se ilustran en la figura 2. Por ejemplo, para aparatos de pila de combustible más grandes, puede ser preferible añadir un cuarto tubo para el suministro de flujos independientes de combustible y aire de un sistema de regulación de flujo externo directamente en el reformador de combustible. También puede ser preferible proporcionar dos fuentes independientes de aire en la región del cátodo, de tal manera que las caídas de presión de fluido puedan ser manejadas más eficazmente dentro del aparato de pila de combustible y / o como un medio para controlar la tensión de las pilas de combustible en las regiones locales de las membranas de las pilas de combustible. Además, también se pueden utilizar tubos concéntricos en determinadas realizaciones.

Recuperador de calor

[0034] Con referencia de nuevo a la figura 2, el recuperador de calor 34, que se muestra como dos barras, es un medio para la recuperación de calor y puede ser construido como una parte integral del conjunto del tubo de fluido.

El recuperador de calor se hace típicamente de un material térmicamente conductor, tal como el silicio, de tal manera que el calor de los gases de escape que pasan a través del tubo de salida 64 pueda ser absorbido y se transfiera a las corrientes de gas entrantes en los tubos de entrada 60 y 62.

[0035] Tal como se muestra en la figura 1, es posible mejorar el rendimiento mediante la colocación del recuperador de calor 34 dentro del volumen de aislamiento 28. En esta posición, las diversas temperaturas internas del recuperador de calor se pueden mantener intermedias entre la temperatura del aparato de pila de combustible integrada y la pared exterior. La colocación del recuperador de calor dentro del volumen de aislamiento existente también reduce el tamaño global del sistema mediante la eliminación de aislamiento separado alrededor del recuperador de calor. Además, la alineación del gradiente térmico del recuperador de calor con el gradiente térmico que hay entre el aparato de pila de combustible integrado y la pared exterior disminuye la pérdida de calor del recuperador de calor, porque hay poca o ninguna diferencia de temperatura entre una sección dada del recuperador de calor y el volumen aislante adyacente.

[0036] Varios medios de recuperación de calor son posibles, aparte de la disposición de tubos en paralelo que se muestra en la figura 2. Por ejemplo, una disposición de contracorriente tubo-en-tubo es apropiada o una pila de hojas metálicas delgadas formada para permitir una contracorriente por medio de microcanales mecanizados o conformados. Muchas otras disposiciones entran dentro del alcance de esta invención, siempre y cuando la ubicación física del recuperador de calor se encuentre dentro de la región intermedia entre la zona isotérmica ("caliente") del aparato de pila de combustible y la pared exterior fría.

Conexión de fluido de baja conductancia térmica

[0037] Un objetivo general de la invención es la gestión de la disipación total de calor lejos del alojamiento. En un elemento en particular, para gestionar la pérdida de calor a través de los tubos, (Q_{tubos}), que representa la conducción de calor por el sólido a lo largo de la longitud de los tubos de entrada y salida de fluido, la pérdida de calor a través de los tubos se puede calcular a partir del producto de a) la conductividad térmica del material de la pared del tubo, b) el descenso de la temperatura a lo largo del tubo, y c) el área de la sección transversal del material de la pared del tubo, dividido por d) la longitud del tubo.

[0038] Para los pequeños sistemas de aparatos de pilas de combustible, se determina una pérdida de calor máxima permitida a través de los tubos de fluidos para mejorar la eficiencia del sistema. Esta pérdida de calor, Q_{tubos} , se mantiene deseablemente por debajo de 0,1 vatios por tubo, preferiblemente menos de 0,05 vatios por tubo. Este valor de la pérdida de calor está significativamente por debajo de las formas de realización conocidas en la técnica, pero sin embargo, la eficiencia del sistema mejora drásticamente cuando los tubos de conexión fluido se construyen con una pérdida de calor por debajo de este valor crítico. La Tabla 2 muestra ejemplos típicos conocidos de materiales y diseños de tubos y ejemplos de tubos (realizaciones 3 y 4) adecuados para su uso con las presentes formas de realización que se construyen para satisfacer la condición de pérdida de calor crítica.

Tabla 2: Comparación de materiales de tubos de conexión de fluidos. (La potencia de pérdidas Q supone un descenso total de temperatura de 700°C.)

	Material del tubo	Conductividad térmica (W/cm-k)	Espesor de pared (micras)	Longitud/diámetro de tubo (mm/mm)	Pérdidas de potencia por tubo: (Watts)
Realización 1	Tubo de acero inoxidable de 1/8"	0.25	325	30/3	1.9
Realización 2	Capilar de acero inoxidable	0.25	125	20/1	0.35
Realización 3	Nitruro de silicio de pared delgada	0.4	2	3/0.5	0.03
Realización 4	Capilar de vidrio	0.01	125	5/1	0.05

[0039] En un generador de aparato de pila de combustible con 33% de eficiencia y 2 vatios, se espera que el aparato de pila de combustible queme el equivalente de 6 vatios de combustible y una pérdida térmica de 0,1 vatios por metro representaría sólo el 5% de la potencia total consumida. Para aparatos de pila de combustible más grandes en el intervalo de 5 a 30 vatios, pueden ser necesarios más tubos o tubos con sección transversal mayor para manejar mayores cantidades de flujo de fluido. Mediante el mantenimiento de la pérdida térmica de cada tubo por debajo de 0,5 vatios, y preferentemente por debajo de 0,1 vatios, el porcentaje de pérdida de calor debido a las conexiones de fluido se puede mantener en o por debajo de 10%, y preferentemente por debajo de 5%, de la potencia total quemada como combustible en el dispositivo.

Conexión eléctrica de baja conductancia térmica

[0040] Otro objetivo general de la invención es reducir la pérdida de calor provocada por conducción en sólidos a lo largo de las conexiones eléctricas. En una realización preferida, el valor de la pérdida de calor por cable eléctrico debe ser inferior a 0,5 vatios, y más preferentemente menos de aproximadamente 0,1 vatios. Sin embargo, una pérdida eléctrica de 0,1 vatios o menos por cable, requiere el uso de una mayor resistencia y conexiones de cables con diámetros más finos. La Tabla 3 muestra la correlación entre el diámetro del cable, la resistencia del cable, y la pérdida de calor de los cables conocidos y los que son útiles en la invención (realizaciones 3 y 4). Nótese la correlación inversa entre la resistencia del cable y la pérdida de energía térmica a lo largo del cable, que es típica de conductores metálicos. Para los sistemas de pilas de combustible conocidos, donde las potencias de pila están típicamente por encima de 100 vatios y el calor total disipado es mayor que 300 vatios, una pérdida de 1 vatio por cable no es excesiva. Para un aparato de pila de combustible nominal de 20 vatios o menos, es deseable reducir la pérdida de calor debida a los cables. El procedimiento empleado en esta invención para controlar la pérdida de calor es escoger conexiones eléctricas en las que la resistencia eléctrica supere 0,1 ohmios y preferentemente mayor que 0,5 ohmios.

Tabla 3: Comparación de cables de conexión eléctrica. (El descenso de temperatura a lo largo del cable se supone de 700°C.)

	Material del cable	Diámetro del cable (micras)	Longitud del cable (mm)	Resistencia del cable (ohms)	Pérdidas de potencia por cable: (Watts)
Realización 1	Aleación Cr/Ni	800	30	0.1	0.34
Realización 2	Pt	800	30	0.02	1
Realización 3	Aleación Cr/Ni	100	5	1.27	0.03
Realización 4	Pt	50	5	0.81	0.02

[0041] A partir de la tabla 3 se aprecia que la elección de cables de conexión para puentear el espacio de aislamiento, donde la resistencia de los cables excede 0,5 ohmios es ventajosa. Para lograr un aparato de pila de combustible eficiente con esta limitación, sin embargo, se requieren otros cambios en los parámetros de funcionamiento del aparato de pila de combustible y para la construcción de la pila de combustible. Por ejemplo, las corrientes de salida deben mantenerse a un nivel lo suficientemente bajo para evitar la excesiva pérdida de potencia

eléctrica por medio de la resistencia en los cables de conexión. Por lo tanto, usando las técnicas descritas en este documento, se pueden reducir las corrientes en cualquier nivel de potencia dado mediante el aumento de la tensión de la pila de combustible. Sin embargo, en el pasado, este objetivo se lograba mediante la conexión o apilamiento o de células de combustible individuales en serie para añadir sus voltajes. Para esta invención, que utiliza cables de conector de más de 0,5 ohmios, se requiere una tensión de salida apilada de más de 10 voltios, preferentemente de más de 15 voltios.

[0042] Un procedimiento para el apilamiento de tensión es un apilamiento/ disposición en un plano, en la que las capas de membranas de pilas de combustible se apilan verticalmente de tal manera que el ánodo de una pila hace contacto eléctrico con el cátodo de la pila directamente por encima de ella. Un requisito de voltaje de salida de 10 V para la pila de combustible requeriría ensamblar doce a veinte capas de membrana de pila de combustible apiladas en pila vertical. Sin embargo, la forma de realización ilustrada en la figura 1 representa sólo dos capas de la membrana debido a la eficiencia de volumen. Sin embargo, es posible una tensión de salida ventajosa usando el concepto de apilamiento en plano descrito en este documento.

[0043] La figura 3 ilustra el concepto de apilamiento en plano. El apilamiento en plano requiere la capacidad de realizar el patrón de ánodos, cátodos y electrolitos de modo que se puedan hacer las conexiones de tensión de tipo serie. En la figura 3, al ánodo 22 del electrolito de la pila de combustible 23 se le permite ponerse eléctricamente en contacto con un cátodo 24 que está dispuesto detrás de un electrolito de una pila de combustible 23B adyacente. Un material de interconexión 25 permite una conexión eléctrica de baja resistencia entre el ánodo 22 y el cátodo 24.

Unos elementos de soporte estructurales que se muestran en la figura 1 también son útiles para realizar el patrón de ánodos 20 o cátodos en regiones discretas. Teniendo en cuenta la naturaleza compacta del aparato integrado de pila de combustible mostrado en la figura 1, y el objetivo de que las conexiones eléctricas puedan lograrse con cables de calibre estrechos (diámetros de menos de aproximadamente 100 micrómetros), también es deseable proporcionar un procedimiento fiable para unir los cables de conexión sin necesidad de utilizar tornillos voluminosos o conectores de crimpado. En una forma de realización, los cables estrechos deberían unirse tanto al aparato de pila de combustible integrado y a la tira de conector en la pared exterior por medio de una aleación de soldadura de alta temperatura o, preferentemente, por procedimientos de unión, tales como una unión termo-mecánica.

La Naturaleza isotérmica del aparato integrado de Pila de Combustible

[0044] La eficiencia de un aparato de pila de combustible de óxido sólido mejora cuando todas las funciones del reformador, pila de combustible de combustible y quemador de gas de la cola se integran en un solo alojamiento con área de superficie mínima. La eficiencia también mejora cuando el alojamiento está diseñado con la suficiente conductividad térmica para permitir una distribución de calor o intercambio de energía térmica eficientes entre los componentes. En particular, el quemador de gas de cola puede usarse para compartir calor adicional lo cual mejora la eficiencia global. Por lo tanto, la energía térmica generada en el quemador del gas de cola mantiene una temperatura de funcionamiento más alta y más eficiente en el aparato de pila de combustible. De esta manera, se reducen las tensiones térmicas y los costes asociados a calentar o enfriar el dispositivo.

[0045] Por otra parte, la mejora de eficiencia de la pila de combustible es posible mediante el funcionamiento de la pila de combustible a voltajes más altos, más cerca de un potencial electroquímico de equilibrio. Tal condición de funcionamiento implica la generación de menos calor residual cuando se compara con el funcionamiento a un voltaje de pila de combustible más bajo. La cantidad necesaria de energía térmica para mantener la temperatura de funcionamiento es alcanzable mediante la extracción de calor de la combustión de combustibles infrautilizados en el quemador de gas de cola.

[0046] Pueden emplearse varios procedimientos para mantener la suficiente conductividad térmica y el funcionamiento casi isotérmico entre los componentes dentro del aparato de pila de combustible integrado. El silicio, utilizado como un material de sustrato es un excelente conductor térmico a temperaturas elevadas. Los sustratos de vidrio o de cerámica son una elección de materiales adecuados basados en la conductividad térmica, siempre y cuando sus espesores de pared resultantes superen sustancialmente 100 micrómetros, y preferentemente superen 300 micras. La conductividad térmica de los sustratos de vidrio se ve reforzada por la deposición de películas delgadas metálicas sobre las áreas que no son eléctricamente activas, tales como las superficies exteriores del alojamiento. Los candidatos a recubrimientos metálicos térmicamente conductores incluyen cromo, oro, y platino.

[0047] Como un medio para permitir la operación substancialmente isotérmica del sistema, es útil diseñar el alojamiento integrado de tal manera que los componentes separados (reformador de combustible, quemador de gas de cola y las membranas de las pilas de combustible) compartan entre cualquier par de ellos al menos una pared estructural común. Esta pared podría ser una pared exterior del alojamiento o podría ser una pared interna formada, por ejemplo a través de la unión de sustratos individuales.

