

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 543 963**

51 Int. Cl.:

H01M 8/12 (2006.01)
H01M 8/18 (2006.01)
H01M 8/00 (2006.01)
H01M 8/04 (2006.01)
H01M 8/22 (2006.01)
H01M 8/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.02.2007 E 07705140 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.06.2015 EP 1984972**

54 Título: **Pila de combustible reversible**

30 Prioridad:

07.02.2006 GB 0602406

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

26.08.2015

73 Titular/es:

**THE UNIVERSITY COURT OF THE UNIVERSITY
OF ST. ANDREWS (100.0%)
COLLEGE GATE, NORTH STREET
ST. ANDREWS, FIFE KY16 9AJ, GB**

72 Inventor/es:

**IRVINE, JOHN THOMAS SIRR;
NAIRN, JULIE MARGARET;
CONNOR, PAUL ALEXANDER;
RENNIE, JAMES;
FEIGHERY, ALAN;
JONES, FRANCES GWYNETH ELAINE;
ECCLESTON, KELCEY LYNNE y
ATTIDEKOU, PIERROT SASSOU**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 543 963 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

Pila de combustible reversible

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a una pila de combustible y en particular a una pila de combustible reversible.

Antecedentes de la invención

10 Una combinación de precios impredecibles del petróleo, el calentamiento global y un sistema de red eléctrica antiguo, y con frecuencia mal planteado, en países como Estados Unidos y Reino Unido impone muchas exigencias sobre la generación y distribución de electricidad. Un problema particular es el de cómo garantizar que el suministro pueda satisfacer la demanda. Esto es debido a que la red eléctrica con frecuencia tiene poca o ninguna capacidad
15 de almacenamiento de electricidad. Por tanto, se debe prever la demanda en todo momento y se debe poner en línea o fuera de línea la generación de recursos en consecuencia. Esto da lugar a la necesidad de una capacidad de generación adicional en el sistema, la denominada reserva sincronizada.

20 Actualmente existen pocas opciones disponibles para el almacenamiento de electricidad a gran escala. Las opciones habituales para el almacenamiento de electricidad a escala de red incluyen esquemas hidráulicos bombeados y sistemas de almacenamiento de energía de aire comprimido (CAES). Los sistemas hidráulicos bombeados en general suponen la construcción de una presa y un depósito en altura con una instalación de generación hidráulica a una altura inferior. Durante los periodos de baja demanda, la electricidad se toma de la red y se usa para bombear agua hacia el depósito, que se libera entonces para poner las turbinas en funcionamiento durante el periodo de
25 demanda máxima. No obstante, estos sistemas requieren ciertas características geológicas que limitan el ámbito de su aplicación. Además, puede haber un impacto ambiental adverso tales como inundación de terrenos.

Otra solución de almacenamiento es el uso de grupos de baterías. Con frecuencia son adecuados para reservas localizadas a pequeña escala, tales como para suministros ininterrumpidos de energía (SIE) para instalaciones clave o equipos sensibles tales como hospitales o servidores de ordenador. Se han usado grandes grupos de baterías de
30 hidruro de níquel metálico (NiMH) para reservas de red en comunidades aisladas, tales como la probada recientemente en Fairbanks, Alaska. No obstante, estos grupos son caros de instalar, requieren el mantenimiento y control de muchas pilas, y generan cantidades importantes de calor de baja calidad que es difícil de utilizar. También pueden sufrir auto-descarga y tienen un ciclo de vida limitado antes de que las baterías se deban reemplazar.

35 Una opción adicional es el uso de pilas de flujo, con frecuencia denominadas baterías redox. Estas usan la circulación constante de dos electrolitos, cada uno que contiene una mitad de un par redox reversible a través de pilas eléctricas. La electricidad se puede almacenar conduciendo una corriente a través de las pilas para reducir electroquímicamente un electrolito mientras se oxida el otro. Cuando se necesita corriente, la corriente aplicada se
40 elimina y el proceso de reducción/oxidación se invierte para proporcionar corriente.

A pesar de que estos sistemas proporcionan una solución eficaz y flexible de almacenamiento de energía a gran escala, presentan algunas desventajas significativas. Por ejemplo, algunos usan materiales peligrosos que requieren sistemas de seguridad masivos y caros. Además, adolecen de una baja densidad de energía debido a la mala
45 solubilidad de los componentes reactivos, efectos de transporte de masa debido a los materiales activos que se encuentran en solución y problemas debido a la auto-descarga provocada por el paso del material activo a través de las membranas de la pila.

Las pilas de combustible también se pueden usar para el almacenamiento de electricidad. Las pilas de combustible hacen reaccionar electroquímicamente dos materiales combustibles que se suministran de forma continua a la pila para generar electricidad. Hay muchos posibles pares electroactivos que se pueden usar en pilas de combustible tales como etanol/oxígeno y metano/oxígeno. El más atractivo desde el punto de vista medioambiental es la pila de hidrógeno/oxígeno. Esta utiliza la reacción electroquímica de hidrógeno y oxígeno para producir agua generando calor como subproducto. Este sistema tiene la ventaja de que todos los productos producidos se pueden usar y en
50 general son favorables para el medio ambiente.

