

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 373 382**

51 Int. Cl.:
H01M 8/00 (2006.01)
H01M 8/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **03815008 .2**
96 Fecha de presentación: **31.12.2003**
97 Número de publicación de la solicitud: **1579520**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **28.09.2005**

54 Título: **SISTEMA DE GENERACIÓN DE CÉLULAS DE COMBUSTIBLE DE ALTO RENDIMIENTO CON EXPANSOR DE GENERACIÓN DE ENERGÍA.**

30 Prioridad:
31.12.2002 US 335538

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
02.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
02.02.2012

73 Titular/es:
**NUVERA FUEL CELLS, INC.
129 CONCORD ROAD, BUILDING 1
BILLERICA, MA 01821, US**

72 Inventor/es:
**CLAWSON, Lawrence, G.;
O'BRIEN, Christopher, J. y
HAGAN, Mark, R.**

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 373 382 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

Sistema de generación de células de combustible de alto rendimiento con expansor de generación de energía.

- 5 Esta solicitud se refiere a un sistema de generación de células de combustible de alto rendimiento con expansor de generación de energía.

Antecedentes de la invención

- 10 Una célula de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de una reacción en energía eléctrica. Una célula de combustible consiste en un ánodo y un cátodo separados por una capa de electrolito. Durante el funcionamiento, se suministra al ánodo un reactivo, típicamente gas hidrógeno, y se suministra al cátodo un oxidante, típicamente aire u otro gas que contenga oxígeno. Las reacciones electroquímicas que tienen lugar en la célula de combustible producen una corriente eléctrica. Los sistemas de generación eléctrica de células de combustible comprenden generalmente series agregadas de células. A menudo denominadas "pilas" de células de combustible, para proporcionar voltajes más altos que los que se obtienen en una única célula.

- Las células de combustible se han convertido en útiles fuentes de energía en los años recientes y hay un creciente interés en el uso de células de combustible para la generación eléctrica móvil y a pequeña escala, incluyendo aplicaciones de energía en vehículos. Un impedimento para la amplia aceptación de los sistemas de generación de células de combustible es la falta de una infraestructura extendida para la producción y distribución de combustible, particularmente hidrógeno, requerido para el funcionamiento de la célula de combustible. Se han realizado intentos para superar este problema por medio del uso de sistemas de generación híbridos que funcionan con combustibles de hidrocarburo convencionales. En estos sistemas, los combustibles de hidrocarburo se convierten primero en un reformado que contiene hidrógeno por medio de un reformador de combustible integrado incluido y el reformado resultante se usa a continuación para alimentar la célula de combustible.

- En el futuro, se anticipa que se convertirá cada vez más eficaz en costes el empleo de sistemas de generación de células de combustible de hidrógeno "puro" no hibridado (es decir sin reformador presente), en los que se proporciona el hidrógeno mediante un sistema de almacenamiento de hidrógeno local o (en aplicaciones estacionarias) directamente desde una fuente remota. También, se puede evitar el uso de un subsistema reformador de combustible mediante la alimentación de la célula de combustible con un combustible que se reforme fácilmente, tal como un alcohol, particularmente metanol, de modo que se pueda formar el hidrógeno *in situ* en el ánodo de la célula de combustible.

- En cualquiera de estos sistemas de generación basados en células de combustible, particularmente en el caso de aplicaciones de generación de energía portátil o móvil, incluso modestos incrementos en la eficiencia del sistema pueden suponer una diferencia crítica en términos de tamaño, peso y coste-efectividad del sistema.

- 40 El documento WO-A-01/95409 describe un sistema de células de combustible de alto rendimiento de ciclo conjunto con una turbina de generación eléctrica. El documento DE-A-10118151 describe una célula de combustible que tiene una contrapresión regulada dinámicamente.

Sumario de la invención

- 45 La presente invención proporciona un sistema de generación de célula de combustible de acuerdo con la reivindicación 1, un método para el funcionamiento eficiente del sistema de generación de célula de combustible de acuerdo con la reivindicación 28, un sistema de generación de célula de combustible de hidrógeno no hibridado de acuerdo con la reivindicación 50 y un método para el funcionamiento eficiente de un sistema de generación de célula de combustible de hidrógeno no hibridado de acuerdo con la reivindicación 53. Las características preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes.

- En general, la presente invención se refiere a sistemas de generación basados en células de combustible, que incluyen sistemas integrados de células de combustible/reformador de combustible y sistemas de generación de células de combustible basados en hidrógeno "purgado". En un aspecto, los sistemas de célula de combustible de la presente invención utilizan ventajosamente el calor de desecho de baja temperatura de la célula de combustible para generar energía adicional, permitiendo así mejoras en la eficiencia global del sistema. El sistema comprende una célula de combustible que tiene un ánodo y un cátodo y un suministro de gas hidrógeno que se proporciona al ánodo de la célula de combustible y un compresor que crea una corriente de aire presurizada que se suministra al cátodo de la célula de combustible. La corriente de aire presurizada del cátodo y el gas hidrógeno del ánodo reaccionan en la célula de combustible para producir una salida de energía eléctrica y un calor de desecho. El sistema comprende además un líquido de refrigeración (por ejemplo agua), que elimina el calor de desecho de baja temperatura de la célula de combustible. El líquido de refrigeración, calentado directa o indirectamente por el calor de desecho del sistema de generación, se evapora en una corriente de aire presurizado, que puede ser una corriente de aire oxidante, desde, o dentro del cátodo de la célula de combustible, para producir una corriente de aire cargada de vapor presurizado. La corriente de aire cargado de vapor se alimenta, junto con un combustible, a un quemador, en

el que se quema para generar una corriente de salida cargada de vapor a alta temperatura. La corriente de salida cargada de vapor se usa para accionar un expansor, tal como una turbina, para proporcionar una salida de energía. La salida de energía desde el expansor excede en general la energía usada para comprimir el aire y la potencia del expansor se puede usar, por medio de una salida de potencia para accionar componentes auxiliares del sistema, tales como un compresor, y/o para suplementar la salida de energía del sistema de la célula de combustible, tal como mediante el accionamiento de un generador eléctrico.

En ciertas realizaciones, el sistema incluye un bucle de refrigeración en el que un fluido circula a través del sistema para eliminar el calor de desecho de la célula de combustible. El líquido de refrigeración que se evapora en el aire presurizado puede incluir el fluido del bucle de refrigeración o se puede calentar mediante el fluido del bucle de refrigeración.

En otras realizaciones, la célula de combustible se refrigera mediante inyección directa de un líquido de refrigeración en la célula de combustible. En este caso, el líquido de refrigeración se puede evaporar en el aire presurizado dentro de la célula de combustible.