[0048] Al compartir paredes estructurales y proporcionando sustratos con la suficiente conductividad térmica, es posible mantener las diferencias de temperatura entre los componentes durante el funcionamiento a menos de 150 °

C, preferentemente menos de 50 ° C.

Densidad de potencia

[0049] En el diseño de un aparato de pila de combustible de óxido sólido portátil, es importante determinar un espesor mínimo de material de aislamiento que sea adecuado para el mantenimiento de altas temperaturas de funcionamiento y sin consumo excesivo de energía del combustible. La cantidad de calor que se disipará desde un aparato de pila de combustible integrado es proporcional a su superficie. Un aparato de pila de combustible integrado diseñado para una aplicación de 5 vatios, por lo tanto, llega a ser difícil de aislar de manera eficiente debido a que su relación de superficie a volumen es mucho más alta que un aparato de pila de combustible integrado, diseñado para aplicaciones a 20 vatios o más.

[0050] La densidad de potencia del aparato de pila de combustible integrado es un parámetro de diseño importante. En particular, la densidad de potencia puede ser el parámetro de diseño que más influye en la eficiencia y el tamaño final del empaquetamiento de aislamiento. La densidad de potencia del aparato de pila de combustible integrado, expresada en vatios por centímetro cúbico (W / cc), determina la cantidad de área de superficie expuesta para cada vatio de electricidad producida. Como resultado, la influencia de la densidad de potencia eléctrica del aparato de pila de combustible integrado en el tamaño de empaquetamiento definitivo es grande y desproporcionado. Por ejemplo, un aparato integrado de pila de combustible que es capaz de producir energía a 5 vatios y $1 W / cc$ requerirá un tamaño de empaquetamiento, incluyendo el aislamiento, de 66 cc. Por el contrario, un aparato de pila de combustible integrado con una potencia de 5 vatios y $2 W / cc$ puede estar aislado en el interior de un paquete de sólo 17,8 cc. Por lo tanto, un aumento del doble de la densidad de potencia resulta en 3,7 veces la reducción del tamaño de empaquetamiento sin pérdida en la eficiencia térmica. (Este ejemplo se supone el uso de un aislamiento de aerogel (TM) nominal de $0,04 W / mK$, el mantenimiento de una caída de temperatura de $800^{\circ} C$)

[0051] La figura 4 muestra otra forma de realización de la presente invención, en este caso un aparato de pila de combustible más grande 105 que emplea cuatro capas de membrana diferentes. Cada capa, ya sea una membrana de pila de combustible 114, una capa de circulación de aire u oxígeno 148, o capa de circulación de combustible 147, 149, 150, es de aproximadamente 0,5 mm o menos de espesor, de tal manera que la pila total es de aproximadamente 4,8 mm de altura. La figura 4 también incluye dentro de su alojamiento un reformador de combustible 110 y un quemador de gas de cola 112 construido como parte de la capa 146. Las capas de circulación de combustible llevan combustible del reformador de combustible más allá de sus respectivas membranas de las pilas de combustible y / o llevan gases de escape al quemador de gas de cola después de pasar por sus respectivas membranas de pila de combustible. Utilizando la figura 4, se puede calcular el espacio promedio entre las capas de la membrana, definida como la altura total del aparato de pila de combustible integrado (4,8 mm) dividida por el número de capas de la membrana (4). La separación media entre membranas de la figura 4 es por lo tanto de aproximadamente 1,2 mm. En este caso, se puede obtener la densidad de potencia dividiendo la densidad de potencia media de cada capa de pila de combustible ($0,4 W / cm^2$) por la separación media entre membranas, lo que resulta en una densidad de potencia de aproximadamente $3,3 W / cc$.

[0052] Es preferible la construcción de pilas de combustible que permitan más de aproximadamente 2 vatios de energía eléctrica por centímetro cúbico de volumen de aparato de pila de combustible integrado. También es deseable hacer funcionar una pila de combustible de tal manera que produzca más de $2 W / cc$. La energía producida por una pila de combustible puede ser controlada mediante la variación de la tensión, así como mediante la variación de la temperatura de la pila de combustible. Las pilas de combustible más grandes se hacen funcionar típicamente a tensiones superiores a la máxima potencia con el fin de aumentar la eficiencia de la conversión de energía química a eléctrica. Las densidades de potencia superior a $1 W / cc$, $1,5 W / cc$, o preferentemente $2 W / cc$, se incluyen en la presente invención.

[0053] El aumento de la tensión a un nivel que reduce la potencia de salida por debajo de aproximadamente $2 W / cc$ realidad reduce la eficiencia global del sistema en los sistemas pequeños ya que el calor producido es insuficiente para mantener las temperaturas requeridas. La integración de un convertidor catalítico o quemador de gas de cola permite una cierta disminución en la producción de energía de las pilas de combustible.

[0054] Una mejora significativa de la densidad de potencia se consigue mediante menor espaciado vertical entre membranas. La separación media entre las membranas en la técnica existente está en el intervalo de 2,5 a 4 mm, mientras que la separación media en la invención es típicamente de menos de aproximadamente 1,5 mm, cercanas a valores tan pequeños como 1,0 mm. La ventaja de la menor separación entre las membranas se deriva de dos ventajosas características estructurales: a) el uso de diseños de membrana de material compuesto mecánicamente robustos, y b) el uso de capas de circulación de flujo estructuralmente simples habilitadas para el uso en apilamiento en plano. En esta forma de realización, también se hace uso ventajoso de la arquitectura de pila de combustible en el plano de apilamiento. La pila de combustible en apilamiento en plano hace posible una serie de ventajas estructurales que actúan conjuntamente para reducir el espacio entre las membranas y aumentar la densidad de potencia a valores muy por encima de $2 W / cc$.

[0055] El uso de estructuras de membranas de material compuesto se ha descrito en la Publicación Internacional N ° WO 2005/030376 compartida. En pocas palabras, las estructuras de membrana compuestas hacen posible la combinación de un elemento de soporte estructural fuerte en combinación con capas delgadas de membrana de YSZ (<2 mm). Esta estructura tiene la fuerza para soportar las tensiones de ciclos térmicos sin la necesidad de

exceso de espesor del sustrato y se puede lograr utilizando obleas de silicio de espesores de alrededor de 0,5 mm o más delgadas. Se pueden construir estructuras de materiales compuestos similares a partir de sustratos cerámicos densos, por ejemplo materiales Al_2O_3 , independientemente del coeficiente de expansión térmica, siempre que obedezcan a las reglas de diseño establecidas en la solicitud de patente anteriormente identificada.

[0056] En las técnicas de fabricación de capas conocidas, se requiere una placa bipolar impermeable a los gases para separar los flujos de gas de combustible y el aire. Una pila plana vertical, requiere que se haga contacto eléctrico desde el ánodo de una capa de la membrana al cátodo de la capa adyacente. Sin embargo, no se debe permitir que el combustible que pasa sobre el ánodo se mezcle con el aire que fluye sobre el cátodo. Por lo tanto, se emplea típicamente una placa bipolar eléctricamente conductora ue no solamente realiza la conexión eléctrica entre las capas, sino también el encaminamiento de combustible al ánodo, aire al cátodo, y una separación hermética entre los flujos de gas.

[0057] Volviendo a la figura 1, no se requiere dicha separación de gas en las capas de flujo de circulación ya que el cátodo de la membrana de la pila de combustible 14 se enfrenta directamente el cátodo de la membrana de la pila de combustible 16. Ambas capas de la membrana comparten el mismo flujo de gas y no se requiere ninguna conexión eléctrica entre estas dos capas de pilas de combustible. Por lo tanto, se simplifica el diseño de la capa de circulación de flujo y son posibles capas de circulación de flujo extremadamente delgadas, con espesores en el intervalo de 0.3 a 0.5 mm.

[0058] La figura 5 ilustra una de estas capas de circulación de flujo, que tienen la geometría compatible con la pila de combustible de cuatro capas que se muestra en la figura 4. Las aberturas 180 proporcionan el paso vertical de la combustible de una capa de la pila a capas dispuestas por encima o por debajo. Los canales 182 proporcionan el flujo de aire sobre el cátodo. En la medida en que la capa de flujo de circulación 148 separa dos capas de cátodo enfrentadas, sólo es necesario añadir una estructura nervada simple que da tanto rigidez estructural a la pila y proporciona suficiente distribución de aire a todas las superficies del cátodo.

[0059] La capa de circulación de flujo puede estar compuesta por un material rígido tal como el silicio. La elección de silicio en esta forma de realización tiene la ventaja adicional de hacer coincidir los materiales estructurales entre todas las capas de la membrana y las cpas de circulación de flujo. De esta manera, se pueden evitar las tensiones asociadas con diferentes coeficientes de expansión térmica entre estos dos materiales estructurales.

[0060] La capa de circulación de flujo puede ser mecanizada o estampada a partir de un material metálico. Sin embargo, el coeficiente de expansión térmica de la capa de circulación de flujo debe permanecer sustancialmente similar a la del material estructural de la capa de membrana. Las capas delgadas de circulación de flujo metálicos no serán tan rígidas como una capa de circulación construida a partir de silicio, pero el silicio u otro material cerámico empleado para la capa de membrana proporcionarán rigidez más que suficiente y una resistencia global suficiente a la pila para resistir las tensiones provocadas por los ciclos térmicos.

Aislamiento de la Generación de calor

[0061] Además, para mantener la salida de potencia eléctrica por encima de aproximadamente 2 W / cc, el rendimiento del sistema y el tamaño también se mejoran si el calor térmico generado se mantiene por encima de 2 W / cc. Debido a la superficie cada vez mayor en los pequeños tamaños, es deseable mantener una densidad suficientemente alta de calor con el fin de mantener la temperatura de funcionamiento del dispositivo. Si el aparato de pila de combustible por sí solo no produce suficiente calor, es ventajoso el uso de un quemador de gas de cola para quemar combustible adicional con el fin de mantener el calor mayor que 2 W por centímetro cúbico para el funcionamiento eficiente del dispositivo. Garantizar que el dispositivo funcionará con mayor calor que 2 W por centímetro cúbico permite que el espesor de aislamiento se reduzca al mínimo, produciendo de este modo un dispositivo que es comercialmente competitivo con respecto a las baterías existentes.

[0062] El diseño del volumen de aislamiento en el sistema de pila de combustible de óxido sólido es otra área para la mejora del rendimiento de la pila de combustible de óxido sólido.

[0063] Tal vez el aislamiento más eficiente desde el punto de vista de ocupación de espacio, en particular para los pequeños empaquetamientos, es un aislamiento mediante vacío. Esto permite que partes del aparato de pila de combustible funcionen como un termo con las paredes exteriores y el volumen aislante mantenga los contenidos integrados dentro del alojamiento a una temperatura deseada. Mediante el mantenimiento de presiones totales de gas en el volumen de aislamiento de menos de 100 mTorr (13.3322 Pa), preferentemente menos de 20 mTorr (2.66644 Pa), más preferentemente menos de 10 mTorr (1.33322 Pa), es posible eliminar sustancialmente cualquier pérdida térmica por conducción hacia fuera del alojamiento a través de la fase gaseosa. Se puede formar un vacío parcial dentro del volumen de aislamiento delimitado por la pared exterior por evacuación con una bomba de vacío, a través de un puerto de salida de gases, o como alternativa, mediante la realización del proceso de sellar conjuntamente los elementos de la pared exterior 20 dentro de una atmósfera evacuada.

[0064] Cuando se utiliza la realización de un empaquetamiento en vacío, y se elimina el uso de un material de aislamiento sólido grueso, tal como aerogel, un nuevo tipo de pérdida térmica del alojamiento se convierte en un problema en la forma de pérdida de calor por medio de radiación infrarroja. La radiación infrarroja que emana de las

superficies del alojamiento puede ser, de hecho, el mecanismo de pérdida de calor dominante para el empaquetamiento de aislamiento ilustrado en la figura 1.

[0065] Hay por lo menos tres procedimientos para reducir la pérdida de calor por radiación, cualquiera de los cuales se pueden utilizar individualmente o en combinación. Estos se pueden ver volviendo a examinar la figura 1. En primer lugar, se aplica una capa reflectante a las superficies exteriores del aparato de pila de combustible integrado, reduciendo de este modo la emisividad infrarroja y la pérdida de potencia de la superficie caliente. En segundo lugar, se puede proporcionar un reflector de la radiación 40 a lo largo de las superficies interiores de la pared exterior de vacío 30 a efectos de devolver la radiación infrarroja de vuelta al aparato de pila de combustible integrado. Este reflector de radiación puede hacerse mediante un recubrimiento metálico que se deposita sobre las superficies interiores de la pared exterior 30, o por medio de un material reflectante metálico o infrarrojos que está unido mecánicamente a las superficies internas de la pared de vacío. Además, se puede disponer una serie de reflectores de infrarrojos paralelos entre la superficie caliente y la superficie fría de la pared exterior.