A pesar de que algunos de los reactivos usados en las pilas de combustible, tales como el oxígeno, se pueden extraer de la atmósfera, otros, como el hidrógeno, se han de producir. Esto se puede realizar *in situ* o fuera de sitio con el transporte del hidrógeno hacia su lugar de uso, con frecuencia en forma licuada para maximizar la cantidad
60 transportada por lote. Un método habitual de producción de hidrógeno es la electrólisis de agua. Esto en general supone el paso de una corriente entre electrodos catalíticamente activos para separarla en hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno se seca y se comprime en tanques de almacenamiento. Cuando se necesita, el hidrógeno se pasa a la pila de combustible en donde se hace reaccionar electroquímicamente con el oxígeno del aire para proporcionar electricidad. Un problema con este tipo de sistema es que es razonablemente complejo, puesto que necesita una
65 fuente de agua pura, un electrolizador, compresores, secadores, tanques de almacenamiento, la pila de combustible y sus equipos auxiliares, y sensores y equipos de control suficientes para integrar el sistema.

Miliken et al., en "Low cost, high efficiency reversible fuel cell systems", Proceedings of the 2002 US DOE Hydrogen Program Review NREL/CP-610-32405, describen un sistema de pila de combustible-electrolizador que emplea un proceso electroquímico a base de óxido sólido a alta temperatura para producir electricidad a partir de combustibles hidrocarbonados convencionales, además de hidrógeno. En modo electrolizador, el sistema usa la electricidad y la energía térmica para convertir agua pura en combustible. En modo pila de combustible, el sistema funciona de forma pasiva. El oxígeno se obtiene del aire y el agua caliente producida se considera un subproducto útil. En modo electrolizador, el sistema funciona con agua pura. El oxígeno producido durante el modo electrolizador se elimina mediante electrólisis a alta temperatura y el hidrógeno producido se usa en vehículos.

Sumario de la invención

En las reivindicaciones independientes se definen diversos aspectos de la presente invención. Algunas características preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con la reivindicación 1 se proporciona un sistema de almacenamiento de calor y electricidad que comprende una pila de combustible reversible.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de almacenamiento de electricidad que comprende una pila de combustible reversible que tiene un primer electrodo y un segundo electrodos separados por un electrolito conductor de iones, y al menos dos cámaras adaptadas para contener combustible y/o un producto de reacción, cada cámara que está en comunicación pasiva con la pila de combustible, en la que el sistema está esencialmente cerrado. Los reactivos son hidrógeno y oxígeno.

Al usar una configuración de pila de combustible reversible y cerrada, se proporciona un medio seguro, pasivo y muy eficiente para almacenar y generar electricidad.

Cada cámara puede estar en comunicación pasiva con la pila de combustible. El combustible y el producto de reacción dentro de cada cámara pueden estar en comunicación fluida con la pila de combustible.

Preferentemente, al menos una de las cámaras es una cámara de gas a alta presión.

La pila puede ser una pila de combustible de óxido sólido. La pila puede ser tubular. El electrolito puede ser zirconia estabilizada con itrio. La pila se puede producir usando un método de colado en cinta.

El sistema puede incluir un sistema de refrigeración para retirar el calor. Preferentemente, este está conectado a algún sistema externo, por ejemplo, un sistema calefactor de manera que el calor extraído por el refrigerador se pueda reutilizar en otra parte.

Una de las cámaras puede estar montada dentro de la otra cámara.

Una o más de las cámaras pueden estar separadas o fuera de la pila.

Un combustible puede ser una fuente fundida o sólida de oxígeno. La fuente fundida o sólida de oxígeno puede contener un óxido de cinc, plomo, estaño o antimonio.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención se trata de un sistema de almacenamiento combinado de energía y calor que comprende el sistema del primer aspecto.

De acuerdo con un tercer aspecto de la invención se trata de una red eléctrica que comprende el sistema de almacenamiento de electricidad del primer aspecto, medios de control y al menos un medio de generación de electricidad.

El sistema de control puede controlar el suministro de al menos parte de la electricidad generada por el medio de generación de electricidad hacia el sistema(s) de almacenamiento de electricidad o extraer electricidad del sistema(s) de almacenamiento de electricidad.

Descripción de los dibujos

Ahora se describirán solo a modo de ejemplo diversos aspectos de la invención con referencia a los dibujos acompañantes en los que:

La Figura 1 es un esquema de un primer sistema de pila de combustible reversible;

la Figura 2 es un esquema de un segundo sistema de pila de combustible reversible;

la Figura 3 es un esquema de un tercer sistema de pila de combustible reversible;

la Figura 4 es un esquema de una pila para su uso en cualquiera de los sistemas de pila de combustible de las

Figuras 1 a 3;

la Figura 5 es un esquema de una pila de combustible usada para fines experimentales;

la Figura 6 es un esquema del uso de una pila de combustible reversible en una aplicación de energías renovables, y

la Figura 7 es un diagrama esquemático de otra pila de combustible reversible.

Descripción específica

La Figura 1 muestra el aparato de almacenamiento y generación de electricidad y energía reversible 1 que tiene dos recipientes de almacenamiento de gas a alta presión 5, 10, separados por al menos una pila de combustible reversible 15. El agua en forma de vapor e hidrógeno se almacena en un recipiente de almacenamiento 5. El oxígeno puro se almacena en otro recipiente de almacenamiento 10. Un recipiente 5 o 10, preferentemente el recipiente de almacenamiento en el que se forma el agua, está adaptado para recibir las pilas de combustible 15, el aislamiento 20 y un regulador térmico 25. El contacto entre los dos recipientes 5 y 10 se produce a través de la pila de combustible reversible 15. Los materiales de la pila de combustible se seleccionan de manera que solo se puedan mover iones de óxido a través de la pila 15 y hacia otro recipiente. El aparato 1 está dispuesto para permitir el funcionamiento reversible en forma de sistema cerrado y funcionar sin suministro y flujo continuo de productos combustibles a través del sistema. El aparato 1 está dispuesto de manera que se usen la(s) misma(s) pila(s) 15 tanto para las reacciones de carga como de descarga.