La presente invención es capaz de conseguir una célula de combustible mejorada y eficiencias del ciclo Brayton mediante la utilización ventajosamente del calor de desecho de baja temperatura del sistema de generación de células de combustible. El calor de desecho generado en las células de combustible de baja temperatura convencionales, tal como las bien conocidas células "PEM" (células de membrana de electrólito de polímero o células de membrana de intercambio de protones; a veces denominadas células de membrana de electrólito de polímero sólido), son notoriamente difíciles de recapturar en una forma que produzca energía útil adicional. Por ejemplo, la mayor parte de las células de combustible de baja temperatura funcionan a temperaturas de menos de 200°C e incluso más típicamente a temperaturas de menos de 100°C. Las células de combustible PEM actualmente existentes funcionan a temperaturas entre 50°C y 100°C, por ejemplo. Las temperaturas de expulsión de calor para estas células de combustible de baja temperatura es demasiado baja para recuperar energía a través de medios convencionales, tales como una turbina de vapor u otros "ciclos de descenso" del tipo Rankine. Consecuentemente, el calor de desecho de tales células de combustible de baja temperatura se descarga simplemente al ambiente a través de un radiador de bucle cerrado u otros medios.

En la presente invención, por otro lado, al menos una parte de este calor de desecho de baja temperatura se recaptura ventajosamente mediante el uso de la energía del calor de desecho para evaporar agua en una corriente de aire presurizada (por ejemplo la corriente de aire del cátodo de la célula de combustible) para producir una corriente de vapor/aire presurizado que tiene un potencial de expansión significativo. Esta mezcla vapor/aire se quema a continuación en un quemador y el sistema es capaz de ese modo de generar una energía en exceso significativa mediante la expansión del escape del quemador cargado de vapor. El vapor proporciona un flujo de masa adicional (es decir un flujo de masa de calor específico ajustado) a través del expansor en comparación con el escape de aire en solitario. En efecto, la presente invención añade la energía de un ciclo Rankine, o de vapor, además de un ciclo Brayton de descenso de turbocompresor.

Más aún, esta energía en exceso de la expansión se puede obtener con un pequeño o ningún coste, tal como se deduce de la recuperación del calor "de desecho" de baja temperatura por medio de la evaporación de agua caliente en aire presurizado (es decir, el "efecto de presión parcial"). La energía conseguida es esencialmente el calor latente consumido para vaporizar el agua. El calor latente es una cantidad significativa: son necesarios aproximadamente 2326 julios por gramo para evaporar agua a 60°C, mientras que se requiere sólo aproximadamente unos 1465 julios adicionales por gramo para calentar el agua evaporada (vapor) unos 800°C adicionales. La secuencia de presurización del aire antes de la evaporación del agua es importante para maximizar las mejoras de eficiencia, porque mientras que se requiere una energía significativa para comprimir el aire, se requiere muy poca energía para comprimir agua a la misma presión.

En ciertas realizaciones, el sistema de generación de célula de combustible comprende un sistema integrado o "híbrido" célula de combustible/reformador de combustible. En ese sistema, la fuente de hidrógeno para la célula de combustible es un reformador de combustible (o procesador de combustible), que convierte, por medio de una o más reacciones químicas, un combustible de entrada, tal como un combustible de hidrocarburo convencional, en un reformado que contiene hidrógeno. El reformado se usa a continuación como combustible en el lado del ánodo de la célula de combustible. Típicamente en tales sistemas, se usa un quemador para proporcionar calor para dar soporte a la reacción de reforma de combustible endotérmica. En ciertas realizaciones de la presente invención, el escape cargado de vapor de la célula de combustible se puede suministrar al quemador del reformador y el quemador con combustible (el combustible que incluye opcionalmente hidrógeno no usado de la célula de combustible), para producir el escape cargado de vapor que acciona el expansor.

En otras realizaciones, el sistema de generación de célula de combustible comprende una célula de combustible de hidrógeno "puro" no hibridado. Estas células de combustible no están integradas con el reformador local, sino que en su lugar se alimentan con hidrógeno desde otra fuente, tal como hidrógeno almacenado o hidrógeno proporcionado desde una localización remota. Una célula de combustible de hidrógeno "puro" convencional no incluye un quemador, ya que no hay necesidad de dar soporte a una reacción de reforma de combustible. En un dispositivo

típico, se proporciona hidrógeno al lado del ánodo de la célula de combustible, que es un “camino sin salida”, significando que, durante el funcionamiento, el hidrógeno permanece contenido dentro del ánodo. Periódicamente, el contenido de la célula, tal como agua y cualquier hidrógeno sin reaccionar, se descargan al entorno mediante un ciclo de “purga” y se añade un nuevo suministro de hidrógeno para reanudar el funcionamiento de la célula de combustible.

Por el contrario, el sistema de células de combustible de hidrógeno “puro” de la presente invención comprende un quemador para la combustión del combustible con la mezcla de aire/vapor presurizada para proporcionar la corriente de escape cargada de vapor usada para accionar el expansor. En ciertas realizaciones, el combustible quemado en el quemador incluye hidrógeno sin reaccionar que se recicla, periódica o continuamente, desde el ánodo de la célula de combustible. El combustible puede incluir adicionalmente combustible desde la misma fuente usada para proporcionar hidrógeno a la célula de combustible, tal como un tanque de almacenamiento de hidrógeno. El calor de desecho del sistema de generación se recupera al menos parcialmente mediante la evaporación de agua, calentada por el calor de desecho, en una corriente oxidante presurizada, antes, después, y/o mientras el oxidante está dentro de la célula de combustible. La mezcla aire/vapor resultante se puede opcionalmente recalentar por el quemador de escape, (que opcionalmente puede proporcionar una evaporación adicional del agua en el aire) y se quema a continuación con el combustible para producir el escape del quemador cargado de vapor. El escape se expande a continuación en el expansor para producir energía, típicamente sustancialmente en exceso de la energía usada para comprimir el aire.

El sistema de generación de célula de combustible de hidrógeno puro de la presente invención usa ventajosamente una corriente de aire presurizada como el oxidante del cátodo, lo que da como resultado una producción de energía de la célula de combustible incrementada, o un tamaño de célula de combustible más pequeño para una potencia de salida dada. Más aún, este rendimiento añadido debido a la mayor presión es “libre” en términos de carga parásita dado que la energía generada por la expansión del escape cargado de vapor más que compensa la energía requerida para presurizar el aire. Naturalmente, la adición del quemador tiende a disminuir la eficiencia del sistema, dado que típicamente se consume algún exceso de combustible en el quemador. Sin embargo, esto es más que compensado por la energía recapturada del calor de desecho del sistema por medio de la evaporación del agua en la corriente de aire del cátodo presurizada. La expansión del escape cargado de vapor crea una energía neta, en exceso del coste de comprimir el aire y cualquier exceso de combustible usado en el quemador y por lo tanto la eficiencia global del sistema se mejora. El sistema resultante es también típicamente muy flexible y puede responder rápidamente a transitorios.