Normativa, Monitorización y Seguridad del aparato de pila de combustible

[0066] Como se discutió anteriormente, la integración de un reformador de combustible, una pila de combustible y un quemador de gas de cola dentro de una zona sustancialmente isotérmica mejora la eficiencia del aparato de pila de combustible y hace que sea un dispositivo de sustitución adecuado de batería. Aunque el aumento de la densidad de energía de un sustituto de batería mejora el valor comercial, la localización de una gran cantidad de producto químico y energía térmica en un pequeño volumen aumenta la probabilidad de combustión no controlada, explosión, y / o liberación de productos químicos nocivos. Debido a que muchos de los dispositivos descritos en este documento son adecuados para su uso por los consumidores, por ejemplo, un sustituto de la batería de teléfono móvil, es deseable incorporar características de seguridad y de control de dispositivos en el aparato de pila de combustible.

[0067] Aunque no siempre se destacó expresamente en la descripción de las formas de realización proporcionada anteriormente, muchos de los aspectos estructurales y de flujo químico de la invención tal como se describió anteriormente en este documento permiten inherentemente el funcionamiento seguro del aparato de pila de combustible. Por ejemplo, mientras que el volumen de aislamiento que se discutió anteriormente aumenta la densidad de energía en la zona isotérmica, por contención del calor, el volumen aislante también hace de escudo a los usuarios del dispositivo del exceso de calor. Al mismo tiempo, el volumen aislante puede servir como una zona de captura para detener cualquier combustión incontrolada y actuar como un medio para apagar reacciones de conversión de combustible en caso de que el volumen aislante sea atravesado o bien penetrado. Estas y otras características de seguridad se discuten con más detalle a continuación.

[0068] Hay múltiples estrategias de diseño para mejorar la seguridad de un aparato de pila de combustible, en general, y los dispositivos portátiles de pilas de combustible de óxido sólido, en particular. Sin embargo, para los propósitos de organización, las funciones de seguridad se pueden agrupar en dos grandes categorías, y se señala que diversas realizaciones pueden incluir características pertenecientes a ambas categorías. En primer lugar, hay estructuras y procedimientos de diseño pasivo, tales como los beneficios de contención de calor por parte del volumen de aislamiento. Algunas de las características de seguridad pasiva operan persistentemente en el fondo y responden a los cambios en los aparatos sin la necesidad de activación dirigida. Por ejemplo, los aspectos de diseño de la geometría del aparato de pila de combustible para controlar la propagación de la combustión representa otra característica de seguridad pasiva.

[0069] La segunda categoría de características de seguridad incluye los procedimientos y dispositivos activos. Una característica de seguridad activa a modo de ejemplo es un sistema de control electrónico que termina la operación del dispositivo en respuesta a algún acontecimiento, tal como una alarma proveniente de un sensor cuando un conducto está bloqueado, y el inicio de una instrucción apropiada de terminación de combustión en respuesta a la alarma. En general, los sistemas de control / sistemas de sensores caen en la categoría de función de seguridad activa.

[0070] Una vez más, aunque se utilizan los términos pasivo y activo, se entiende que se utilizan para fines de organización y no están destinados a limitar el alcance de la descripción o las reivindicaciones. Por lo tanto, aunque se describan como activas o pasivas, diversas características de seguridad pueden incluir ambos elementos activos y pasivos sin limitación.

[0071] Antes de discutir cada dispositivo de seguridad con más detalle, será útil introducir los diferentes dispositivos activos y pasivos y las realizaciones del procedimiento que pueden ser integrados con el aparato de pila de combustible que aquí se describe. Como son posibles combinaciones de estas diferentes características, así como otras realizaciones descritas en este documento, los expertos en la técnica pueden fabricar una amplia gama de aparatos de pila de combustible.

[0072] Algunas de las características de seguridad pasiva incluyen: volúmenes aislantes y otras formas de dispositivos de aislamiento; regulación de diámetros de conducto para restringir la emisión de compuestos volátiles; regulación de los niveles de energía térmica en el dispositivo a través de la elección de los materiales estructurales;

organización de los componentes del dispositivo, tales como el reformador de combustible y quemador de gas de cola, para permitir la auto-regulación de los niveles de temperatura que controlan las reacciones de conversión de combustible; regulación de diversas geometrías de dispositivos tales como los diámetros de diferentes corrientes de flujo y conductos para controlar la propagación de la combustión, y la incorporación de componentes de dispositivo, tales como un quemador de gas de cola, para proporcionar sustancialmente gases de escape no volátiles haciendo reaccionar previamente los combustibles volátiles y / o subproductos de conversión de combustible.

[0073] A su vez, algunas de las características de seguridad activas incluyen: la integración mecánica y / o sensores electrónicos para controlar el funcionamiento del aparato de pila de combustible y sus subsistemas; utilización de elementos de control, tales como válvulas de cierre, para interrumpir el funcionamiento del dispositivo en respuesta a una alarma, sistemas de control que incorporan sensores y elementos de control para evitar el funcionamiento inseguro del dispositivo; dispositivos de autenticación para verificar la idoneidad de una fuente de combustible dada para su uso en el aparato de pila de combustible, y varios circuitos para proporcionar identificación, autenticación, control de, monitorización, y del funcionamiento del aparato de combustible y sus componentes.

[0074] Por lo tanto, la invención también incluye características que proporcionan funcionamiento "a prueba de fallos" de tal manera que cualquier indicio de fallo del dispositivo u operación atípica desencadene el apagado de algunos o de todos los componentes del dispositivo. Por lo tanto, los efectos de un fallo potencialmente desastroso se reducen por terminación del funcionamiento del dispositivo antes de una liberación de energía. Por el contrario, las técnicas pasivas que operan en segundo plano durante el funcionamiento para aumentar la seguridad, tal como espuma de aislamiento protege al usuario del calor, también están al alcance de la invención.

[0075] La figura 6 ilustra un diagrama esquemático de porciones de una realización de un aparato de pila de combustible 200 que incluye diversas características de seguridad activa y pasiva. Una pila de combustible de óxido sólido 202, un reformador de combustible 204, y un quemador de gas de cola 206 están en comunicación de fluido y térmico entre sí. También se muestra una parte del circuito de recogida 207 que se utiliza para recoger la electricidad producida por la pila de combustible 202. Además, los tres componentes están integrados juntos dentro de un alojamiento 208 en una zona isotérmica que está delimitada, en parte, por un volumen aislante 210. A su vez, el volumen de aislamiento 210 se define, en parte, por una pared 212 exterior del aparato de pila de combustible 200 y porciones del colector de fluido y del dispositivo de empaquetado 214. El volumen del alojamiento puede variar de aproximadamente 0,5 cc a aproximadamente 100 cc. En una forma de realización, el volumen del alojamiento es del orden de aproximadamente 0,5 cc a aproximadamente 10 cc. En otra forma de realización, el volumen del alojamiento es del orden de aproximadamente 1 cc a aproximadamente 5 cc. Además, el volumen de aislamiento es menor que o igual a aproximadamente 200 cc.

[0076] El combustible 215 está contenido típicamente dentro de un depósito de combustible o cartucho de combustible 216. El depósito 216 de combustible puede incluir, además, un depósito de combustible conexión eléctrica 218 y una conexión de un depósito de combustible 220, el depósito 216 de combustible también puede incluir un circuito de autenticación 222 en comunicación con la conexión eléctrica del depósito de combustible 218 o como un dispositivo independiente, direccionable. También puede estar integrada una bomba de aire 223 con el aparato de pila de combustible 200 para proporcionar aire necesario para mantener la combustión con la zona isotérmica. Pueden incluirse uno o más sistemas de control del dispositivo 224 para recibir y operar en respuesta a los datos del sensor y / o las entradas / salidas del circuito principal.

[0077] Se pueden utilizar varios conductos y elementos conductores para facilitar el flujo de combustible, aire, productos de combustión, y otros compuestos hacia y desde el aparato de pila de combustible. Como se pueden utilizar diversos conductos y mecanismos de transporte, es útil ilustrar las corrientes o trayectorias de flujo en lugar de estructuras específicas. Sin embargo, se pueden utilizar conductos de tamaño adecuado, canales, u otras estructuras de transporte de fluidos para contener las corrientes de flujo tal como saben los expertos en la técnica.

[0078] Por lo tanto, se representan en la figura 6 varios caminos / corrientes F_1 de flujo a través de F_5 . La trayectoria de flujo F_1 ilustra el flujo de combustible 215 en el dispositivo mientras que la trayectoria de flujo F_2 ilustra la introducción y el flujo de aire en el dispositivo. A su vez, la trayectoria de flujo F_3 ilustra la mezcla de aire y combustible procesado que sale del reformador de combustible 204. Después de la reacción inicial en la pila de combustible 202, los compuestos químicos y los subproductos de reacción fluyen hacia el quemador de gas de cola 206 a lo largo de la trayectoria de flujo F_4 . Finalmente, después de ser procesados por el quemador de gas de cola 206, la energía térmica y las corrientes de escape sustancialmente no volátiles salen del aparato 200 lo largo de la trayectoria de circulación F_5 .

[0079] En parte, la invención proporciona técnicas para regular el funcionamiento de una pila de combustible de óxido sólido mediante el control de dónde se producen las diferentes reacciones dentro del aparato. En una forma de realización, el combustible se convierte en hidrógeno y subproductos a una temperatura de reacción T_1 dentro del reformador de combustible. La temperatura de reacción está dentro de un rango de temperaturas de reacción. Por ejemplo, como se discute más adelante con referencia a la figura 8, el rango de temperatura de reacción para el butano es de aproximadamente 200 ° C a aproximadamente 800 ° C. Los subproductos se convierten en productos de escape y energía térmica. Si los productos de escape son no volátiles tal como el agua, oxígeno y / o dióxido de carbono, fluyen desde el dispositivo a lo largo de la trayectoria de circulación F_5 .

[0080] Si todavía se detectan compuestos volátiles a lo largo de la trayectoria de flujo F4, el quemador de gas de cola también puede limpiar, por ejemplo por oxidación sustancialmente completa, el flujo de escape antes de entrar en el medio ambiente. Además, la energía térmica de la etapa de conversión de los subproductos ayuda a mantener el rango de temperatura de reacción. Como resultado de ello, se pueden utilizar los diferentes componentes del dispositivo dentro de la zona isotérmica para pre-calentar el combustible entrante y mantener la temperatura del reformador de combustible. En consecuencia, cada componente puede actuar como un elemento de control para terminar o iniciar la conversión de combustible.

[0081] Volviendo a la figura 6, se puede utilizar un sistema de control / circuito de control 224 para hacer de interfaz con el circuito de autenticación 222 del depósito de combustible 216. En una forma de realización, el circuito de control 224 también recibe los datos relativos al funcionamiento del aparato de pila de combustible 200 y regula el funcionamiento del aparato de pila de combustible en respuesta a dichos datos. Se pueden incorporar un sensor de temperatura 226, un sensor (o sensores) de flujo 228, unos sensores de presión (no mostrados), y otros sensores y detectores dentro de y exteriores a los diversos componentes del aparato de pila de combustible para controlar diversos parámetros de funcionamiento. Una válvula de flujo controlada eléctricamente / mecánicamente 230 puede estar asociada con los conductos de combustible o puede ser parte del cartucho de combustible. Unos sensores adecuados pueden incluir, pero no se limitan a, un detector de flujo de fluido, un detector químico, un detector de presión, un circuito comparador, un detector de voltaje, un detector de corriente, un detector directo de flujo másico, un detector indirecto de flujo másico, un detector de flujo de volumen, un detector diferencial, un detector de temperatura, un detector de radiación, y combinaciones de estos.

[0082] El sistema de control puede enviar y recibir datos de aparato a través de diferentes conexiones eléctricas no representadas explícitamente en el diagrama. Por lo tanto, el aparato puede comenzar a operar irregularmente y suponer un riesgo para un usuario. El sistema de control puede identificar la irregularidad a través de un conjunto de datos de temperatura, datos de flujos, datos de presión, datos preajustados, u otros datos. En respuesta, el circuito de control puede enviar una señal eléctrica a una válvula de flujo u otro componente de dispositivo de pila de combustible, por ejemplo, tal como el reformador de combustible, para detener la conversión de combustible. Por lo tanto, en un sistema basado en válvula, el sistema de control ordena el cierre de la válvula para e interrumpir el flujo de combustible hacia el reformador de combustible. Algunos datos de aparato adecuados pueden incluir, pero no se limitan a, datos de temperatura, datos de flujo de fluido, datos de presión, datos de radiación, datos de señales eléctricas, datos de corriente eléctrica, datos de voltaje, datos geométricos, datos de estabilidad estructural, datos de vibración, datos de esfuerzos cortantes, datos de composición química y combinaciones de estos.

[0083] Los sensores, conductos, válvulas, controles y circuitos pueden estar situados en varias posiciones en el sistema tal como podría concebir de forma obvia un experto en la técnica. Por ejemplo, el sensor de flujo de combustible puede estar situado aguas arriba de una válvula controlada eléctricamente en lugar de aguas abajo, tal como se muestra en la figura 6. Además, a pesar de que no se muestran las diferentes conexiones eléctricas entre el circuito de control electrónico y los diversos sensores, válvulas y bombas, se pueden lograr conexiones apropiadas a través de varios conductos, pistas semiconductoras, canales microfluídicos y conexiones basadas en cables como es conocido por el experto en la materia.