Las pilas de combustible reversible 15 son pilas de combustible de óxido sólido (PCOS). Como se muestra en las Figuras 1 y 4, la(s) pila(s) de combustible 15 son tubulares, que permite pilas fuertes que son resistentes a altas presiones. También son fáciles de sellar, fáciles de producir y proporcionan una gran área superficial activa sin flujo forzado. Las pilas 5 se pueden producir usando una variación del proceso de colado en cinta descrito en el documento WO 2003/036746, cuyo contenido se incorpora en este documento por referencia. Esto supone la preparación de tres capas, que son el electrodo de hidrógeno 21, el electrolito 22 y electrodo de oxígeno 23. Las capas se enrollan en espirales concéntricas tubulares en torno a una única horma para formar una cavidad central. El material del electrodo de oxígeno se dispone orientado hacia la cavidad central de la pila, mientras que el material del electrodo de hidrógeno se dispone orientado hacia la parte exterior de la pila.

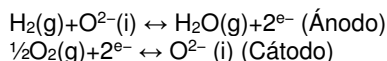
Se pueden usar diversos materiales para producir los electrodos y el electrolito, como es conocido en la técnica. En un ejemplo, el electrodo orientado hacia el tanque de hidrógeno/vapor es un electrodo de níquel/zirconia estabilizada con itrio (Ni/YSZ), el electrolito es YSZ y el electrodo orientado hacia el tanque que contiene oxígeno es un electrodo de lantano estroncio magnetita (LSM)/YSZ. La pila tubular puede estar sellada en un extremo, por ejemplo, usando un sello de YSZ 24. El extremo opuesto de cada pila tubular 15 se sella sobre el extremo de un tubo de acero usando un sello de vidrio. La pila 15 y el tubo de acero están montados en un colector de suministro de gas 26 y unidos por cables usando cobre. Así, las conexiones eléctricas para el electrodo orientado hacia el oxígeno se producen mediante los conectores del tubo de acero y las conexiones eléctricas para el electrodo orientado hacia el hidrógeno se producen mediante un cable de níquel o cobre 28 envuelto en torno o unido de otra forma al electrodo orientado hacia el hidrógeno de la pila 15. El colector de suministro de gas permite que el oxígeno entre en la cavidad interna de la pila 15 desde el tanque de oxígeno 10. La pila está situada en el tanque de hidrógeno 10, de manera que el hidrógeno entra en contacto con el electrodo orientado hacia el hidrógeno en el exterior de la pila.

El tanque de hidrógeno 5 es un recipiente de acero a presión. En la realización de la Figura 1, un único recipiente con una pared de separación define los tanques individuales 5 y 10. Las pilas de combustible 15 se incorporan a la pared de separación. En realizaciones alternativas, el tanque de hidrógeno 5 puede estar contenido dentro del tanque de oxígeno 10 para mejorar el aislamiento, como se muestra en la Figura 2. En la Figura 3 se muestra una realización adicional. En este caso, el tanque de oxígeno está separado del tanque de hidrógeno 5 y las pilas de combustible 15 y conectado mediante una tubería o conducto. En todos los casos, las pilas de combustible 15 están contenidas dentro del tanque de hidrógeno 5 y rodeadas por un material térmicamente aislante 20 y un regulador térmico 25 para permitirles alcanzar y permanecer a sus temperaturas operativas óptimas y garantizar que toda el agua se encuentre en forma de vapor.

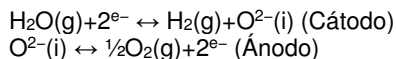
El regulador térmico 25 puede contener un elemento calefactor eléctrico convencional bobinado con un cable, conductos para la circulación de material calefactor y/o refrigerante y cualquier otro medio calefactor y/o refrigerante, como es sabido en la técnica. Puesto que la temperatura operativa óptima de los sistemas de PCOS es del orden de 800 °C, el elemento calefactor se puede usar para llevar inicialmente el sistema hasta la temperatura de trabajo. Una vez en funcionamiento, el sistema genera una cantidad considerable de calor, en especial en modo de pila de combustible. Este exceso de calor se puede extraer refrigerando el circuito y se puede usar para proporcionar calor para un uso secundario tal como generación eléctrica secundaria, calefacción de espacios o suministro de agua caliente. El exceso de calor se debe controlar para que sea inferior a la temperatura operativa máxima para los tanques 5 y 10.

Durante su descarga, el oxígeno se reduce en el electrodo orientado hacia el oxígeno (el cátodo durante la descarga) para producir iones de óxido que a continuación se transportan a través del electrolito al electrodo orientado hacia el hidrógeno (el ánodo durante la descarga), tras lo cual el hidrógeno se oxida para formar agua en

forma de vapor, según las siguientes ecuaciones:



Estas reacciones inversas se producen durante la recarga, con el vapor que se reduce para formar hidrógeno e iones de óxido. Los iones de óxido se transportan a través del electrolito al electrodo orientado hacia el oxígeno (el ánodo durante la carga), donde se oxidan para formar oxígeno.