De acuerdo con otra aspecto más, la presente invención comprende un sistema de generación de célula de combustible y un método de funcionamiento de tal sistema, comprendiendo el sistema una célula de combustible con un ánodo y un cátodo, un compresor para la creación de una corriente de aire presurizada, siendo suministrada la corriente de aire al cátodo de la célula de combustible para la generación y la producción de energía eléctrica, un líquido de refrigeración en comunicación de fluidos con la corriente de aire presurizada, siendo calentado al menos una parte del líquido de refrigeración por el calor de desecho del sistema de generación y evaporándose dentro de la corriente de aire presurizado para producir una mezcla presurizada de aire y vapor, un quemador para la combustión de combustible con la mezcla de aire/vapor presurizada para producir un escape de alta temperatura de una corriente de escape que contiene vapor y un expansor que se acciona por el escape para producir una salida de energía. Adicionalmente, el sistema comprende un aparato de condensación, tal como un radiador, para la recuperación de al menos una parte del líquido evaporado del escape del quemador expandido antes de la descarga del escape desde el sistema. En ciertas realizaciones, el sistema comprende adicionalmente un aparato para la aplicación de una contrapresión al escape del quemador para facilitar la recuperación del líquido evaporado desde el escape del quemador. La contrapresión se puede aplicar selectivamente para elevar el punto de rocío de la corriente de escape y así hacer al líquido del escape más fácilmente recuperable, particularmente cuando el sistema se opera en temperaturas ambientes elevadas. Esta técnica es aplicable a células de combustible de hidrógeno “puro” y a células de combustible “directo” que convierten combustible en hidrógeno directamente en la célula de combustible, así como a sistemas de generación de célula de combustible “híbridos” que incluyen un subsistema reformador de combustible integrado.

Breve descripción de los dibujos

Los precedentes y otros objetos, características y ventajas de la invención serán evidentes a partir de una descripción más particular de las realizaciones preferidas de la invención, como se ilustra en los dibujos que la acompañan en los que los caracteres de referencia similares se refieren a las mismas partes a todo lo largo de las diferentes vistas. Los dibujos no están necesariamente a escala, haciéndose énfasis en su lugar en la ilustración de los principios de la invención.

La Fig. 1 es un diagrama esquemático de un sistema de generación de célula de combustible/reformador de combustible integrado convencional;

la Fig. 2 es un diagrama esquemático de un sistema de generación de célula de combustible/reformador de combustible integrado que usa inyección de agua directa;

la Fig. 3 es un diagrama esquemático de un sistema de generación de célula de combustible de hidrógeno no

hibridado de acuerdo con otra realización de la invención y la Fig. 4 es un diagrama esquemático de un sistema de generación de célula de combustible de hidrógeno que usa inyección de agua directa.

5 Descripción detallada de la invención

La presente invención se refiere en general a métodos y aparatos para la mejora de la eficiencia de funcionamiento de sistemas de generación de célula de combustible mediante la recuperación del calor de desecho de baja temperatura desde el sistema de generación y la conversión de este calor en energía útil. Los sistemas de generación descritos en el presente documento utilizan una célula de combustible, que es un dispositivo para la producción de electricidad mediante la reacción electroquímica de dos reactivos, típicamente hidrógeno y oxígeno, a través de una barrera. Las células de combustible se agregan típicamente en una "pila" de células de combustible, para producir una salida de tensión más alta que la disponible de una célula de combustible única. Como se usa en el presente documento la expresión "célula de combustible" engloba tanto células de combustible únicas como "pilas" de células de combustible, a menos que se especifique lo contrario.

Las células de combustibles a las que es aplicable particularmente la presente invención incluyen células de combustible que desechan calor por debajo de aproximadamente 200°C y más típicamente aproximadamente 100°C. Las células de combustible "PEM" son las más comunes de estas células de combustible de "baja temperatura". Estos dispositivos usan una membrana polimérica a través de la que se genera un potencial eléctrico y las propiedades de la membrana limitan la temperatura de funcionamiento de la célula de combustible a aproximadamente 100°C en la actualidad. En el futuro, se espera que este límite de temperatura se eleve a 150°C o más y se puede aproximar posiblemente a 200°C. Una característica de estas células de combustible de baja temperatura es que no funcionan a una temperatura suficientemente alta para permitir el uso de unos ciclos de descenso de turbina de vapor convencional para una recuperación de energía eficiente. Varios tipos de células de PEM, tales como las del tipo de "metanol directo" (en las que se crea hidrógeno directamente en o cerca de la membrana mediante reformador catalítico del metanol o a veces otros alcoholes o combustibles, *in situ*), tienen típicamente también temperaturas de funcionamiento en este mismo intervalo.

La presente invención es aplicable a sistemas integrados de generación de reformador de combustible/célula de combustible, así como a sistemas de generación de célula de combustible de hidrógeno no hibridado o "puro". Un sistema integrado de generación de reformador de combustible/célula de combustible comprende un reformador de combustible (también denominado más generalmente como un procesador de combustible) que convierte un combustible en base a hidrocarburos en un reformado, que contiene generalmente hidrógeno, dióxido de carbono y trazas de otros gases y se usa el reformador a continuación por la célula de combustible para generar electricidad. Un procesador de combustible contiene también típicamente dispositivos auxiliares para minimizar la concentración de ciertos componentes, tal como el monóxido de carbono, que son perjudiciales para la célula de combustible.

Por el contrario, un sistema de generación de célula de combustible de hidrógeno no hibridado o "puro" no usa un procesador o reformador de combustible separado para suministrar el combustible de hidrógeno para la célula de combustible. En un sistema no hibridado, típicamente se proporciona el hidrógeno desde una fuente de almacenamiento de hidrógeno, tal como un tanque de almacenamiento de gas hidrógeno presurizado, bodegas de hidruros en matrices metálicas o hidrógeno líquido. El hidrógeno almacenado puede incluir también hidrógeno almacenado en una forma química fácilmente movilizadada o voluble, tal como borohidruro de sodio. Con el borohidruro, el hidrógeno se puede liberar a partir de un producto químico seco mediante la adición de agua. El hidrógeno se puede proporcionar también a partir de una fuente remota, por medio de una tubería de hidrógeno, por ejemplo. En general, el hidrógeno usado en una célula de combustible no hibridado es sustancialmente combustible hidrógeno "puro", significando que el combustible está sustancialmente libre de componentes no hidrógeno, particularmente cualquier componente que pudiera ser perjudicial para la célula de combustible.

Primera realización

Una realización de un sistema de generación de reformador de combustible/célula de combustible integrado se ilustra esquemáticamente en la Figura 1. Un quemador que recibe suministros de aire/vapor 12, combustible 14 y preferiblemente escape del ánodo de la célula de combustible reciclado 16 y los quemados para crear un escape caliente 20. Cualquiera o todas las entradas del quemador (aire, combustible y escape de la célula de combustible reciclado) se pueden recalentar mediante el intercambio de calor en cualquier zona adecuada que contenga calor a ser eliminado. En particular, típicamente se recalienta el flujo de aire/vapor 12, como se describe a continuación.

El escape expulsa su calor a un reformador 24 mediante el contacto del escape con las paredes del reformador y/o mediante otros tipos de intercambio de calor, tal como el intercambiador de tipo acorazado 26 que se ilustra esquemáticamente. El reformador tiene entradas de combustible, vapor y opcionalmente oxígeno o aire, dependiendo del diseño exacto del sistema (estas entradas no están etiquetadas por claridad). El intercambiador de calor 26 puede tener opcionalmente provisiones de intercambio de calor adicional 28 para el sobrecalentamiento del aire/vapor antes de su inyección en el quemador en 12. El escape del quemador parcialmente refrigerado 30 pasa

entonces a través de un expansor 32, a partir del que se recupera la energía mecánica. Una localización alternativa para el expansor se muestra en 22. Esta configuración se usa preferiblemente con combustibles fácilmente reformados.