[0084] Varios sensores conocidos por los expertos en la materia se incorporan en el aparato en diferentes formas de realización. En particular, los sensores adecuados incluyen, pero no se limitan a termopares, termopares de hilos finos desnudos, Tipo I, 0,001 " de diámetro, tal como el modelo número P 13R-001, fabricado por Omega Engineering, Inc.; detector de temperatura resistivo de platino (RTD) tales como el modelo número WS81 (Omega Engineering, Inc., un Omega Drive, Stamford, CT 06907 a 0.047, EE.UU.), y sensores de caudal, sensores de flujo MEMS como el modelo D6F (Omron Electronic Components, 55 Commerce Drive, Schaumburg, IL 60173 EE.UU.).

[0085] Los sensores pueden ser colocados para detectar directamente un determinado parámetro de interés o indirectamente posicionados para capturar datos procedentes de diferentes fuentes. Un sensor térmico puede ser posicionado para capturar calor indirecto que se propaga a lo largo de una trayectoria de flujo, a pesar de que está integrado en el dispositivo para medir la temperatura de la fuente de calor de origen.

[0086] Varios sensores y elementos de control útiles para la invención incluyen, pero no se limitan a, un detector de flujo de fluido, un detector de presión, un circuito comparador, un detector de voltaje, un detector de corriente, un detector de flujo másico directo, detector de flujo másico indirecto, un detector de flujo de volumen, un detector diferencial, un circuito de retroalimentación, un detector de temperatura, un detector de radiación, una válvula, un dispositivo de flujo unidireccional, una junta, un sellado, una puerta, una membrana, un iris, un obturador, un respiradero, un conducto, y combinaciones de estos.

[0087] El o los sistemas de control representan una solución de diseño activo para asegurar el funcionamiento seguro del aparato de pila de combustible. Las figuras 7A y 7B ilustran diagramas de flujo de control que regulan el funcionamiento del dispositivo en respuesta a los datos de flujo y temperatura, respectivamente. El flujo de control de la figura 7A se refiere a un dispositivo en el que se añaden sensores de flujo de fluido a todas las corrientes de fluido de entrada y de salida que están conectadas a la zona isotérmica. También se incluye una válvula controlable electrónicamente que controla el flujo de combustible en el reformador de combustible. Un circuito electrónico tal como un circuito comparador u otro circuito adecuado que compara el flujo de entrada total con el flujo de salida total

se incorpora dentro del sistema de control general. Tal como se muestra en la figura 7 A, si los flujos no coinciden, entonces un componente en el aparato de pila de combustible puede estar funcionando mal. El sistema de control dirige electrónicamente de forma automática la válvula de combustible, causando su cierre y restringiendo o interrumpiendo el flujo de combustible. El bloqueo de la vía de flujo evita cualquier liberación insegura continuada de combustible y aísla la fuente de combustible de la zona isotérmica. El bloqueo también impide la conversión adicional de combustible y la creación de energía térmica adicional.

[0088] En una forma de realización, los flujos másicos de las corrientes de entrada y salida son sustancialmente iguales en funcionamiento normal. Sin embargo, los flujos de volumen pueden ser diferentes incluso en funcionamiento normal, por ejemplo, debido a reacciones químicas o cambios de temperatura. Los sensores de flujo pueden ser sensores directos o indirectos de flujo másico, aunque se pueden utilizar otros sensores según sea apropiado. En otras formas de realización, los sensores de flujo son sensores de flujo de volumen, y el circuito electrónico corrige la diferencia esperada en el flujo de volumen. Por supuesto, ambos sensores másico y de flujo se pueden utilizar juntos.

[0089] En la figura 7B, se ilustra otro flujo de control adecuado para su uso con un sistema de control para regular el aparato de pila de combustible. El flujo de control que se describe en la figura 7B es adecuado para su uso con el dispositivo de la forma de realización representada en la figura 6 en la medida en que el dispositivo incluye un sistema de control, una válvula controlable, y un sensor de temperatura. El sensor de temperatura se utiliza para medir la temperatura en la zona isotérmica e incluye al menos uno de una pila de combustible, un reformador de combustible, y un quemador de gas de cola. Se pueden determinar una temperatura preestablecida o rango de temperaturas para el dispositivo durante el funcionamiento. Además, se pueden determinar los preajustes de temperatura para diversos componentes individuales del dispositivo, tales como el reformador de combustible, la pila de combustible, y el quemador de gas de cola. La temperatura predeterminada se puede calcular en función de donde se coloca el sensor, los niveles de aislamiento que intervienen, el tipo de combustible utilizado, y otros factores pertinentes.

[0090] Como se muestra en el flujo de control den la figura 7B, se comparan la temperatura real en la región térmica aislada o en otra área de interés dentro del aparato y el preajuste de temperatura predeterminado. Si los valores coinciden, el dispositivo se considera en un estado de funcionamiento normal y se repite la medición. En una realización, se permite un rango de valores aceptables de manera que no se requiere una coincidencia exacta con el valor predeterminado. Sin embargo, si la medición de la temperatura y la temperatura predeterminada son sustancialmente diferentes, el sistema de control restringe el flujo de combustible o de otra manera termina el funcionamiento del dispositivo. Otros enfoques de flujo de control activos que hacen uso de un sensor, un sistema de control, y un elemento de regulación de combustible también están dentro del alcance de la invención.

[0091] Además de los sistemas de control y enfoques basados en sensores descritos anteriormente, pueden incorporarse las características de seguridad adicionales en la parte de interfaz de depósito de combustible del aparato. Como se ha discutido anteriormente con respecto a la forma de realización del dispositivo de la figura 6, pueden fabricarse una fuente de combustible desechable o rellenable, por ejemplo, un depósito o cartucho de combustible, para incluir circuitos de autenticación o porciones de interfaz mecánicas para regular el suministro de combustible. Por lo tanto, si un aparato de pila de combustible en particular sólo está diseñado para trabajar con butano de un proveedor determinado, la interfaz del aparato de pila de combustible puede ser diseñada con una geometría particular, que no permita que un tanque de combustible de butano estándar o un depósito de combustible que contiene otro tipo de combustible para que encaje en el aparato de pila de combustible. Los controles de interfaz de aparato de pila de combustible/ tanque pueden ser implementados utilizando un modelo de cerradura mecánica y llave en la que ciertas porciones de la interfaz tanque aparato deben encajar juntos para permitir el suministro de combustible. También se pueden utilizar patrones de clavijas y ranuras de interfaz elevadas y bajadas para llevar a cabo estos objetivos de suministro de combustible con acceso controlado.

[0092] Como alternativa, los contactos eléctricos pueden ser integrados en el depósito de combustible con circuitos asociados que se conectan a los correspondientes contactos y circuitos en la parte de interfaz de combustible del aparato de pila de combustible. Las porciones de circuitos tanto en el tanque y / o el aparato de pila de combustible se pueden comunicar con cada uno para autenticar la fuente del depósito de combustible y determinar si la entrega de combustible se debe permitir desde el tanque. Si el depósito de combustible no está correctamente autorizado, entonces el aparato de combustible puede bloquear electrónicamente el suministro de combustible mediante la liberación o bloqueo de una válvula de flujo y permitir que el combustible pase al interior del aparato. El aparato de pila de combustible puede consultar eléctricamente el cartucho de pilas de combustible e interpretar la señal de respuesta pasiva o activa. Como alternativa, las porciones funcionales de los circuitos de control de pilas de combustible pueden estar situados en el cartucho de pilas de combustible, por ejemplo, como firmware o software. Como resultado, un usuario puede asegurarse de que el cartucho de pilas de combustible es un cartucho seguro autorizado.

[0093] La integración de circuitos, ya sea dentro del sistema de control o dentro de la parte de interfaz de la pila de combustible, también permite que el aparato de pila de combustible pueda medir el contenido de los tanques de combustible e informar de la cantidad de combustible restante. Por lo tanto, la inclusión de circuitos adecuados permite que el aparato de pila de combustible pueda informar a través de un display gráfico u otro elemento de

alarma sobre la cantidad de combustible restante o cuanto combustible se consumirá totalmente en un plazo determinado, dado el nivel de uso actual. El sistema de control y / o los diversos componentes eléctricos pueden supervisar el consumo de combustible a través del uso de un sensor de flujo másico. La velocidad de flujo puede entonces integrarse en el tiempo, o ser muestreado a intervalos de tiempo fijos y almacenado, con el fin de determinar la cantidad de combustible consumido. Esta información se puede escribir periódicamente en la memoria en el cartucho para pilas de combustible para mantener una cuenta precisa del combustible que queda en el cartucho.

[0094] El depósito de combustible o cartucho para pilas de combustible también puede incluir un dispositivo contador electrónico de escritura o reconfigurable. Este dispositivo contador se modifica por el sistema de pila de combustible a medida que el combustible es utilizado por el sistema. Como tal, puede medirse la cantidad de combustible extraído del cartucho y / o la cantidad de combustible que queda en el cartucho. Esta información ayuda a proteger al usuario, garantizando que la pila de combustible no intente funcionar cuando el combustible disponible es insuficiente. Por lo tanto, en una realización, puede preestablecerse un nivel de reserva de combustible. Por lo tanto, una vez que un elemento de control o circuito informa de que la fuente de combustible está en el nivel de reserva de combustible, la operación del aparato de pila de combustible puede ser reducida o suprimida. El dispositivo contador también puede ser utilizado para fines de facturación con respecto al consumo de combustible. Esta característica se puede combinar con las formas de realización descritas anteriormente en relación con un sistema de autenticación que apaga el aparato si está conectado a un cartucho potencialmente inseguro. En la figura 7C se muestra un flujo de control, a modo de ejemplo, en relación con una forma de realización de registro de consumo de combustible.

[0095] Algunos de los enfoques basados en sensores de sistemas de control descritos anteriormente también pueden ser modificados para asegurar que los compuestos no tóxicos y / o no volátiles se ventilan desde el aparato de pila de combustible como escape. El objetivo de producir gas de escape sustancialmente no volátil se puede lograr utilizando enfoques tanto pasivos como activos. En el enfoque activo, se miden las tasas de flujo de aire entrante, de combustible de entrada y de gas de escape. Entonces estas diferentes tasas de flujo se comparan electrónicamente para determinar si sustancialmente todo el combustible liberado desde el dispositivo de almacenamiento de combustible se está procesando y se está sacando del dispositivo de pila de combustible. Si se libera el exceso de combustible, se puede hacer la determinación de que el combustible no procesado se ventila como escape, y el dispositivo se apaga o la cantidad de combustible suministrado desde el tanque se puede ajustar según sea necesario.

[0096] También es posible procesar pasivamente la corriente de combustible utilizando los componentes del aparato de pila de combustible existentes para limitar la exposición de un usuario a la energía térmica y los productos químicos no deseables de escape del dispositivo. Si se permite a los productos de combustión salir del dispositivo a través de una corriente de escape, un usuario del dispositivo puede estar expuesto a compuestos tóxicos o explosivos. Por lo tanto, es deseable asegurar que el aparato de pila de combustible de escape ha sido limpiado a través de calentamiento suplementario para reducir los niveles de compuestos peligrosos.

[0097] Para evitar que cualquiera combustible de entrada, por ejemplo, butano, se vaya a través de los gases de escape, el quemador de gas de cola y / o la pila de combustible realiza la combustión u oxida todos los gases de escape para producir principalmente agua y dióxido de carbono. Este lavado también evita el agotamiento de cualquier subproducto intermedio de un reformador de combustible, como el hidrógeno, el monóxido de carbono, el formaldehído o el metanol. El proceso de oxidación también produce calor, como se ha discutido anteriormente en esta memoria. La oxidación se puede producir, por ejemplo, en un quemador de gas de cola separado, o como parte de la operación de la pila de combustible. Otras reacciones de producción de calor distintas de la combustión u oxidación que pueden ocurrir dentro del aparato de pila de combustible de calor están también dentro del alcance de la invención. El exceso de calor producido por estos componentes del dispositivo se puede utilizar para mantener las temperaturas de la reacción tal como se ha discutido en este documento y garantizar sustancialmente que la totalidad de subproductos ventilados se conviertan en no-volátiles.

[0098] Otro tipo de fallo del dispositivo puede ocurrir con un mal funcionamiento del quemador de gas de cola, mientras que el reformador de combustible continúa funcionando, haciendo que los diversos combustibles intermedios salgan como gases de escape, algunos de los cuales pueden ser tóxicos. La invención integra la pila de combustible con el reformador de combustible y el quemador de gas de cola de tal manera que el calor del quemador de gas de cola o el aparato de pila de combustible se utilizan para mantener la operación del reformador de combustible. Tal operación se consigue mediante el equilibrio de la pérdida de calor a través del aislamiento que rodea con el calor generado por al menos uno de la pila de combustible, el quemador de gas de cola y el reformador de combustible. Durante el funcionamiento normal, se dispone de suficiente calor para mantener el reformador de combustible por encima de una temperatura mínima de funcionamiento. Sin embargo, en el caso de un fallo de quemador de gas de cola, hay menos calor disponible. Como resultado, la temperatura del reformador de combustible caerá por debajo de una temperatura de "apagado" máxima y la conversión de combustible cesará, (por ejemplo, los datos de temperatura de la figura 8 en relación con butano).