Una vez lleno, el sistema funciona como sistema cerrado y es completamente pasivo, solo con procesos naturales que proporcionan la transferencia de masa necesaria. Esto es diferente a las pilas de combustible convencionales, en las que se usan bombas o fuentes de combustible a alta presión para suministrar activamente y de forma constante reactivos frescos a los electrodos de la pila y extraer continuamente el producto.

Las dos partes diferentes de la reacción tienen mecanismos de transporte de masa diferentes. Puesto que el electrolito en un sistema de PCOS conduce iones de óxido, el tanque de oxígeno siempre contendrá únicamente oxígeno. Así, independientemente del estado de carga, la concentración de oxígeno en el electrodo siempre será del 100 % y de esta forma no se deben producir problemas de transporte de masa en este electrodo. El oxígeno dentro del tanque de oxígeno 10 se puede consumir durante la descarga o se puede generar durante la recarga, y así la presión de oxígeno puede aumentar o disminuir. La presión en el tanque de oxígeno se puede usar por tanto para determinar el estado de carga del sistema. De manera alternativa, para sistemas que requieren un gran cambio en el estado de carga, se puede proporcionar un dispositivo de igualación de la presión para impedir el exceso y/o falta de presión en el tanque de oxígeno.

En contraste, el otro tanque 5 contendrá una mezcla variable de hidrógeno y vapor, dependiendo del estado de carga del sistema. La descarga de la pila incrementa la concentración de vapor y reduce la concentración de hidrógeno, produciéndose lo contrario durante la recarga. Puesto que la reacción usa/genera productos/reactivos en una relación de 1:1, hay poco cambio de presión en este tanque 5. El efecto de mezcla dominante se produce por la convección de gas desde la región muy caliente adyacente a las pilas hacia la zona relativamente más fría del resto del contenedor. La regulación térmica y los elementos aislantes en torno a las pilas se pueden conformar para ayudar a este proceso de convección permitiendo que el gas caliente se expanda por encima de los elementos, succionando gas más frío en la parte inferior. Esto actualizaría el suministro de material activo y también la mezcla del contenido del tanque 5 en su conjunto. Se producirá transporte adicional de especies activas como consecuencia del gradiente de concentración que se genera debido al agotamiento del reactivo en el electrodo.

Durante su uso, el sistema se puede pasar de carga a descarga simplemente mediante conmutación eléctrica entre la aplicación y extracción de una corriente. La disposición, el modo operativo y la selección de materiales del aparato descrito reducen la energía eléctrica necesaria para el modo de electrólisis, reducen los sobrepotenciales de electrodo y no presenta una etapa de tensión al pasar del modo de electrólisis al modo de pila de combustible a bajas corrientes. Esto permite cambios muy rápidos entre los modos operativos. Además, el sistema es menos sensible a los efectos de la auto-descarga y a la concentración de especies activas que los sistemas de pila de flujo comercializados en la actualidad. También permite generar calor. Este se puede usar, por ejemplo, en calefacciones domésticas, suministro de agua caliente o se puede utilizar para impulsar una turbina y proporcionar una fuente de electricidad secundaria.

La Figura 5 muestra un ejemplo específico de un dispositivo de almacenamiento de calor y electricidad reversible. Este tiene un pequeño recipiente cilíndrico a presión de 30 cm de altura y 20 cm de diámetro que actúa como tanque de hidrógeno/vapor 5 y sellado con un anillo de Wills. Está provisto de diversos puertos y llaves para llenar el tanque 5 y dirigir el cableado. El tanque 5 está clasificado a 1MPa a 300 °C. Las pilas de combustible están localizadas dentro del tanque 5, y unidas a través de un colector 26 a un depósito de oxígeno externo 10 (no mostrado). Las pilas de combustible son tubulares con un electrodo orientado hacia el hidrógeno de Ni/YSZ, un electrolito de YSZ y un electrodo orientado hacia el oxígeno de LSM/YSZ. Las pilas tubulares están selladas con un sello de YSZ en un extremo. Hay montado un horno eléctrico 25 en el recipiente a presión. También se proporcionan dos termopares para controlar tanto la temperatura del horno como la del hidrógeno.

Antes de su uso, se pone un pequeño vaso de precipitados de agua en el tanque 5, próximo al elemento calefactor 25 para proporcionar un suministro de vapor inicial. A continuación, el tanque 5 se presuriza con hidrógeno y se sella. La presión en el tanque de oxígeno 10 se ajusta para que se encuentre inicialmente a 10 kPa respecto a la del tanque de hidrógeno 5 cuando se calienta. A continuación, el tanque de hidrógeno 5 se calienta a la temperatura de trabajo, normalmente a 800-1000 °C aproximadamente. Puesto que el tanque de oxígeno 10 en este ejemplo está separado y no unido térmicamente al tanque de hidrógeno caliente, se proporciona un mayor volumen de oxígeno que de hidrógeno para compensar la presión de expansión térmica del tanque de hidrógeno caliente 5. Esto además minimiza la variación en la presión de oxígeno con la variación en el estado de carga. Si los dos tanque 5, 10

contienen el mismo volumen, la presión del tanque de oxígeno 10 se modificará la mitad de rápido que la del tanque de hidrógeno 5, puesto que se usan dos moles de hidrógeno o de vapor por cada mol de oxígeno. Una vez a esta temperatura, se puede repetir el ciclo de las pilas sin pérdida de presión o rendimiento de la pila. Durante su funcionamiento, las pilas consiguen una tensión de circuito abierto (TCA) de 1 V. Este volumen de hidrógeno ofrece una capacidad de 140 A/hora, que equivale a una capacidad de potencia de 100 W/hora a 0,7 V aproximadamente.