5 El escape pasa entonces a través de un intercambiador de calor 34 y a continuación dentro de un condensador 36 para capturar el agua para su reciclado y se descarga el gas residual. El agua reciclada 38 se recupera en un depósito 40 que se conecta a una bomba 42, que suministra el agua a la célula de combustible 44. El agua se suministra también al depósito desde otras localizaciones en el sistema en las que se recupera.

10 El reformado 50 se pasa a través de un sistema de eliminación del monóxido de carbono 52, a menos que la célula de combustible no requiera la eliminación del CO. El sistema de eliminación del CO puede tener entradas de vapor, agua o aire (no marcadas) y tiene una salida de reformado o hidrógeno de bajo CO 54. En el último caso puede haber también una salida de reformado de hidrógeno reducido 53, que, cuando está presente, se recicla al quemador 10. El gas que contiene hidrógeno 54 se pasa a continuación a través de un intercambiador de calor opcional 56. El intercambiador de calor 56 puede incorporar o estar suplementado por un condensador para eliminar el agua del gas. El intercambiador de calor 56 es opcional, particularmente si el dispositivo de eliminación del CO es un PSA (aparato de absorción de oscilaciones de presión) o separador de membrana. El reformado o hidrógeno entra a continuación en la célula de combustible 44, opcionalmente a través de un reductor de presión 58. El escape 60 del lado del ánodo de la célula de combustible se recicla a la entrada del quemador 16.

20 La célula de combustible 44 recibe agua presurizada de la bomba 42. El agua pasa a través del intercambiador de calor 46 en la célula de combustible, proporcionando de ese modo refrigeración para eliminar el calor generado por la célula de combustible. El agua de refrigeración pasa a un mezclador 62. En el mezclador, el agua de refrigeración caliente se mezcla con aire comprimido suministrado por un compresor 64 y el agua se evapora, transfiriendo su calor latente de evaporación a la mezcla de aire/vapor resultante. La cantidad de aire comprimido suministrada es típicamente al menos el 100% por encima de la cantidad estequiométrica requerida por el consumo de hidrógeno a plena potencia. El agua que no se evapora, si hay alguna, se recicla a través de un radiador opcional 66 al depósito de agua 40. Alternativamente, parte o toda esa agua se inyecta dentro de la mezcla de aire/vapor después de que haya pasado a través de la célula de combustible.

30 El aire comprimido y opcionalmente saturado desde el mezclador 62 entra en la célula de combustible 44 en una entrada 68 para proporcionar oxidante al compartimento del cátodo de la célula de combustible. La mezcla de aire/vapor 70 sale de la célula de combustible en la salida 72 y se calienta mediante intercambio con componentes del sistema. Por ejemplo, se puede calentar mediante intercambio con el reformado 50, a través del intercambiador de calor 56 o a través de un intercambiador de calor (no ilustrado) en una localización entre el sistema de eliminación del CO 52 y el reformador 24. El calor a baja temperatura se puede recuperar también en cualquiera de los varios condensadores, tal como el condensador 36, antes de entrar en la etapa de calentamiento a alta temperatura. La mezcla de aire/vapor 70 puede opcionalmente también ser recalentada mediante intercambiadores de calor en la sección de eliminación del CO 52. Se puede añadir agua adicional a la mezcla de aire/vapor en la parte de baja temperatura del sistema, es decir, desde la salida de la célula de combustible hacia aproximadamente la parte de entrada del intercambiador de calor 34, para facilitar la absorción de calor. La adición de agua a partes más calientes del recorrido del aire/vapor es posible pero menos ventajosa.

45 La mezcla de aire/vapor 70 se eleva entonces a una temperatura superior mediante un intercambio de calor con el escape del quemador en el intercambiador de calor 34. La etapa de intercambio de calor recupera la mayor parte del calor desde el escape del quemador después de que sale del reformador y el expansor y prepara el escape para su condensación para la recuperación del agua. La mezcla de aire/vapor sale de los intercambiadores de calor de escape como vapor sobrecalentado. Cualquier agua líquida residual en la mezcla de aire/vapor se elimina y recicla preferiblemente, por ejemplo hacia el depósito 40, antes del sobrecalentamiento del vapor. Como una etapa de calentamiento adicional opcional, la mezcla de aire/vapor se sobrecalienta adicionalmente, por ejemplo mediante intercambio con el escape por encima del expansor 28 o con el reformado en 50.

50 Finalmente la mezcla de aire/vapor se alimenta al interior del quemador en la entrada de aire/vapor 12, mezclada con una o más corrientes de combustible, reformado reciclado y escape del ánodo, y se queman para tener gas de escape del quemador a alta temperatura, típicamente aproximadamente a 1150°C (2000°F). En el ciclo conjunto de la invención, el gas de escape del quemador se carga con vapor y se presurizada aún por encima de la presión atmosférica. Esto crea un potencial de expansión adicional comparado con una corriente de escape de quemador que no contenga vapor y este potencial de expansión extra se puede capturar mediante un expansor 32, tal como una turbina.

60 El expansor 32 se puede situar en cualquier punto en el recorrido del escape del quemador, pero ciertas localizaciones están favorecidas por el perfil de temperatura del sistema particular. En el sistema mostrado, una localización preferida para el expansor 32 es después de que el escape haya calentado al reformador 24. Esto permite que el escape, con una temperatura inicial de 1150°C (2000°F) o más, caliente el reformador hasta una temperatura de aproximadamente 770 - 1000°C (1400 - 1800°F). El escape, ahora a aproximadamente 770 - 890°C (1400 - 1600°F), está ahora suficientemente frío para accionar un expansor convencional, tal como un expansor de

turbina de clase de automoción. Es termodinámicamente ventajoso hacer funcionar el expansor a una temperatura tan alta como sea posible.

5 El expansor se usa para producir una salida de potencia mecánica. Se puede utilizar una toma de potencia 82 del expansor, por ejemplo, para accionar un generador eléctrico para producir energía eléctrica y de ese modo
 10 suplementar la producción de energía del sistema de la célula de combustible. Esto puede ser particularmente importante durante el arranque del sistema y durante los transitorios del sistema para aumentar la potencia, en los que un rápido incremento en el potencial de accionamiento eléctrico proporcionado por el expansor puede compensar el relativamente lento calentamiento y respuesta del sistema de reforma en su conjunto. La rapidez de
 15 respuesta es particularmente importante en aplicaciones de transporte. La potencia desde el expansor puede en su lugar o adicionalmente usarse para accionar componentes mecánicos del sistema, tales como una bomba o un compresor.

20 Después de la expansión en la turbina u otro expansor, el escape se refrigera mediante su expansión a aproximadamente 110 a 120°C (200 - 400°F) y está a aproximadamente a la presión atmosférica. A continuación el escape calienta la mezcla de vapor/aire entrante en el intercambiador de calor 34, lo que también separa cualquier exceso de agua de la mezcla de aire/agua/vapor, después de lo que el escape se pasa a través de un condensador 36 para recuperar el agua. El agua se devuelve al depósito, completando el ciclo. El escape sale del sistema en 160.