[0099] Como resultado, este descenso de la temperatura puede detener o reducir sustancialmente la producción de productos intermedios. Por lo tanto, la disposición de los componentes del dispositivo proporciona un sistema de

control de temperatura autorregulable de tal manera que si uno o más componentes fallan, se mantiene el calor suficiente para realizar la reacción de conversión de combustible. Por lo tanto, un fallo de un componente dispositivo apaga el dispositivo antes de que ocurra cualquier daño a un usuario. Esta característica, en combinación con los sistemas de control descritos anteriormente con respecto a la figura 6, permite la fabricación de sustitutos de la batería con seguridad utilizando la tecnología de combustible de óxido sólido.

[0100] La figura 8 muestra algunas de las características de temperatura para la conversión de butano en energía en un aparato de pila de combustible. Específicamente, la figura 8 ilustra un gráfico de los datos de conversión de butano frente a la temperatura que muestra el funcionamiento eficaz por encima de aproximadamente 500 ° C, y casi cero conversión por debajo aproximadamente 300 ° C. Las temperaturas específicas son dependientes de la geometría y dependientes de la química (por ejemplo, la conversión de metanol tendría un par de temperaturas inferiores). Sin embargo, la gráfica sugiere que el conocimiento de los niveles de temperaturas que dan como resultado el cese de la conversión de energía permite utilizar los rangos de temperatura de reacción como parámetros de control de reacción autolimitantes. Como resultado, estos rangos de temperatura se pueden usar selectivamente para el encendido y apagado del aparato como parte de un sistema de control de seguridad o durante el funcionamiento normal.

[0101] Un reformador de combustible dentro de un aparato de pila de combustible en particular puede ser adaptado para procesar un combustible específico o tipos de combustibles. Así, un reformador de combustible puede ser adaptado para procesar butano como producto de entrada que se oxida parcialmente en hidrógeno y monóxido de carbono. Para esta forma de realización de oxidación parcial de butano, se produce una conversión significativa a 500 ° C, y más preferentemente a 600 ° C, 700 ° C o 800 ° C. En contraste a temperaturas más bajas, tales como por debajo de 400 ° C, se produce poca o ninguna conversión para esta realización específica con butano. Por otra parte, para el reformador de combustible adaptado para butano, la operación en o por debajo de aproximadamente 300 ° C, aproximadamente 200 ° C o aproximadamente 100 ° C da lugar a una mayor reducción en la conversión de combustible. Una realización alternativa se basa en el reformado con vapor de agua y metanol en hidrógeno y dióxido de carbono. En esta realización de reformado con vapor de metanol, las temperaturas mínimas de "encendido" son típicamente 200 ° C, 250 ° C, 300 ° C y 350 ° C, mientras que las temperaturas máximas de "apagado" son típicamente 200 ° C, 150 ° C, 100 ° C o 50 ° C. Por lo tanto, cuando una parte del dispositivo falla o de otro modo el aparato se enfría en uno de estos intervalos, se termina la conversión de combustible. Además, aparte de los controles de temperatura descritos en este documento son también posibles otros enfoques pasivos.

[0102] Una ruptura mecánica en un conducto, un sellado, o una porción de pared del aparato de pila de combustible puede exponer la zona caliente de reacción o los subproductos calientes al usuario externo o al medio ambiente. Una realización de la presente invención utiliza una presión reducida en el volumen de aislamiento. En esta forma de realización, una rotura mecánica provoca necesariamente un aumento en la presión dentro del volumen de aislamiento a medida que se disipa el vacío parcial. A su vez, este cambio de presión en el volumen de aislamiento provoca un aumento muy elevado en la pérdida de calor del alojamiento que incluye al menos uno de un reformador de combustible, una pila de combustible y un quemador de gas de cola. En una forma de realización, la geometría del volumen aislante es tal que la conducción térmica a presión reducida es suficientemente baja de tal manera que el alojamiento se mantiene por encima de una temperatura mínima de funcionamiento. Como se discutió anteriormente, esta temperatura es la mínima necesaria para sostener la reacción de conversión de combustible. Por lo tanto, cuando el volumen de aislamiento se encuentra en o cerca de la presión atmosférica, y cesan los beneficios del aislamiento, se lleva más calor fuera del alojamiento. Esta pérdida de calor y el enfriamiento asociado del alojamiento por debajo de una temperatura máxima de no funcionamiento o temperatura de "apagado" impide el funcionamiento de la pila de combustible.

[0103] La temperatura de "apagado" se puede seleccionar para satisfacer una variedad de requisitos operacionales o de seguridad, por ejemplo, la temperatura puede ser suficientemente baja de tal manera que proporcione un riesgo de lesión mínimo. Esto se puede lograr mediante el establecimiento de niveles de temperaturas en los que ninguna explosión pueda ocurrir a través de la ignición, o, como alternativa, la temperatura de "apagado" se puede seleccionar de tal manera que no se puedan formar productos tóxicos intermedios. Por lo tanto, los controles de temperatura del volumen de aislamiento y los requisitos de temperatura de reacción eliminan el riesgo de que el calor de un dispositivo en funcionamiento llegue a un usuario si se produce una intromisión mecánica en el embalaje del dispositivo.

[0104] También puede ocurrir un fallo de aparato como resultado de un gran pico de temperatura debido a pequeños cambios en la tasa de flujo de combustible, o una disminución en la eficiencia de la pila de combustible. En una forma de realización con un aislante sólido, la temperatura es aproximadamente linealmente proporcional al calor producido. Por ejemplo, si un sistema está construido para funcionar a 800 ° C con 4 vatios de potencia térmica y la entrada de calor crece a 5 vatios, la temperatura puede aumentar linealmente hasta 1000 ° C. Estos 200 ° C de aumento de temperatura pueden causar condiciones peligrosas de fallo, tales como la fusión de materiales. En la presente invención, el uso de un volumen aislante a presión reducida, (en lugar de aislamiento sólido) y el uso opcional de tubos y elementos de conexión eléctrica de baja conductancia, da como resultado que el principal mecanismo de pérdida de calor sea por radiación.

[0105] La magnitud de la pérdida de calor a través de la radiación térmica es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta. Como resultado de esta dependencia súper-lineal, un pequeño aumento en la entrada de calor sólo da lugar a un pequeño aumento de la temperatura. Por ejemplo, si la radiación térmica es el único mecanismo de pérdida de calor en un dispositivo construido para funcionar a 800 ° C con 4 vatios de entrada de calor, y la entrada de calor crece a 5 vatios, entonces, la temperatura sólo se eleva a 862 ° C. Esta reducción en el exceso de calor es una mejora significativa con respecto a la seguridad y la eficiencia. Como tal, por esta razón adicional, usar un volumen de aislamiento de baja presión permite realizaciones de dispositivo seguras que limitan el riesgo de que el usuario quede expuesto a la energía térmica. En un ejemplo de realización, la invención se refiere a un dispositivo de pila de combustible auto-limitante que funciona a una temperatura nominal de entre 700 y 900 ° C y empaquetado en un vacío de menos de 250mT (33.3305 Pa) de modo que la emisión de infrarrojos es un mecanismo importante de pérdida de calor.

[0106] Por lo tanto, en una realización, el diámetro de los elementos de conducción de fluidos está en el intervalo de aproximadamente 0,05 mm a aproximadamente 0,43 mm. La longitud de los elementos de conducción de fluidos también se puede restringir de tal manera que la longitud sea mayor que aproximadamente 150% del diámetro. Estos valores se derivan del trabajo experimental como el descrito en Britton, LG., "Using maximum experimental safe gap to select flame arresters", Process Safety Progress, 19, 140-145 (2004).

[0107] Cuando se utilizan estos requisitos de diseño geométricos relativos al conducto de tamaño para fabricar un dispositivo y también se incorpora una presión reducida en el volumen aislante, se hace poco probable que una llama se propague fuera del aparato durante un acontecimiento de fallo del dispositivo. Específicamente, en el volumen de aislamiento, la presión reducida / bajo nivel de oxígeno bloquea la propagación. En las conexiones de fluido, el pequeño diámetro y geometrías con longitud suficientemente restringida bloquean la propagación de combustión. Es conveniente utilizar los valores de la geometría de combustión de hidrógeno, ya que es el caso más conservador. Sin embargo, también se prevén valores más precisos para la mezcla de gas presente en el dispositivo. Por ejemplo, la norma NFPA enumera el MSG para el butano a 1.07 mm.

[0108] Las realizaciones que emplean MSG para el butano pueden tener elementos de succión de fluido que varían en diámetro de aproximadamente 0,05 mm a 1,65 mm. Si estos procedimientos se combinan con las otras características de seguridad mencionadas anteriormente, son posibles muchas realizaciones de dispositivos de usuario seguras.

Otros ejemplos de implementaciones de dispositivos

[0109] Los procedimientos de seguridad, control, supervisión y autenticación y las características que se describieron más arriba pueden ser incorporados en los diferentes ejemplos de sistemas y dispositivos. Por lo tanto, por ejemplo, las diferentes implementaciones de dispositivos pueden incorporar sensores, sistemas de control, circuitos de autenticación, y otras características. Algunos ejemplos de implementación de dispositivos que se proporcionan a continuación pueden incluir además las características de seguridad descritas anteriormente.

[0110] En una primera implementación del dispositivo a modo de ejemplo, el dispositivo se refiere a un aparato de pila de combustible que incluye un alojamiento. El alojamiento define una zona sustancialmente isotérmica. Como tal, el alojamiento integra una pila de combustible y un quemador de gas de cola con la zona isotérmica. La pila de combustible y el quemador de gas de cola están en comunicación térmica y comparten una pared común.

[0111] En una segunda implementación del dispositivo a modo de ejemplo, un alojamiento integra un reformador de combustible y el reformador de combustible está en comunicación térmica con la pila de combustible. La pila de combustible y el quemador de gas de cola están dispuestos para producir una densidad de potencia mayor que o igual a aproximadamente 2 W / cc. La pila de combustible es una pila de combustible de óxido sólido. Como alternativa, la pila de combustible de óxido sólido incluye una capa de membrana que tiene un espesor de menos de o igual a aproximadamente 500 micras, aproximadamente 1 mm, o alrededor de 1,5 mm en otras formas de realización. La pila de combustible de óxido sólido puede incluir una pluralidad de pilas de combustible que definen un plano creando de ese modo una pila de pilas de combustible en el plano. Mientras que en otra implementación, el alojamiento incluye dos pilas de pilas de combustible en el plano que son sustancialmente paralelas.

[0112] Diferentes implementaciones de dispositivo pueden incluir un elemento de conexión de baja conductancia térmica de fluido en comunicación fluida con el quemador de gas de cola. En otra forma de realización, el elemento de conexión de fluido de baja conductancia térmica es un tubo de conducción de fluido mecanizado microscópicamente, un tubo concéntrico, o un tubo capilar de vidrio. Un elemento eléctrico de baja conductancia térmica en comunicación eléctrica con la pila de combustible está incluido en algunas realizaciones de la invención. El elemento eléctrico de baja conductancia térmica tiene un diámetro de menos de o igual a aproximadamente 50 micras en una forma de realización. Como alternativa, un volumen aislante está dispuesto adyacente a un exterior del alojamiento en una forma de realización. Para dispositivos que tienen un volumen de aislamiento, el volumen puede incluir una presión reducida, una espuma aislante, un reflector térmico, o combinaciones de los mismos. Una aplicación incluye además un recuperador de calor en comunicación térmica con el quemador de gas combustible. Además, el recuperador de calor puede estar situado en el volumen de aislamiento.

[0113] En algunas implementaciones, el reformador de combustible convierte combustibles complejos tales como butano en moléculas más pequeñas para una utilización más eficiente de la membrana de la pila de combustible. En algunos aspectos los términos reformador de combustible y procesador de combustible se pueden utilizar indistintamente como es conocido por los expertos en la materia. Además, en algunos aspectos, los términos quemador de gas de cola y convertidor catalítico se pueden utilizar indistintamente como es conocido por los expertos en la materia. En algunos aspectos y formas de realización, el quemador de gas de cola quema y extrae el calor útil procedente de cualquier combustible en la corriente de escape que aún no se ha convertido o ha sido consumido por la pila de combustible. En algunos aspectos y formas de realización, el recuperador de calor o intercambiador de calor extrae la energía térmica del flujo de escape del reactor para su uso en el pre-calentamiento del combustible de entrada y en las corrientes de aire para la pila de combustible.

[0114] Una tercera implementación del dispositivo a modo de ejemplo, se refiere a un aparato de pila de combustible que incluye una pila de combustible y un quemador de gas de cola en comunicación térmica con la pila de combustible. La pila de combustible y el quemador del gas de cola están dispuestos para producir una densidad de potencia mayor que o igual a aproximadamente 2 W / cc.

[0115] Un cuarto ejemplo de implementación de dispositivo, se refiere a un procedimiento para minimizar la pérdida de calor durante el funcionamiento de una pila de combustible de óxido sólido. El procedimiento incluye las etapas de proporcionar un alojamiento que contiene una pila de combustible, y la operación de la pila de combustible de modo que la relación de potencia volumen del alojamiento sea mayor que alrededor de 2 W / cc.