La Figura 6 muestra un sistema cerrado y pasivo que usa la presente invención para proporcionar un suministro continuo a la red a partir de fuentes de energía renovables. La electricidad se suministra al aparato de almacenamiento 1 o a un grupo de dichos aparatos mediante generadores alimentados por colectores de energía renovable 30, por ejemplo, turbinas eólicas o paneles fotovoltaicos. Para permitir el suministro de energía desde el aparato 1 a la red, se suministra un convertidor de DC a AC (no mostrado). Se proporciona un controlador eléctrico 35 para controlar la energía generada por los generadores 27. El controlador 35 puede desviar la corriente de los generadores hacia el aparato de almacenamiento de energía 1 para mantener el aparato 1 en condiciones de carga o cortar el suministro de energía y extraer corriente adicional del aparato de almacenamiento de energía 1 para mantener constante la salida total que alcanza la red. Otro modo de funcionamiento es el arbitraje, en el que el dispositivo de almacenamiento de electricidad realiza lentamente un ciclo entre dos estados relativamente cargados para mantener el calor en el sistema, mientras se mantiene un nivel utilizable de carga en la pila. Se puede extraer agua caliente 40 del sistema a través del regulador térmico 25 y se puede utilizar para proporcionar calor o agua caliente residencial.

En el sistema de la Figura 6, el dispositivo de almacenamiento de energía 1 o el conjunto de dichos dispositivos pueden tener tanques externos 5, 10 para almacenar hidrógeno/vapor y oxígeno, respectivamente. El uso de tanques externos 5, 10 permite la separación de energía y la capacidad de energía del sistema. La energía almacenada dependerá de la cantidad de material activo almacenado en el sistema, es decir, la capacidad de los tanques. Así, la capacidad de energía se puede incrementar o reducir añadiendo o eliminando tanques 5, 10 adicionales. En contraste, la cantidad de energía que genera el sistema depende únicamente del área superficial total y del número de pilas de combustible 15. Así, la energía que se puede obtener del sistema es variable añadiendo o eliminando pilas 15 o aparatos de almacenamiento adicionales 1.

El sistema de pila de combustible reversible de hidrógeno/oxígeno en el que se materializa la invención tiene muchas ventajas. Por ejemplo, es completamente escalable. Esto es debido a que su capacidad solo depende de la presión y el volumen de almacenamiento de gas, y así se puede extender fácilmente mientras que la potencia de salida máxima se ajusta mediante el área efectiva del electrodo y por tanto el número de pilas de combustible. Al usar pilas de combustible de óxido sólido y electrolizadores, que funcionan a alta temperatura, el desperdicio térmico producido por las pilas está disponible entonces para sistemas calefactores o de cogeneración locales, incrementando la eficiencia del sistema. Debido a estas ventajas, y la naturaleza cerrada del sistema, la presente invención es adecuada para un amplio espectro de aplicaciones que incluyen SIE, respaldo de energía residencial, calefacción y suministro de agua caliente (sistemas combinados de calor y energía (CHP)) o protección de islas eléctricas en la red.

El experto en la materia apreciará que son posibles variaciones de las disposiciones descritas sin apartarse de la invención. Por ejemplo, mientras que el sistema mostrado en la Figura 1 tiene los dos tanques de almacenamiento de reactivos 5, 10 colindantes entre sí, se apreciará que ambos tanques pueden estar separados el uno del otro o un tanque puede estar situado dentro del otro. Además, mientras que en los ejemplos anteriores generalmente se usan tanques de almacenamiento para cada reactivo, en la práctica se pueden utilizar múltiples tanques para cada reactivo o uno de los reactivos. Del mismo modo, se pueden suministrar varias pilas de combustible 15 mediante un número variable de tanques de almacenamiento 5, 10. Además, aunque este sistema es particularmente adecuado para su uso con pilas de combustible de hidrógeno/oxígeno, en la práctica, se puede adaptar a muchas pilas de combustible químicas de formas conocidas en la técnica, tales como mediante la selección de electrodos/materiales de electrolito apropiados. Además, aunque las pilas de combustible se describen en el presente documento como pilas de combustible de óxido sólido ventajosas, el sistema se puede usar con otros tipos de pilas de combustible. Las pilas de combustible se pueden producir por cualquier medio conocido en la técnica y no confinados solamente a los producidos por colado en cinta. Además, aunque el sistema se describe como operable en una configuración esencialmente cerrada, opcionalmente se pueden adaptar uno o más de los tanques para que se puedan rellenar o reponer.