25 El radiador de condensación 36 u otro aparato de recuperación del agua puede no ser necesario en todos los sistemas, tales como sistemas de generación fijos o en otras aplicaciones en las que la recuperación del agua no es necesaria o no es deseable.

30 Para aplicaciones en las que es deseable la recuperación del agua, tales como aplicaciones móviles, será importante asegurar que el punto de rocío en el escape es suficientemente alto para permitir una recuperación de agua eficiente. Cuando la temperatura ambiente es baja, por ejemplo 25°C o menos, entonces la condensación del agua a partir de una corriente de escape de 60°C es fácil de conseguir. Sin embargo, cuando la temperatura ambiente alcanza temperaturas más altas, tales como 40°C, la recuperación del agua se hace más difícil. La solución usual a este problema es dimensionar el radiador para el peor caso esperado de temperatura ambiente, pero esto puede ser poco práctico y caro, especialmente en un sistema móvil. Debido a que el sistema de la presente invención esta presurizado, se puede usar una metodología alternativa. A temperaturas ambientes elevadas, se puede imponer selectivamente una contrapresión en la salida del escape 160 mediante, por ejemplo, una válvula variable limitadora del caudal 170. La contrapresión eleva el punto de rocío de la corriente de escape, debido a que la concentración volumétrica de saturación del agua en el aire disminuye con el aumento de la presión de
 35 aire, haciendo de ese modo más fácilmente recuperable el agua en el escape. Por ejemplo, si el sistema se hace funcionar a 4 atmósferas, una contrapresión de 0,5 atmósferas puede incrementar el punto de rocío en 10 a 20°C, lo que permite la recuperación eficiente a temperaturas ambientes más altas sin aumentar el tamaño del radiador. Hay una penalización para esta contrapresión en términos de una eficiencia disminuida del sistema, dado que hay menor caída de presión a través del expansor. Sin embargo, la contrapresión se puede regular para que sea la mínima requerida para recuperar suficiente agua bajo las condiciones ambientales, permitiendo así que el sistema (por
 40 ejemplo, en automóviles) funcione en varias condiciones de temperatura y climáticas mientras mantiene la máxima eficiencia posible bajo estas condiciones.

45 Segunda realización

Se muestra en la Fig. 2 una segunda realización del ejemplo del sistema de generación de reformador de combustible/célula de combustible integrados. Esta realización es similar a la realización mostrada en la Fig. 1, excepto en que aquí, la mezcla de aire/vapor presurizada se produce (al menos en parte) mediante inyección directa de agua en la pila de células de combustible. El agua a ser inyectada alcanza la doble función de humidificación del
 50 aire del cátodo, así como de refrigeración de la célula de combustible. La inyección de agua directa para la humidificación/refrigeración de la célula de combustible se describe con mayor detalle en la Solicitud de Patente Internacional común con la presente N° PCT/EPO/03171 (Publicación N° WO 00/63992), la inyección de agua directa se puede usar como suplemento, incluso en sustitución, del bucle de refrigeración de la célula de combustible descrito previamente. Como se muestra en la Fig. 2, el saturador/mezclador 62 (de la Fig. 1) ha sido
 55 sustituido por un inyector 80 y una bomba 81. El agua se suministra al inyector 80 en una cantidad deseada mediante la bomba 81 y el agua se inyecta en la pila de células de combustible. El agua se puede inyectar también en un aparato separado para la mezcla con el aire del cátodo antes de que el agua y el aire del cátodo se inyecten juntos en la célula de combustible. La cantidad de agua que se inyecta se puede determinar por el controlador del sistema de modo que se suministre suficiente agua para eliminar suficiente calor de la pila, por medio de la evaporación del agua, para equilibrar la temperatura de la pila en un nivel predeterminado. Esta evaporación también saturará sustancialmente completamente el aire del cátodo, produciendo así una corriente de escape cargada de vapor 70 desde la pila. Si es necesario, se puede añadir agua adicional a la corriente de aire/vapor 70 en otros puntos del sistema. Por ejemplo, se puede evaporar agua adicional en la corriente 70 en los intercambiadores de calor 56 ó 34, usando el calor del reformado 54 y el del escape del quemador 30, respectivamente. Es posible
 60 también emplear simultáneamente un bucle de refrigeración junto con la inyección de agua directa, lo que proporciona capacidades de gestión del calor bajo una amplia variedad de condiciones, tales como cuando no está

siendo usado el quemador 10.

Eficiencias de las realizaciones anteriores

5 Los cálculos de la cantidad de eficiencia adicional del sistema indican que es posible un aumento significativo con el sistema completo de recuperación de calor de la célula de combustible que se muestra en el presente documento. Los valores exactos dependen del modo de funcionamiento del sistema y de numerosas variables adicionales. Los números típicos para eficiencia del sistema de sistemas móviles están en intervalos de aproximadamente 30 - 35%. La recuperación de la mitad del valor de la energía del calor de desecho de la célula de combustible puede elevar la eficiencia del sistema en al menos el 5%, más típicamente el 15% o más, por ejemplo desde una eficiencia del sistema del 35% al 41% (una ganancia del 15% en eficiencia). Es posible la recuperación de proporciones más elevadas del calor de desecho de la célula de combustible y puede elevar adicionalmente la eficiencia. Unas eficiencias más elevadas pueden requerir un suministro de aire adicional, que, como se ha indicado anteriormente, puede no pasar necesariamente a través de la célula de combustible.

15 Además de las ganancias de eficiencia realizadas recuperando el calor desde la célula de combustible mediante la evaporación del agua usando ese vapor para accionar un expansor, se debería indicar que el uso del escape expandido para recalentar las alimentaciones al quemador también impulsa la eficiencia. Esto se lleva a cabo proporcionando un 100% de recuperación de la energía del combustible requerida para accionar el expansor. Solamente, con un recuperador separado, la entrada de energía usada para accionar un expansor no puede ser completamente recuperada.

25 Para comprender cómo es esto posible, considérese el intercambiador de calor 34 en la Fig. 1, que actúa como el recuperador del expansor en la disposición descrita. El aire/vapor de entrada 70 está a una temperatura particular, por ejemplo 95°C (200°F) y la temperatura de diseño de la salida al condensador 36 está, por ejemplo a 205°C (400°F). Si no hay expansor en el sistema, el escape del quemador entrará en el intercambiador de calor 34 a aproximadamente 890°C (1600°F) y la mezcla de aire/vapor saldrá del recuperador a aproximadamente 760°C (1400°F). La ineficiencia de esta etapa se establece en el diseño. Sin embargo, si hay un expansor 32 en el sistema, entonces el escape del quemador entrará en el recuperador a una temperatura inferior, aproximadamente a 720°C (1300°F). El aire/vapor saldrá entonces del recuperador a solamente aproximadamente 610°C (1100°F). La diferencia de 165°C (300°F) se establece por la combustión de combustible adicional en el quemador de modo que el escape del quemador saldrá del quemador 10 y calentará el reformador 24 a aproximadamente 1000 - 1100°C (1800 - 2000°F). Sin embargo, esta energía es exactamente la energía que se recupera en el expansor, dado que el escape cae desde 890 a 720°C (desde 1600 a 1300°F) al pasar a través del expansor. Por lo tanto, debido a que se recupera todo el calor añadido para accionar el expansor, el expansor es efectivamente el 100% eficiente, comparado con un sistema sin expansor.