[0116] Un quinto ejemplo de implementación de dispositivo, el dispositivo se refiere a un aparato de pila de combustible que incluye una primera pila de combustible de óxido sólido y una segunda pila de combustible de óxido sólido. La primera pila de combustible de óxido sólido incluye una capa de ánodo, una capa de cátodo, y una capa de electrolito. A su vez, la segunda pila de combustible de óxido sólido incluye una capa de ánodo, una capa de cátodo, y una capa de electrolito. En este aspecto, la distancia entre una línea central de la capa de electrolito de la primera pila de combustible de óxido sólido y una línea central de la capa de electrolito de la segunda pila de combustible de óxido sólido es menor que o igual a aproximadamente 1,5 mm o aproximadamente 1 mm.

[0117] En un sexto ejemplo de implementación de dispositivo, el dispositivo se refiere a un aparato de pila de combustible que incluye una pila de combustible de óxido sólido y un elemento de conexión de baja conductancia térmica de fluido en comunicación de fluido con la pila de combustible de óxido sólido. La pila de combustible de óxido sólido está adaptada para funcionar a una temperatura mayor que o igual a aproximadamente 400 ° C. También, el elemento de conexión de fluido de baja conductancia térmica está diseñado para producir una pérdida de calor debido a la sección transversal maciza del elemento de baja conductancia térmica del fluido de conexión de tal manera que la pérdida sea inferior a aproximadamente 0,1 vatios por elemento de conexión de fluido de baja conductancia térmica.

[0118] En un séptimo ejemplo de implementación de dispositivo, el dispositivo se refiere a un aparato que incluye una pila de combustible de óxido sólido y un elemento de baja conductancia térmica eléctrica en comunicación eléctrica con la pila de combustible de óxido sólido. La pila de combustible de óxido sólido está adaptada para funcionar a una temperatura mayor que o igual a aproximadamente 600 ° C y el elemento eléctrico de baja conductancia térmica tiene una resistencia mayor que o igual a aproximadamente 0,5 ohmios. En una forma de realización, el elemento eléctrico de baja conductancia térmica incluye platino y tiene un diámetro de menos de o igual a aproximadamente 200 micras o aproximadamente 100 micras.

[0119] En un octavo ejemplo de implementación de dispositivo, el dispositivo incluye un alojamiento que contiene una pila de combustible de óxido sólido y un volumen aislante dispuesto adyacente a un exterior del alojamiento. El volumen aislante está a una presión reducida.

[0120] En un noveno ejemplo de implementación de dispositivo, el dispositivo incluye un alojamiento que contiene una pila de combustible de óxido sólido, un volumen aislante dispuesto adyacente a un exterior del alojamiento, y un intercambiador de calor en comunicación térmica con la pila de combustible de óxido sólido. El intercambiador de calor se encuentra en el volumen de aislamiento.

[0121] En un décimo ejemplo de implementación de dispositivo, el dispositivo incluye una pila de combustible de óxido sólido y un elemento de baja conductancia térmica eléctrica en comunicación eléctrica con la pila de combustible de óxido sólido. La pila de combustible de óxido sólido está adaptada para funcionar a una temperatura mayor que o igual a aproximadamente 400 ° C y el elemento eléctrico de baja conductancia térmica tiene una resistencia mayor que o igual a aproximadamente 0,5 ohmios. En ciertas formas de realización, el elemento eléctrico de baja conductancia térmica comprende platino y / o tiene un diámetro de menos de o igual a aproximadamente 200 micras.

[0122] En un undécimo ejemplo de implementación de dispositivo, el dispositivo incluye una pila de combustible de óxido sólido y un elemento de baja conductancia térmica eléctrica en comunicación eléctrica con la pila de combustible de óxido sólido. La pila de combustible de óxido sólido está adaptada para funcionar a una temperatura mayor que o igual a aproximadamente 400 ° C y el elemento eléctrico de baja conductancia térmica tiene una

resistencia mayor que o igual a aproximadamente 0,5 ohmios. En ciertas formas de realización, el elemento eléctrico de baja conductancia térmica comprende platino y / o tiene un diámetro de menos de o igual a aproximadamente 200 micras.

5 **[0123]** En un duodécimo ejemplo de implementación de dispositivo, el dispositivo se refiere a un aparato de pila de combustible que incluye un alojamiento que contiene una pila de combustible de óxido sólido y un volumen aislante dispuesto adyacente a un exterior del alojamiento. El volumen aislante está a una presión reducida.

10 **[0124]** En un decimotercero ejemplo de implementación de dispositivo, el dispositivo se refiere a un aparato de pila de combustible que incluye un alojamiento que contiene una pila de combustible de óxido sólido, un volumen aislante dispuesto adyacente a un exterior del alojamiento, y un intercambiador de calor en comunicación térmica con la pila de combustible de óxido sólido. El intercambiador de calor se encuentra en el volumen de aislamiento.

15 **[0125]** En un decimocuarto ejemplo de implementación de dispositivo, el dispositivo se refiere a un aparato de pila de combustible que incluye un medio de separación espacial para la definición de una zona sustancialmente isotérmica y para la integración de elementos juntos dentro de un espacio particular. Como tal, el medio de separación espacial integra un medio para convertir el combustible en electricidad y medio para quemar y extraer energía térmica a partir de cualquier combustible dentro de la zona isotérmica. Los medios para convertir combustible en electricidad y los medios para quemar y extraer energía térmica están en comunicación térmica y comparten una pared común, y en una forma de realización, los medios de separación de espacio es un alojamiento. En otra forma de realización, los medios de separación espacial son una pared exterior. En otra realización adicional, los medios de separación son una estructura de semiconductores.

20

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (200), que comprende un alojamiento de pila de combustible (208), una pila de combustible (202) dispuesta dentro del alojamiento de pila de combustible, y un volumen de aislamiento (210) dispuesto adyacente a un exterior del alojamiento de pila de combustible y que define una región que tiene una presión reducida seleccionada para proporcionar aislamiento térmico cerca del exterior del alojamiento de pila de combustible, **caracterizado por el hecho de que** dicho aparato comprende además: un conducto de parada de llamas en comunicación de fluido con la pila de combustible y un exterior del volumen de aislamiento, en el que el conducto de parada de llamas cubre una parte del volumen de aislamiento y tiene un diámetro que va de 0.05 mm a 1.65 mm.
2. El aparato según la reivindicación 1, en el que el alojamiento de pila de combustible (208) tiene una cámara interior que tiene un volumen menor o igual a aproximadamente 100 cc.
3. El aparato según la reivindicación 1, en la que la presión reducida es menor o igual a aproximadamente 13.3322Pa.
4. El aparato según la reivindicación 1 en el que el conducto de parada de llamas tiene un diámetro que es menor o igual a 1.54 veces un Espacio de Seguridad Experimental Máximo para un fluido utilizado en el aparato.
5. El aparato según la reivindicación 1, que comprende además un sistema de control (224) asociado con la pila de combustible (202), en el que el sistema de control se selecciona del grupo que consiste en un detector de caudal, un detector de presión, un circuito comparador, un detector de voltaje, un detector de corriente, un detector de flujo másico directo, un detector de flujo másico indirecto, un detector de flujo de volumen, a detector diferencial, un lazo de control, un detector de temperatura, un detector de radiación, una válvula, un dispositivo de flujo unidireccional, una junta, un sellado, una puerta, una membrana, un iris, un obturador, un orificio de ventilación, un conducto y combinaciones de estos.
6. Procedimiento de fabricación de un aparato de pila de combustible (200), que comprende: proporcionar un alojamiento de pila de combustible (208) que tiene una cámara interior y disponer una pila de combustible (202) en su interior; disponer el alojamiento de pila de combustible (208) dentro de un alojamiento de dispositivo (212) para separar una pared exterior del alojamiento de pila de combustible de una pared interior del alojamiento de dispositivo para formar un volumen de aislamiento (210) capaz de soportar una presión reducida; y reducir una presión dentro del volumen de aislamiento para definir una región que tiene una presión seleccionada para proporcionar aislamiento térmico cerca del exterior del alojamiento de pila de combustible; **caracterizado por:** proporcionar un conducto de parada de llamas en comunicación de fluido con la pila de combustible y un exterior del volumen de aislamiento, en el que el conducto de parada de llamas cubre una parte del volumen de aislamiento y tiene un diámetro que va de 0.05 mm a 1.65 mm.