En una variación adicional, el recipiente de oxígeno a alta presión se podría sustituir por un depósito de oxígeno metálico/óxido metálico sólido o fundido, como se muestra en la Figura 7. Esto ofrece algunas ventajas y evita la necesidad de igualar la presión entre los compartimentos de oxígeno y de hidrógeno y el sellado hermético del gas. La densidad de almacenamiento de energía volumétrica de un sistema de metal/óxido metálico basado en Pb, Sn, Zn, Sb, etc., es equivalente a 10 MPa de presión de oxígeno. Esto se puede conseguir rellenando el tubo de PCOS con metal/óxido metálico bajo un disco de YSZ ajustado herméticamente con un colector de corriente de acero. Por consiguiente, la descripción anterior de la realización específica está hecha solamente a modo de ejemplo y no a efectos de limitación. Será evidente para el experto que se pueden realizar modificaciones menores sin cambios significativos en el funcionamiento descrito.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de almacenamiento de calor y electricidad que comprende una pila de combustible reversible (15) que tiene un primer electrodo y un segundo electrodo separados por un electrolito conductor de iones, y al menos dos cámaras adaptadas para contener reactivo y/o un producto de reacción, en donde:
5 el sistema está cerrado;
al menos un reactivo para su descarga es hidrógeno u oxígeno;
una de las cámaras es una cámara de hidrógeno (5) adaptada para contener hidrógeno y agua;
10 la pila de combustible (15) está contenida dentro de la cámara de hidrógeno (5); y
la pila de combustible (15) genera calor durante su funcionamiento y está rodeada de un material térmicamente aislante (20) y un regulador térmico (25) para permitir que la pila de combustible alcance y permanezca a su temperatura de trabajo óptima y para garantizar que el agua se encuentra en forma de vapor.
- 15 2. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que cada cámara está en comunicación pasiva con la pila de combustible.
3. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el reactivo y el producto de reacción dentro de cada cámara están en comunicación fluida con la pila de combustible.
- 20 4. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la pila es una pila de combustible de óxido sólido.
5. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la pila es tubular.
- 25 6. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 4 o la reivindicación 5, en el que el electrolito es zirconia estabilizada con itrio.
7. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que la pila se produce usando un método de colado en cinta.
- 30 8. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores que tiene un sistema de refrigeración para extraer el calor del sistema.
9. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una de las cámaras está montada dentro de la otra cámara.
- 35 10. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos una de las cámaras está separada de la pila.
- 40 11. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se suministra un reactivo mediante una fuente fundida o sólida de oxígeno.
12. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la fuente fundida o sólida de oxígeno contiene un óxido de cinc, plomo, estaño o antimonio.
- 45 13. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el sistema está configurado para mantener una temperatura de trabajo que se encuentra entre 800 °C y 1000 °C.
- 50 14. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 9 o cualquiera de sus reivindicaciones dependientes, en el que al menos una de las dos cámaras es una cámara de oxígeno (10) configurada para contener oxígeno y la cámara de hidrógeno (5) está contenida dentro de la cámara de oxígeno (10).
15. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el material térmicamente aislante (20) y el regulador térmico (25) están configurados para inducir un proceso de convección que permite que el gas caliente se expanda por encima del material aislante y el gas más frío sea succionado por la parte inferior.
- 55 16. Un sistema combinado de almacenamiento de calor y energía que tiene el sistema reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 60 17. Una red eléctrica que tiene al menos un sistema de almacenamiento de electricidad de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, medios de control y al menos un medio de generación de electricidad.
18. Un sistema de suministro de red eléctrica de acuerdo con la reivindicación 17, en el que el medio de control controla el suministro de al menos parte de la electricidad generada por el medio de generación de electricidad hacia el/los sistema(s) de almacenamiento de electricidad o la extracción de electricidad del(de los) sistema(s) de
65

almacenamiento de electricidad.