35 Es por ello particularmente ventajoso en esta realización del ciclo conjunto usar un intercambiador de calor que funciona entre la alimentación de aire/vapor y el escape del quemador, como el recuperador primario para el expansor.

45 Las ganancias de eficiencia en estos intervalos son significativas en tres formas. Primero, la eficiencia del sistema que incorpora el ciclo conjunto puede aproximarse a la del motor de combustión interna del ciclo de descenso, mientras que mantienen las ventajas de una célula de combustible en términos de bajas emisiones. Segundo, el ciclo conjunto, que emite menos calor al ambiente, permite el uso de células de combustible y generador de combustible más pequeñas para una potencia de salida dada, ahorrando peso y costes. Tercero, una eficiencia más alta se traduce directamente en medios de evacuación del calor más pequeños, tal como un radiador o condensador, para un nivel de salida dado. Dado que los efectos segundo y tercero se multiplican, la reducción en el área del radiador es potencialmente muy significativa.

50 Un principio clave en el ciclo conjunto es la extracción de energía a partir del calor “de desecho” a baja temperatura, particularmente el calor de desecho del funcionamiento de la célula de combustible mediante su uso para evaporar agua dentro del aire comprimido. La mezcla resultante de aire/vapor o aire/vapor/agua se calienta a continuación, en cualquier forma conveniente y se inyecta finalmente bajo presión a alta temperatura en un expansor. El expansor se aprovecha para crear trabajo mecánico. El trabajo mecánico neto generado corresponde al calor latente comunicado a la mezcla de aire/vapor/agua —y restada del agua de refrigeración y otros similares— mediante la evaporación del agua. El calor latente absorbido es la base de la ganancia de energía neta conseguida mediante el uso del ciclo conjunto.

60 El ciclo conjunto, que es la combinación de la evaporación, calentamiento y expansión como se ha descrito anteriormente, es, en principio, adecuado para la mejora de la eficiencia de cualquier sistema de generación basado en células de combustible. Su complejidad extra se justifica mejor cuando el calor de desecho a ser recuperado está a una baja temperatura, de modo que sea difícil usar el calor de desecho para realizar directamente vapor. Es particularmente ventajoso para una célula de combustible de PEM, en la que la temperatura de funcionamiento superior está típicamente por debajo de aproximadamente 100°C. Nótese, sin embargo, que una aplicación de ciclo conjunto para una temperatura más alta de las membranas de PEM extrae mayores ganancias por medio del

funcionamiento a presión superior con más vapor.

Se pueden requerir adaptaciones y se contemplan opciones como particularmente en los detalles de la transferencia e intercambio de calor, dependiendo de los tipos exactos de los módulos que componen el sistema. El reformador se ha ilustrado en la realización de la Fig. 1 como un reformador de vapor, pero se puede usar al menos alguna oxidación parcial tanto en un módulo separado como en el modo de reactor autotérmico. El sistema de eliminación del monóxido de carbono puede ser una composición de una combinación de gas en el agua y una oxidación preferencial o puede ser por medio de un PSA, un TSA o una metanización preferencial o una membrana selectiva de hidrógeno, con o sin una combinación de gas en el agua. Cualquier expansor es útil en principio, pero una turbina es la opción preferida en términos de expansores pequeños, ligeros, disponibles comercialmente que funcionen en el intervalo de 550 - 1150°C (1000 - 2000°F).

Ha sido mucho tiempo un objetivo del desarrollo de la tecnología de células de combustible el aumento de la eficiencia del sistema. Por ello, las modificaciones a un sistema de reformador de combustible/célula de combustible proporcionado por la incorporación del ciclo conjunto de la invención son significativas y se espera que mejoren el éxito comercial de los sistemas de reformador/célula de combustible integrados.

Tercera realización

El "ciclo conjunto" se puede aplicar también a sistemas que no contienen un reformador. Mediante la adición de un quemador para quemar combustible residual desde el ánodo y mediante el uso del calor de desecho de la célula de combustible para evaporar agua en el aire comprimido, se puede proporcionar una corriente de escape cargada de vapor hacia un expansor, permitiendo de este modo la captura del calor de desecho como energía mecánica.

Un ejemplo de un sistema de generación de célula de combustible de hidrógeno "puro" no hibridado de la invención se ilustra esquemáticamente en la Fig. 3. Una pila de células de combustible 110, tal como una pila de PEM, tiene un compartimento de ánodo 112, un compartimento de cátodo 114 y un aparato de refrigeración 116. El ánodo 112 es alimentado con hidrógeno desde una fuente presurizada 120, tal como un tanque de almacenamiento. Se suministra al cátodo 114 un gas que contenga oxígeno, que comprende preferiblemente una mezcla de aire/vapor presurizada. Las reacciones electroquímicas entre el hidrógeno y los reactivos que contienen oxígeno de la célula de combustible producen una salida de energía eléctrica.

Además de la energía eléctrica útil, la célula de combustible también genera calor de desecho, que se elimina de la pila de células de combustible mediante el aparato de refrigeración 116. El aparato de refrigeración 116 comprende generalmente una sección de un bucle de refrigeración 130 en contacto térmico con las secciones del cátodo 114 y del ánodo 112 de la célula de combustible 110. El agua de refrigeración presurizada, accionada por la bomba 132, se hace circular a través del aparato de refrigeración 116. El calor de desecho de la célula de combustible 110 se transfiere al agua de refrigeración, a temperatura más baja, que se bombea a continuación fuera de la célula de combustible 100 para eliminar el calor de desecho de la célula. Después de salir de la célula de combustible 110, el agua de refrigeración calentada se alimenta a un saturador 134. El saturador 134 recibe también, por medio de la línea 136, aire desde una entrada de aire 122 que se ha presurizado mediante el compresor 124. El agua caliente (alrededor de 60 - 70 °C) desde el bucle de refrigeración 130 se evapora parcialmente en el aire comprimido 136, produciendo una mezcla saturada de aire y vapor. La evaporación del agua caliente en un gas presurizado, que es típicamente aire u otro oxidante, se denomina generalmente como una "ebullición a presión parcial".

El agua se puede calentar directamente como refrigerante, o indirectamente mediante intercambio de calor con un refrigerante o un escape. El agua se presuriza y mezcla con aire presurizado para saturar parcial o completamente el aire con agua a aproximadamente la temperatura del refrigerante, o menor. Se comprenderá que la ebullición a presión parcial del agua de refrigeración en aire presurizado se puede realizar en el saturador externo 134 como se muestra en la Fig. 1, o dentro de la pila de células de combustible 110 (como se describe con más detalle a continuación). También, parte o toda la ebullición a presión parcial puede ocurrir opcionalmente aguas abajo de la pila de células de combustible 110, en lugar de antes de que la corriente de aire presurizado entre en el cátodo como se muestra en la Fig. 1.