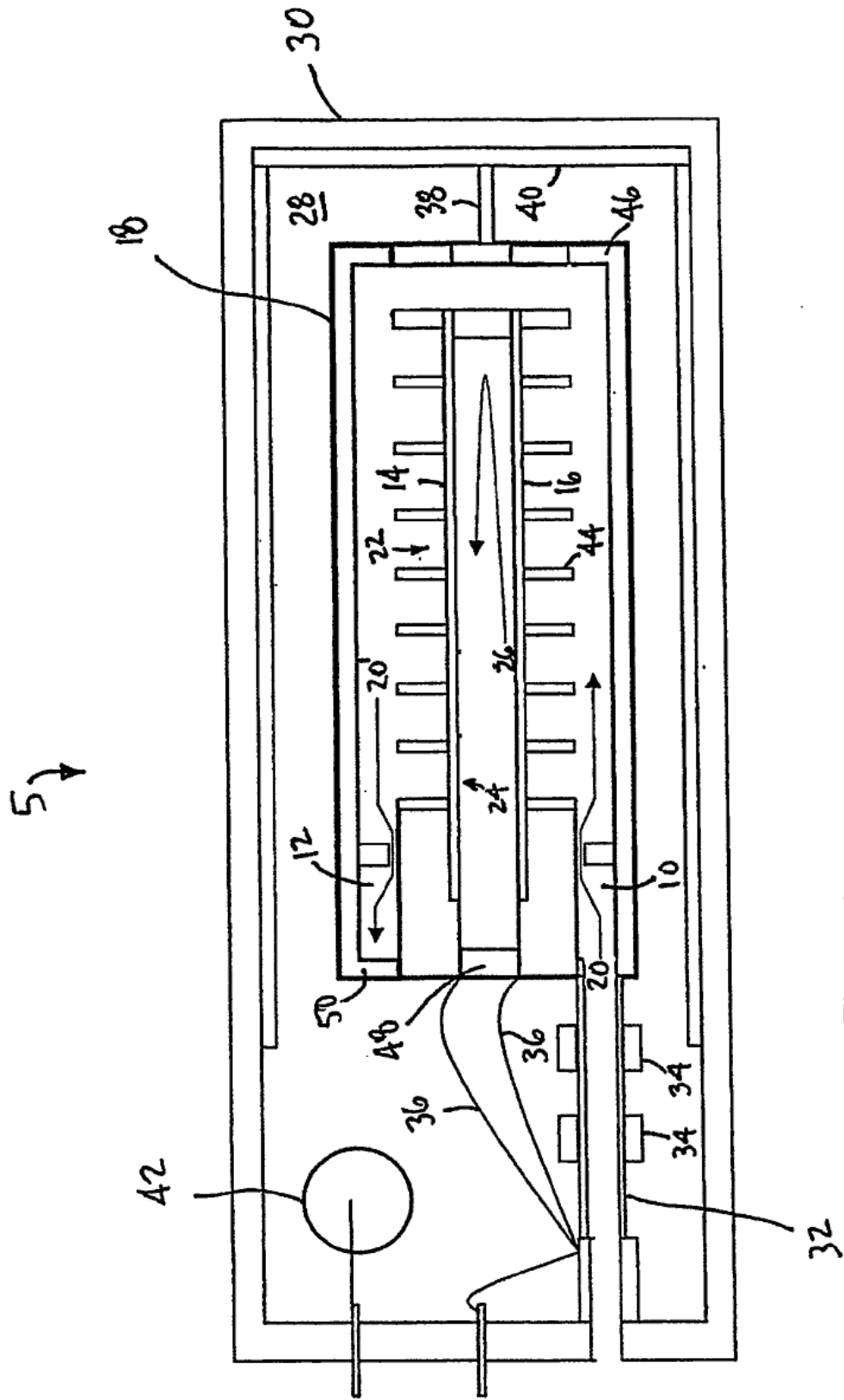


Figura 1

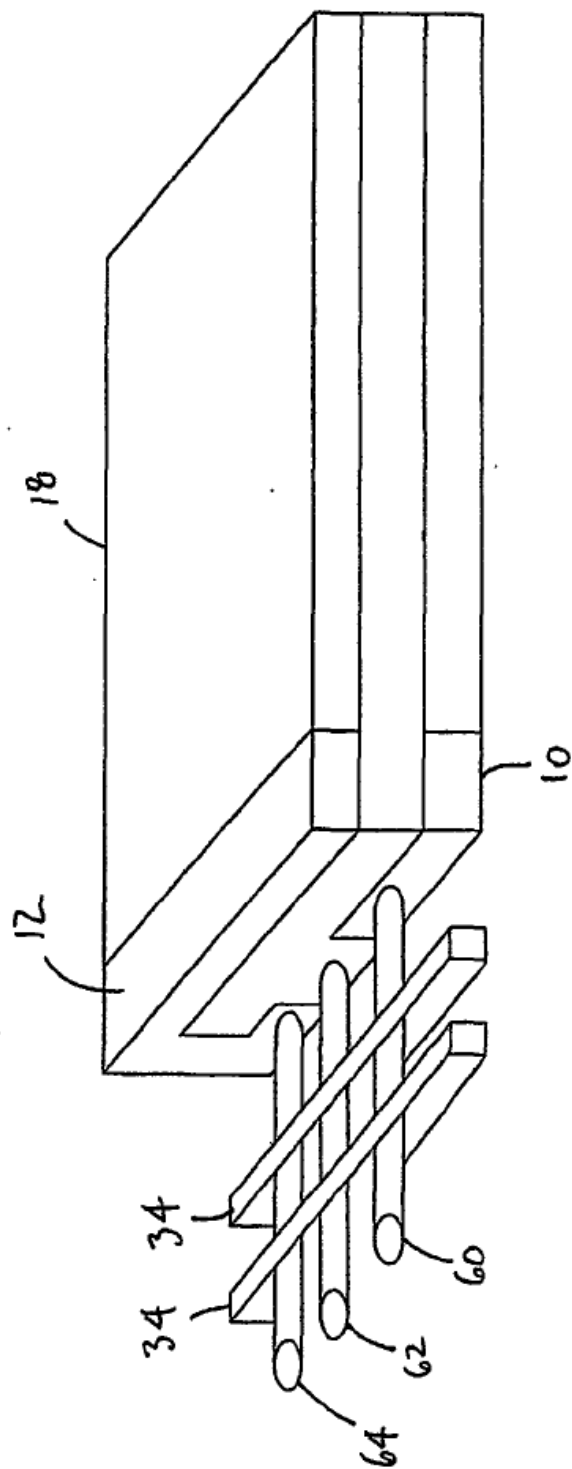


Figure 2

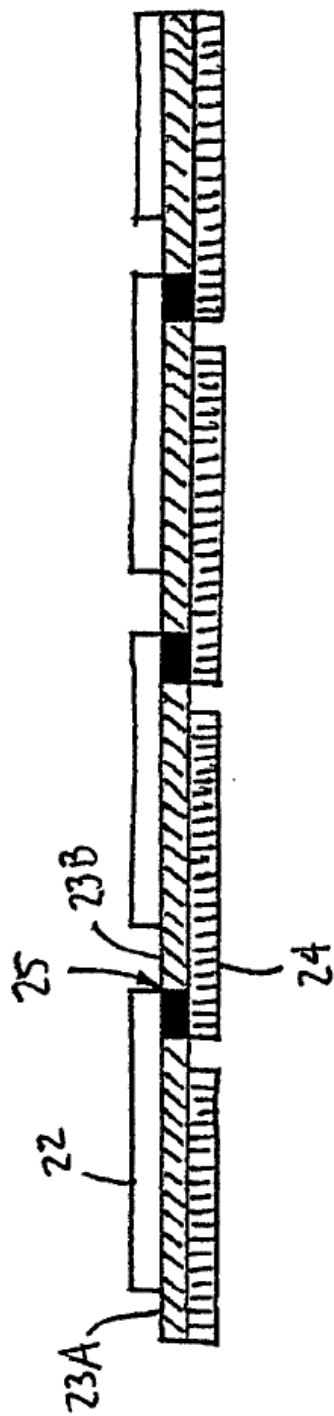


Figura 3

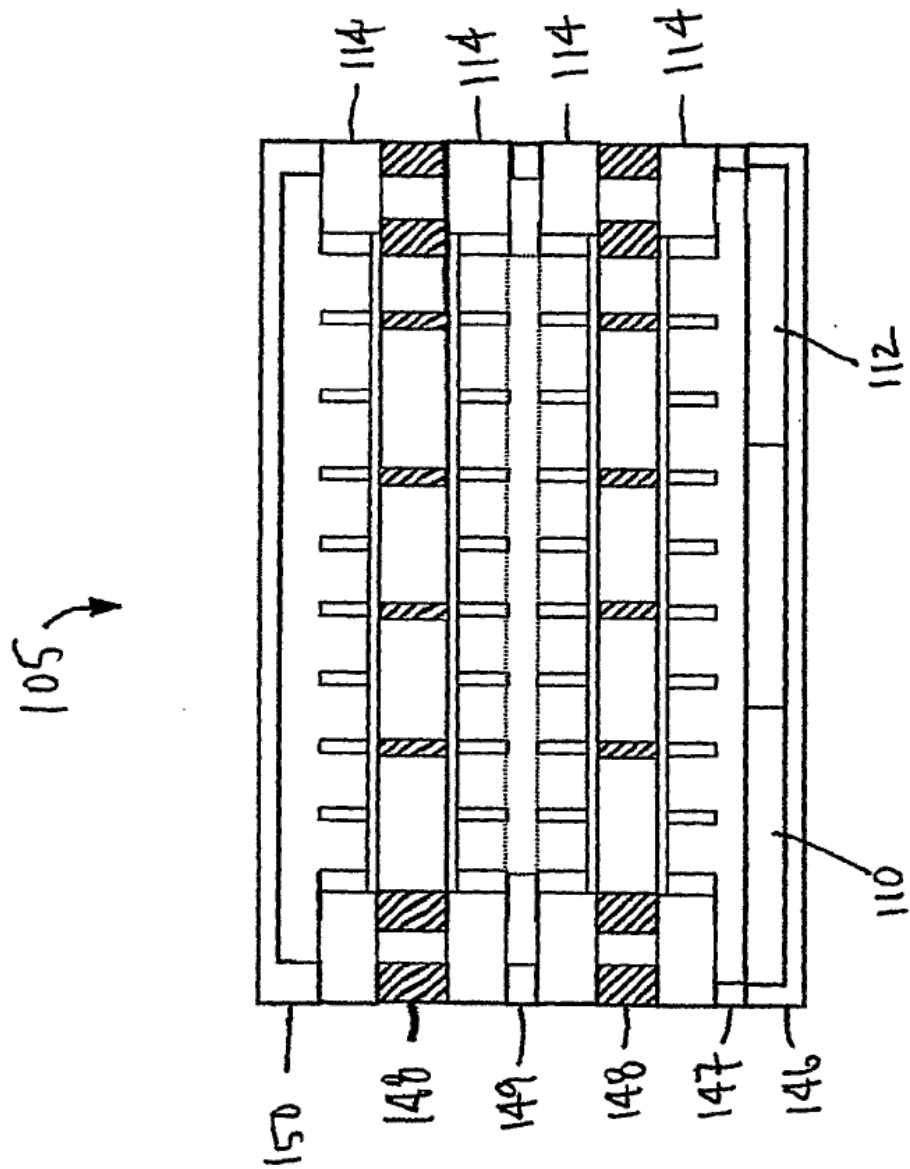


Figure 4

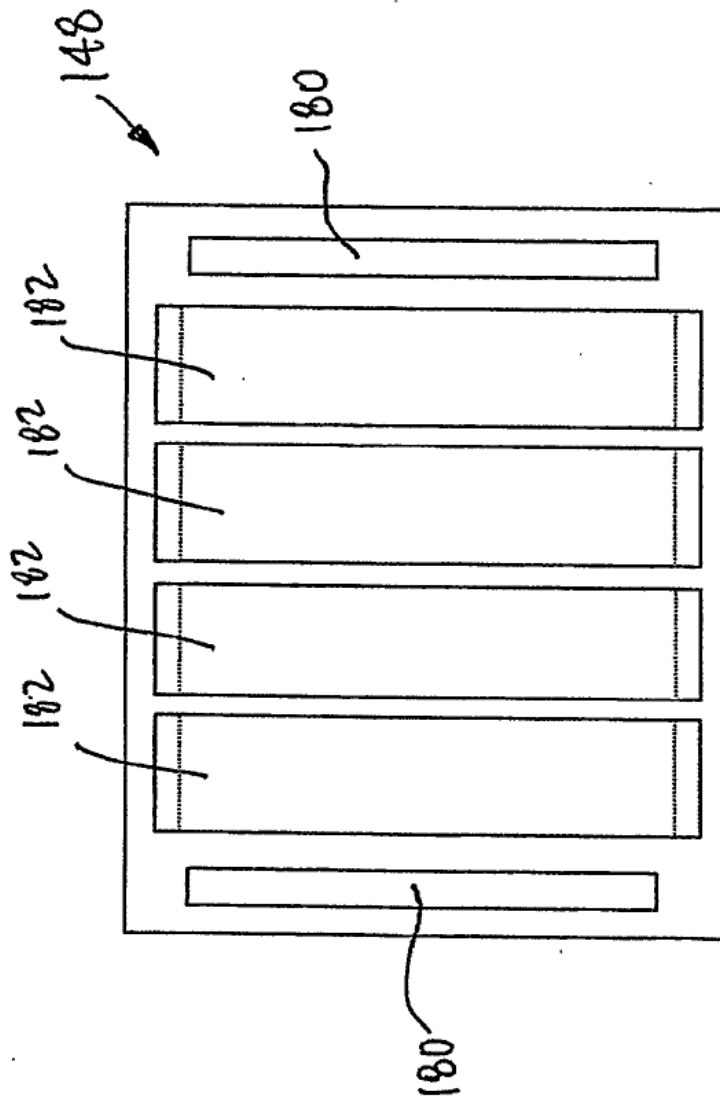


Figura 5