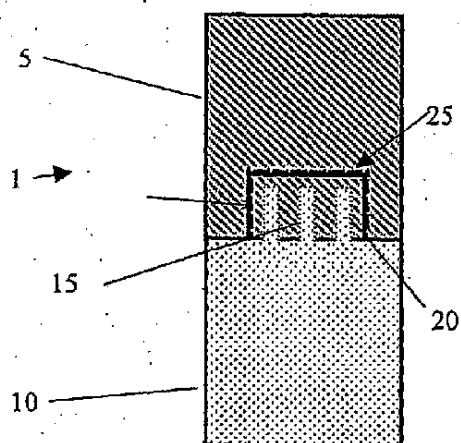


Figura 1

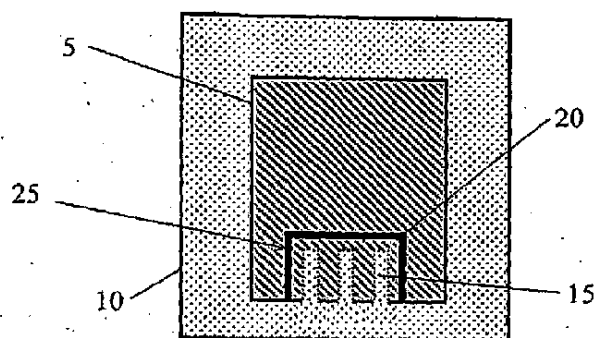


Figura 2

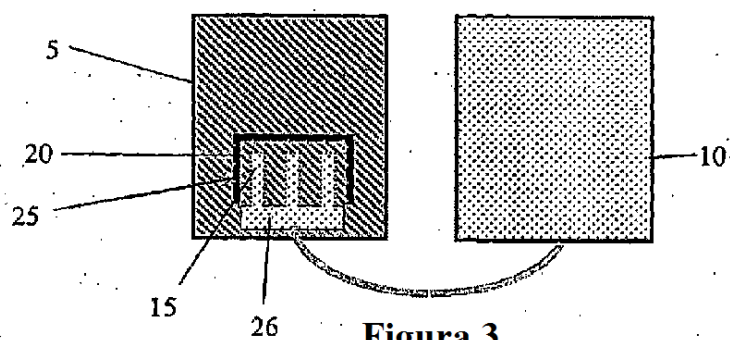


Figura 3

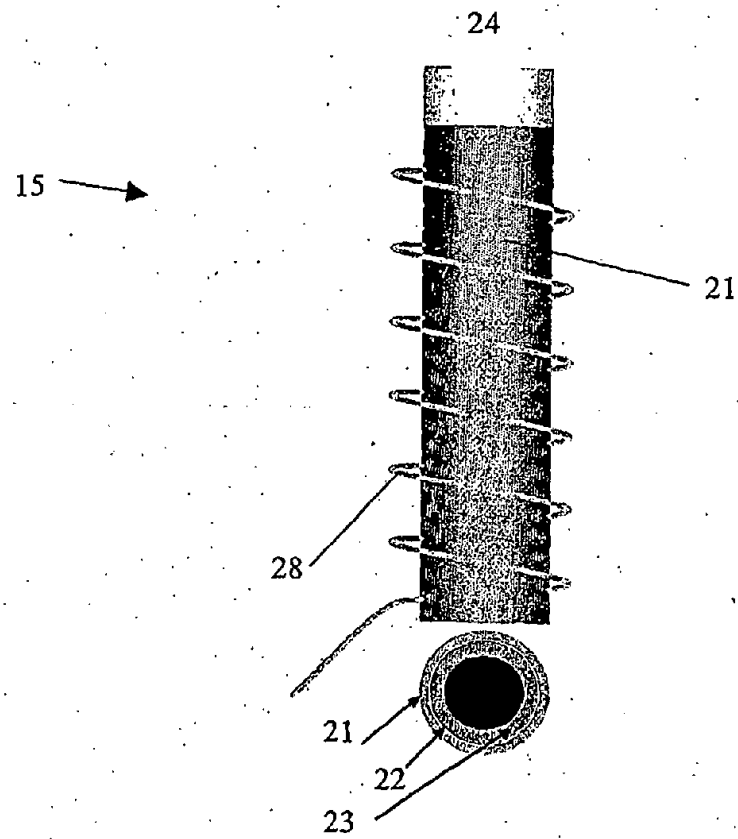