Volviendo a la realización de la Fig. 3, el aire saturado de agua se transporta al cátodo de la célula de combustible 114 por medio de la línea 138, donde sirve como el reactivo oxidante para la célula de combustible. La mezcla de aire-vapor sale entonces de la célula de combustible como escape y el escape humidificado del cátodo 56 se transporta a un quemador 140.

En esta realización, el lado del ánodo de la pila 112 se hace funcionar típicamente en un modo de "camino sin salida"; esto es, la salida del ánodo está cerrada mediante una válvula de purga 119 que abre a intervalos de tiempo para liberar del escape del ánodo 118, que incluye agua condensada junto con algo de hidrógeno sin usar, de la pila. Como el escape del cátodo 146, el escape del ánodo purgado 118 se alimenta también al quemador 140.

En el quemador 140, cualquier hidrógeno contenido en el escape del ánodo 118 se quema con la mezcla de vapor/aire del escape del cátodo 56 para producir una corriente de escape cargada de vapor a alta temperatura 142.

El quemador 140 se alimenta también preferiblemente con combustible hidrógeno adicional desde el suministro 120, que entra a través de la válvula de regulación controlable 126. Opcionalmente, se puede usar un combustible desde otra fuente, incluyendo combustible no hidrógeno, para proporcionar cualquier combustible adicional a un quemador que se requiera más allá de lo que se suministra mediante el escape del ánodo.

5 En general, la cantidad de combustible necesario para hacer funcionar el quemador (incluyendo tanto el combustible del escape del ánodo como cualquier otro combustible) es hasta aproximadamente un medio de la cantidad de combustible necesario para la célula de combustible. Para alimentar el quemador con combustible, la célula de combustible se pueda configurar para proporcionar una cantidad significativa de derivación del hidrógeno al quemador (es decir la célula de combustible no necesita necesariamente ser operada en un modo de "camino sin salida"). Esto reduce la cantidad de área requerida del electrodo de membrana para una cierta salida de potencia y por lo tanto reduce el coste del sistema de generación, dado que el área del electrodo es un coste de capital significativo del sistema, debido al platino y a otros materiales costosos en el catalizador.

15 Desde el quemador 142, la corriente de escape cargada de vapor presurizado 140 se expande a continuación a través del expansor 144, típicamente una turbina, para producir energía mecánica. La energía mecánica del expansor 144 se puede usar para accionar el compresor 124 que proporciona la corriente de aire presurizado 136. La energía mecánica desde el expansor 144 se podría usar también, por medio de la toma 82, para accionar un generador eléctrico para producir energía eléctrica y/o para accionar componentes mecánicos del sistema, tal como una bomba o un compresor y/o suplementar de otra forma la potencia de salida del sistema. Se prefiere la colocación del expansor como el siguiente componente aguas abajo del quemador, pero si el expansor no puede tolerar una temperatura tan elevada, el escape del quemador puede refrigerarse primero ligeramente mediante intercambio de calor con un fluido de circulación adecuado como por ejemplo, el combustible que entra desde la válvula 126, o la corriente de aire-vapor 146 desde el intercambiador de calor 148, antes de que el escape entre en el expansor 144.

La corriente de escape de aire-vapor presurizado desde el cátodo 136 se precalienta preferiblemente antes de que entre en el quemador 140. Como se muestra en la Fig. 1, por ejemplo, la corriente de escape del cátodo de aire-vapor 146 se calienta en el intercambiador/recuperador de calor 148 mediante el intercambio de calor con el escape de la turbina expandido 150. Opcionalmente, el precalentamiento de las entradas al quemador podría tener lugar mediante intercambio de calor con el escape antes de que se expanda (no ilustrado), como una alternativa o además del precalentamiento de las entradas al quemador por medio del intercambio de calor con el escape después de que haya sido expandido. Mientras que parte de la energía generada en el expansor se perdería mediante intercambio de calor con la corriente de escape previamente a la expansión, el escape refrigerado puede permitir que se usen expansores menos caros.

Finalmente, la corriente de escape refrigerada 152, tras haber pasado a través del intercambiador de calor de precalentamiento 58, se pasa preferiblemente a través de un radiador de condensación 154 para recuperar el agua. El agua desde el radiador de condensación 154 se recicla a un depósito 156 y se suministra al saturador 134 mediante una bomba 158. La corriente de escape refrigerado 160 sale del sistema en la salida de escape 160. También, de modo similar a las realizaciones de las Figs. 1 y 2, se puede imponer selectivamente una contrapresión sobre la salida del escape 160 mediante, por ejemplo, una válvula variable de restricción del flujo 170. La contrapresión eleva el punto de rocío de la corriente de escape (debido a que la concentración volumétrica de saturación del agua en aire disminuye con el aumento de la presión de aire), haciendo de ese modo que el agua en el escape sea más fácilmente recuperable en entornos de temperatura ambiente elevada.

Se comprenderá que el radiador de condensación 154 u otros aparatos de recuperación del agua pueden no ser necesarios en todos los sistemas, tal como en sistemas de generación estacionarios o en otras aplicaciones en las que la recuperación del agua no es necesaria o deseable.

La invención tiene ventajas significativas sobre un sistema de célula de combustible de hidrógeno no hibridado convencional. Se aumenta la producción de energía neta con un tamaño de célula de combustible constante por medio de la recaptura de parte del calor de desecho de baja calidad de la pila como energía mecánica o eléctrica. Más aún, es más fácil tener un reciclado de agua completo con un tamaño de radiador razonable, debido a que el punto de rocío del escape se eleva mediante la combustión de hidrógeno extra y/u otros combustibles en el quemador y se necesita expulsar menos calor dado que parte del calor de desecho ha sido recuperado. Además, la eficiencia de la célula de combustible es más alta debido a la presurización de la corriente de aire al cátodo, mientras que la recuperación del calor por medio de la turbina compensará la potencia parásita requerida para comprimir el aire. La eficiencia del ciclo de turbina es alta debido a la suma del calor latente libre del ciclo Rankine.

Cuarta realización

Cambiando ahora a la Fig. 4, se muestra una implementación alternativa de un sistema de generación de célula de combustible de hidrógeno puro de la invención, en la que se evapora agua dentro del aire presurizado por medio de la inyección directa de agua dentro de la célula de combustible para conseguir tanto humidificación como refrigeración. En este ejemplo, similar a la realización de la Fig. 2, el bloque de refrigeración del saturador 132 de la

Fig. 3 se ha sustituido por un mezclador inyector 180, alimentado con agua desde el depósito 156 mediante la bomba 158'. El inyector mezcla el agua con aire presurizado desde el compresor 124 e inyecta la mezcla agua-aire dentro del cátodo 114 de la célula de combustible 110. El agua refrigera y humidifica la célula de combustible y al menos una parte del agua se evapora dentro del aire del cátodo para producir la mezcla de aire/vapor presurizado 146 que se usa por el quemador 140. La inyección/mezcla se puede realizar en un aparato separado 180, como se muestra aquí, o el agua se puede inyectar directamente en la pila para mezclarse con el aire del cátodo presurizado. Si es necesario, se puede evaporar agua adicional dentro del escape del cátodo 146, tanto antes como dentro del recuperador 148, usando el calor desde el escape del quemador. Son posibles disposiciones intermedias, en las que se proporciona también un bucle de refrigeración para permitir una gestión del calor bajo una amplia variedad de condiciones, por ejemplo, cuando el quemador no está siendo usado.