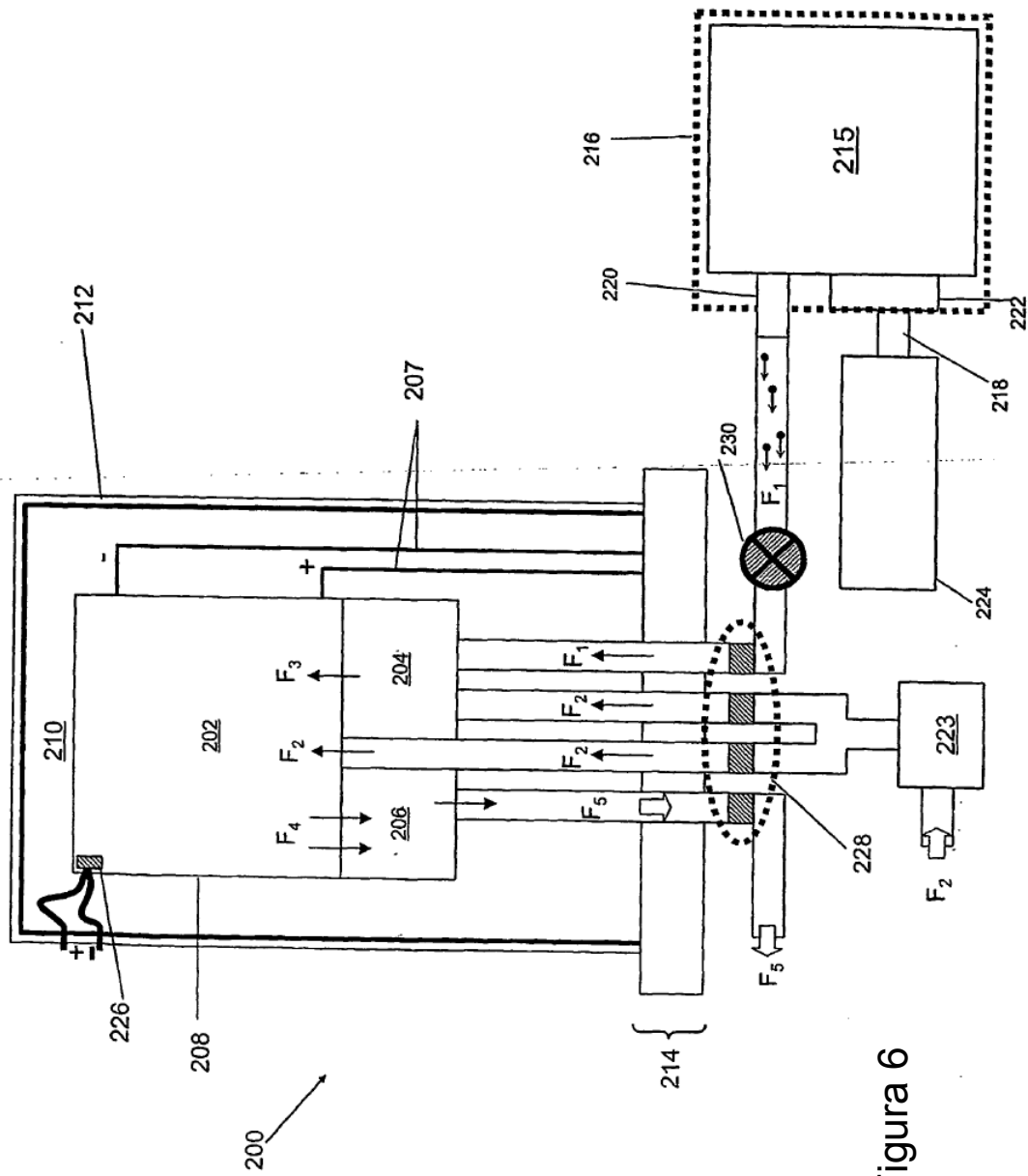


Figura 6

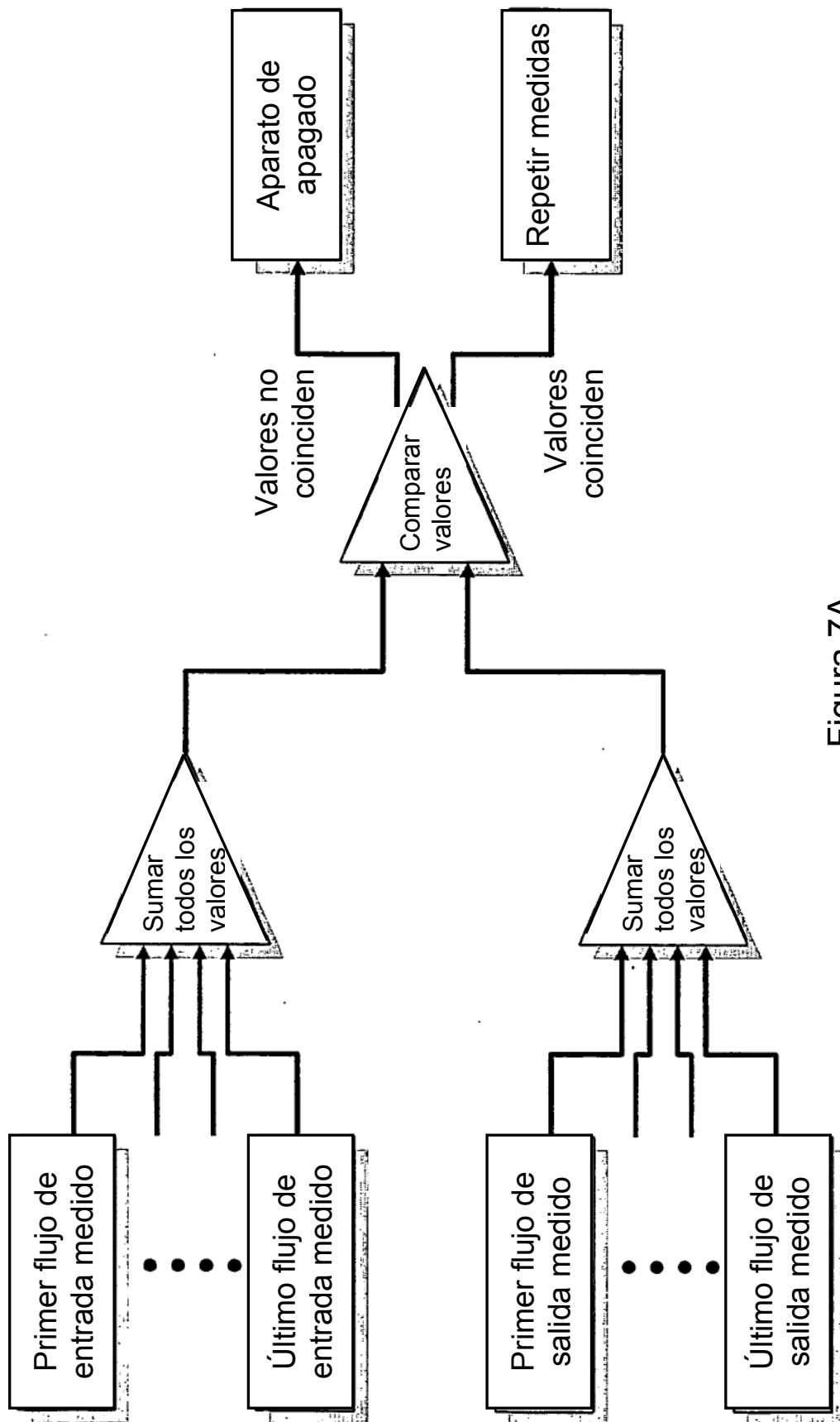


Figura 7A

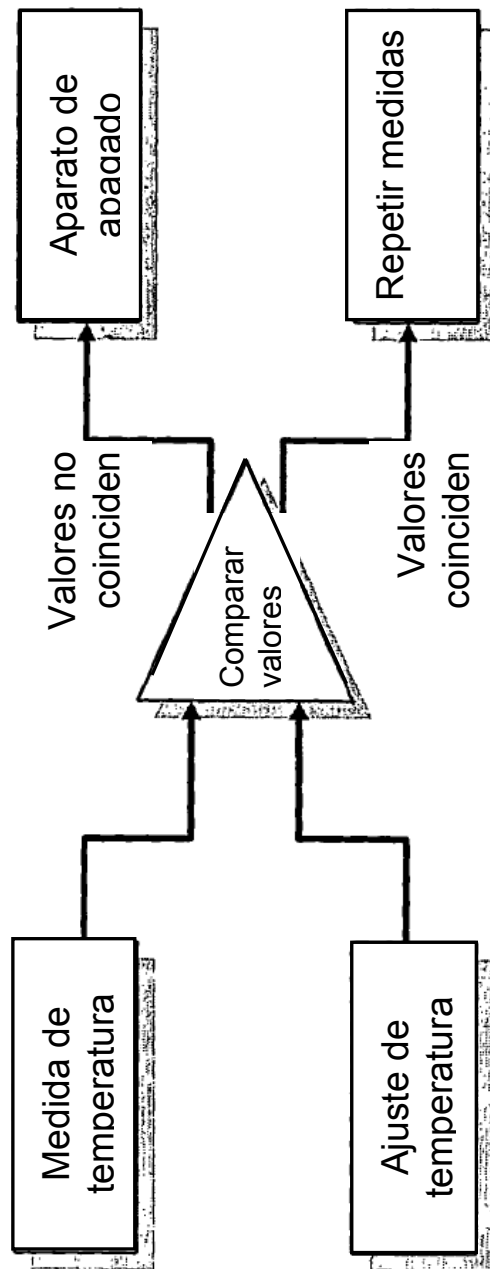


Figura 7B

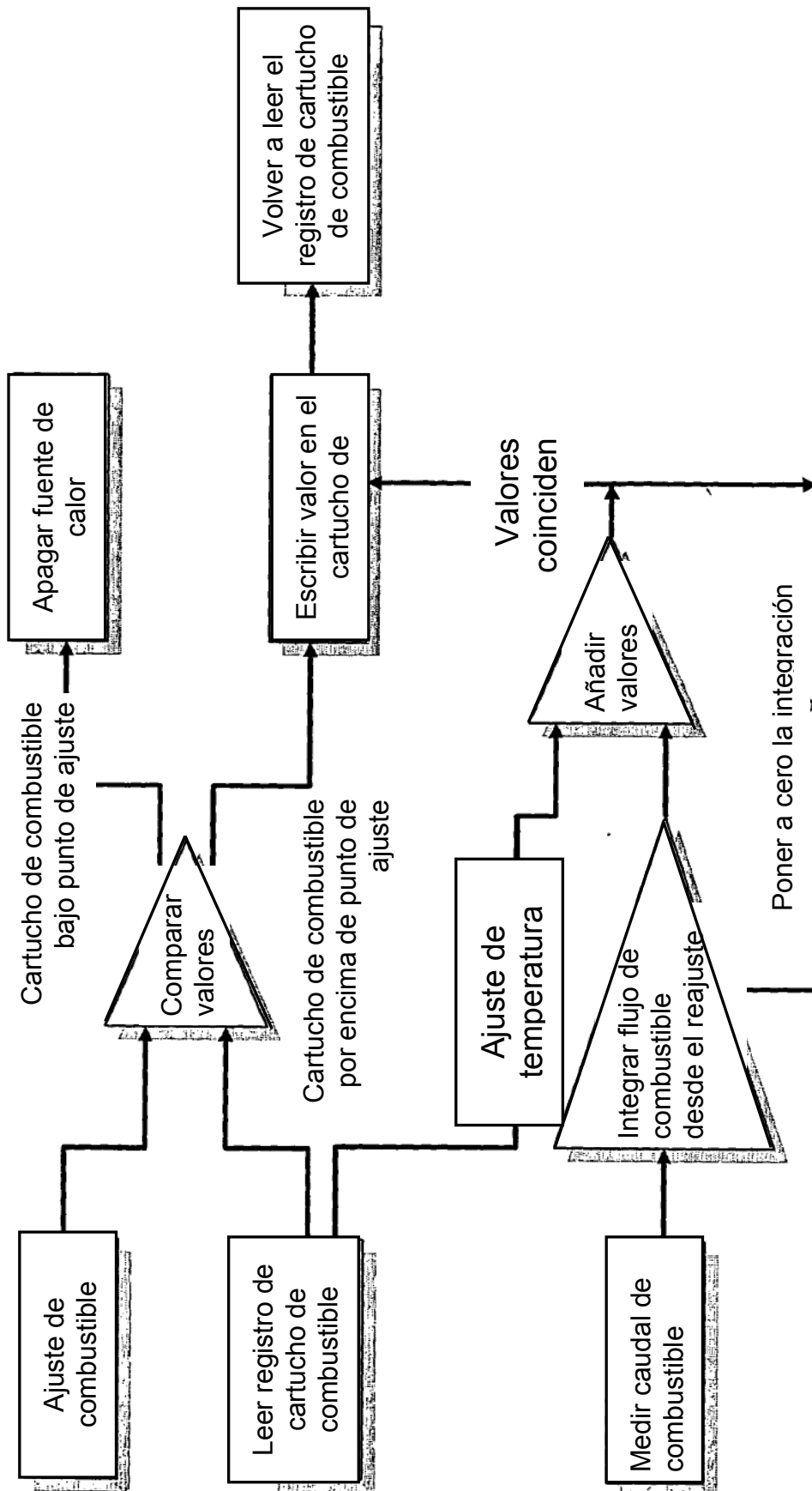


Figura 7C

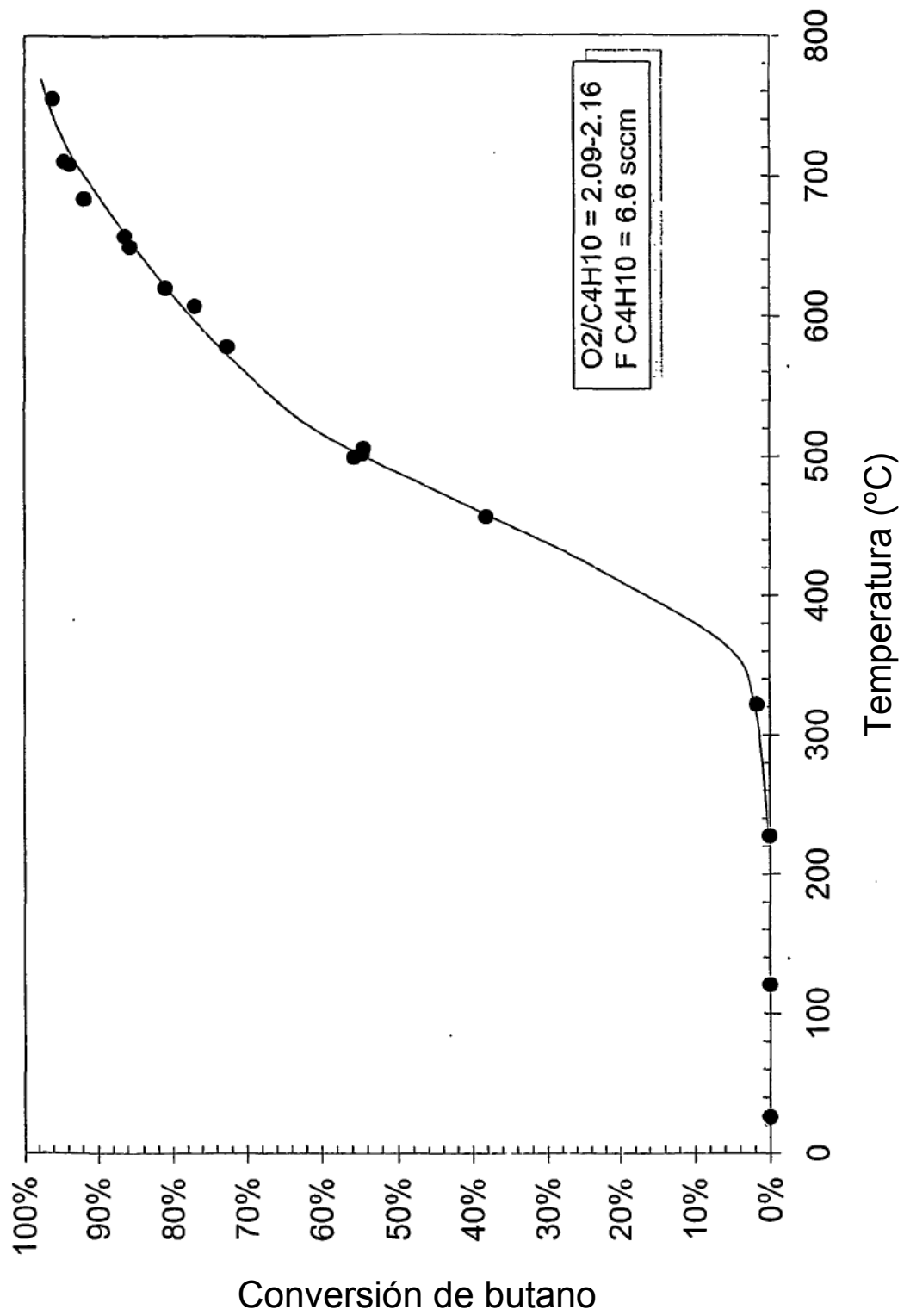


Figura 8