Figura 4

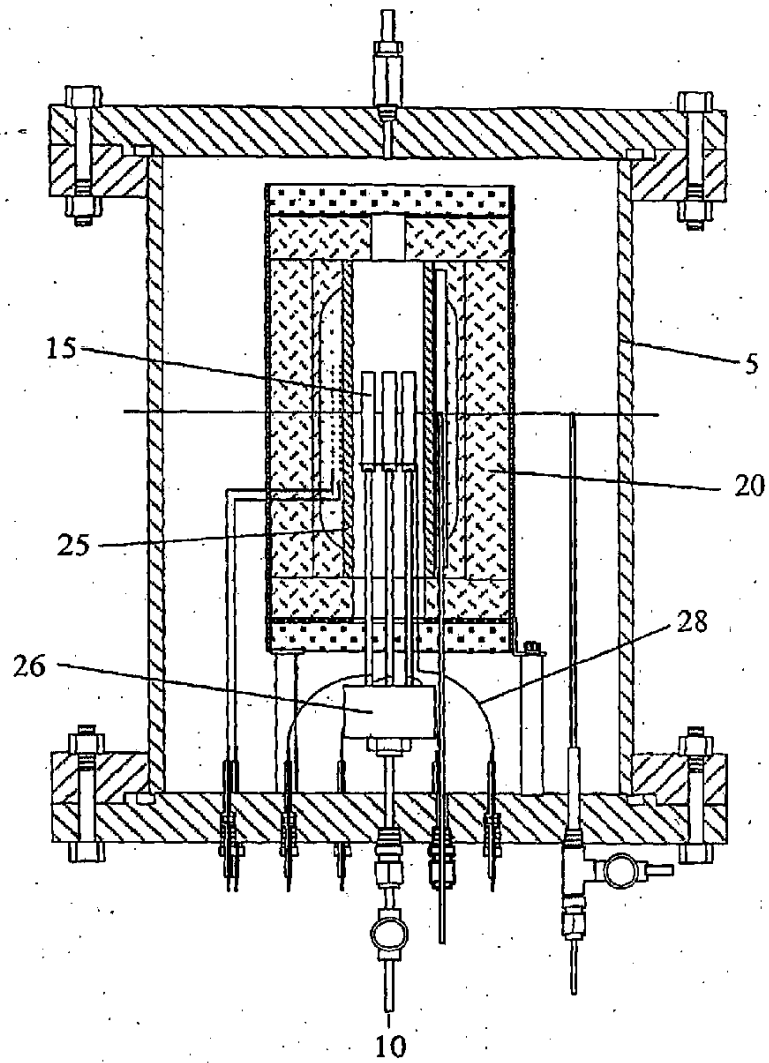


Figura 5

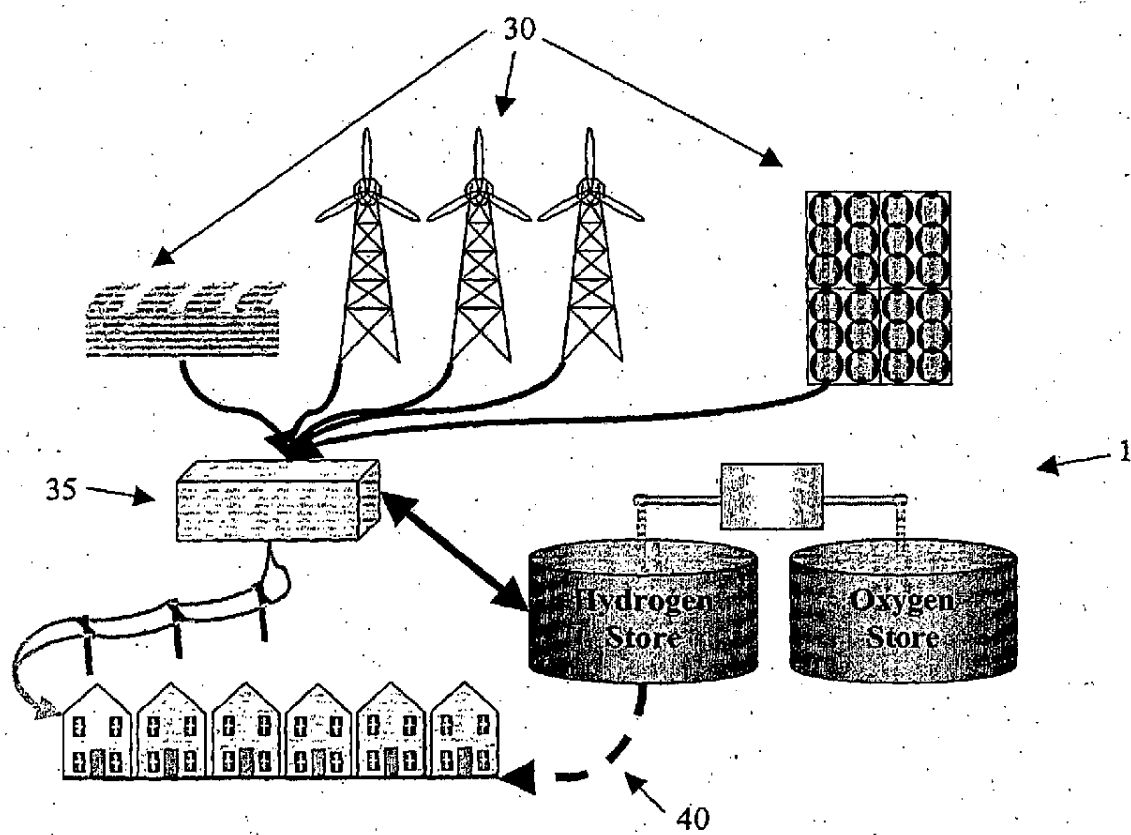


Figura 6

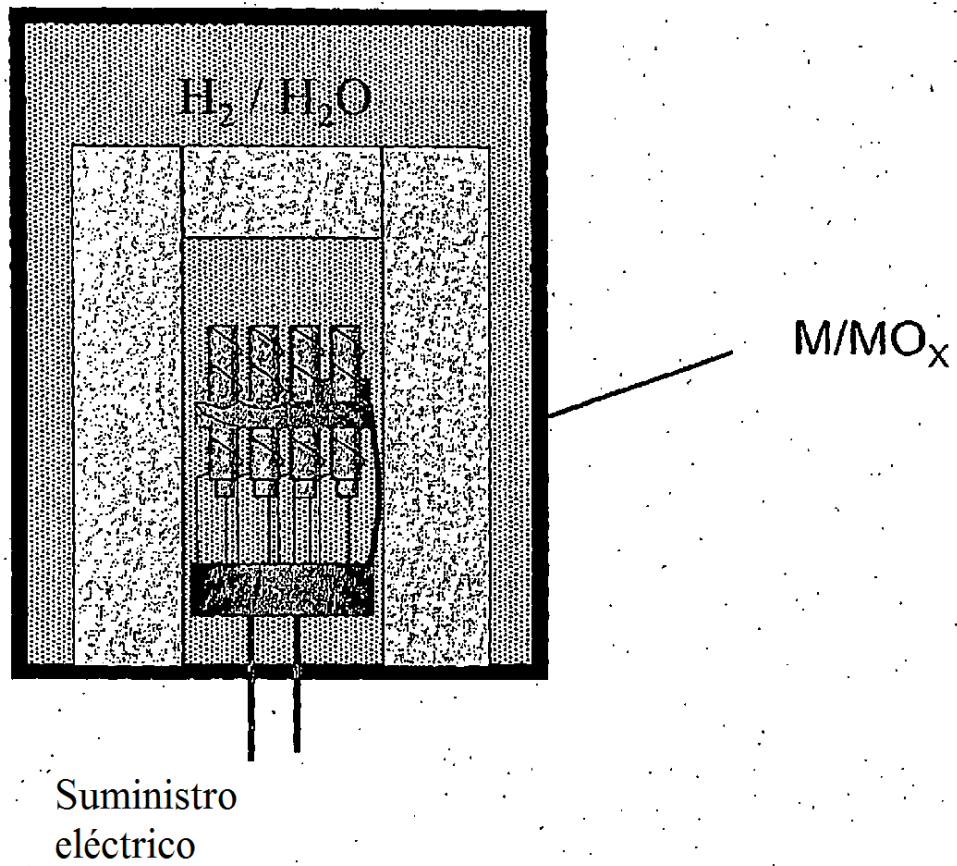


Figura 7