Otros componentes y características del sistema

Donde es deseable o requerido el intercambio de calor en cualquiera de las realizaciones de la invención descritas anteriormente, será adecuado cualquier método de intercambio de calor o transferencia de calor conocido o, usado por los expertos en la técnica, para la presente invención. Donde sea posible, la integración de los módulos en una o más carcasas comunes es una forma efectiva de proporcionar una transferencia de calor eficiente. Por ello, se puede disponer una zona de reforma anularmente alrededor o dentro en la zona del quemador. Además, se puede transferir calor entre zonas mediante intercambiadores de calor convencionales, tal como tubos u otras construcciones huecas y mediante dispositivos pasivos tales como aletas.

También, aunque cualquier tipo de expansor es, en principio, utilizable en el aumento de la eficiencia del sistema, el uso de una turbina como un expansor es preferido actualmente en las realizaciones descritas anteriormente. La ventaja de una turbina es que están disponibles turbinas que pueden funcionar fiablemente a elevadas temperaturas, tal como 650 - 900°C (aproximadamente 1200 - 1600°F), que es similar a o por debajo de las temperaturas preferidas para la catálisis de una reacción de reforma, cuando se usan combustibles tales como gasolina, propano o metano. Para otros combustibles, tales como metanol, la temperatura de la reacción de reforma puede ser más baja. El funcionamiento del expansor a temperaturas tan altas como sea posible se prefiere intensamente a obtener un trabajo mecánico neto máximo, es decir, trabajo adicional al trabajo gastado para comprimir el aire al comienzo del proceso de recaptura del calor de desecho. Una turbina tiene una desventaja potencial en que su eficiencia tiene un pico brusco a un caudal de gas particular. En el sistema de la invención, esto se puede compensar mediante el dimensionamiento del intercambiador de calor aire comprimido/agua para eliminar aproximadamente del 40% al 50% del exceso del calor de la célula de combustible generado a carga máxima. Entonces el flujo de aire comprimido dentro del sistema se puede mantener a nivel constante, desde aproximadamente el 40% de plena potencia hasta el 100% de la potencia, manteniendo la eficiencia de recuperación del calor de desecho. El resto del calor de desecho se puede eliminar mediante métodos de intercambio de calor convencionales.

Alternativamente, la inyección adicional de agua dentro de la línea de aire/vapor después de la célula de combustible y antes de la inyección dentro del quemador, incluyendo el agua especialmente usada para la refrigeración de la célula de combustible o calentada en otra forma mientras se realiza un intercambio de calor, permite la captura adicional de la energía a baja temperatura, mientras que se mantiene el flujo volumétrico en un intervalo apropiado para el expansor. Más aún, si el caudal de aire preferido completo produciría el secado en una pila de combustible, tal como la célula de combustible de PEM, entonces una parte del aire comprimido o aire/vapor puede contornear la célula de combustible y unirse al escape del cátodo más allá de la célula de combustible para calentamiento.

Los requisitos de alta temperatura controlan la localización del expansor en el sistema. La temperatura en el expansor debería ser tan alta como sea posible para una eficiencia máxima. Con turbinas metálicas convencionales, ésta está en el intervalo de aproximadamente 450 a 900°C (1000 - 1600°F), siendo preferido de 720 a 830°C (1300 - 1500°F). Esto implica que la turbina no puede exponerse directamente al escape, que está típicamente a aproximadamente de 1000 a 1150°C (1800 - 2000°F). Por lo tanto, el escape se usa primero preferiblemente para calentar un reformador, cuando hay uno presente (como en las Realizaciones 1 y 2, descritas anteriormente) y a continuación se expande en la turbina. También es preferible para maximizar la temperatura de la reacción de reforma. Sin embargo, con un combustible que sea inestable y fácil de reformar a bajas temperaturas, como el metanol, entonces podría ser preferible usar un expansor capaz de funcionar a temperaturas más altas en el intervalo de aproximadamente 850°C hasta 1150°C (1600 - 2000°F), tal como una turbina cerámica y localizarlo como el primer componente aguas abajo del quemador. Entonces el gas más frío se debería usar para calentar el reformador. Aunque menos disponibles, se pueden usar en la invención otros expansores tolerantes a altas temperaturas, particularmente expansores de presión positiva, para la recuperación de la energía de la mezcla de aire/vapor calentado en el escape del quemador.

Una forma alternativa de proporcionar hidrógeno sin tener un reformador es la oxidación directa de combustibles en el ánodo. El metanol es particularmente adecuado para tal aplicación, aunque se pueden usar otros alcoholes. (Véase, por ejemplo, el documento US 6.423.203 para una descripción de tales usos.) Estas células de combustible "sin reformador" pueden beneficiarse en eficiencia por los sistemas descritos anteriormente para células de combustible con hidrógeno "puro". Habrá un menor calor de desecho disponible, hasta el punto de que parte del

- calor de desecho se consume en la reforma en el sitio del combustible del ánodo. Sin embargo, la conversión es en muchos casos menos eficiente que en una célula de combustible alimentada con hidrógeno o reformado, de modo que el escape del ánodo puede suministrar una proporción más elevada de suministro del combustible requerido para el quemador. Puede suministrar también parte del agua evaporada, hasta el punto de que el combustible puede contener parte de agua o, si está prevaporizado, vapor de agua. En tal caso, la célula de combustible "directa" se puede considerar que es su propia fuente de hidrógeno, y por ello cae dentro de los límites de la invención cuando tales realizaciones proporcionan eficiencias mejoradas que se pueden implementar suficientemente para recuperar los costes extra del quemador y expensor.
- 5
- 10 En tanto que esta invención se ha mostrado y descrito particularmente con referencia a las realizaciones preferidas de la misma, se comprenderá por los expertos en la técnica que se pueden realizar varios cambios en las formas y detalles sin separarse del alcance de la invención englobada por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de generación de células de combustible que comprende:
 - 5 una célula de combustible que comprende un ánodo y un cátodo;
una fuente de gas hidrógeno, siendo proporcionado el hidrógeno al ánodo de la célula de combustible;
un compresor para la creación de una corriente de aire presurizado, siendo proporcionada la corriente de aire presurizado al cátodo de la célula de combustible, reaccionando la corriente de aire presurizada del cátodo y el gas hidrógeno del ánodo en la membrana de la célula de combustible para producir una salida de energía eléctrica y calor de desecho;
 - 10 un suministro líquido en comunicación para fluidos con la corriente de aire presurizada, siendo calentado al menos una parte del líquido de suministro por el calor de desecho del sistema de generación y evaporándose dentro de la corriente de aire presurizado para producir una mezcla presurizada de aire y vapor, siendo inyectado directamente el líquido del suministro en la célula de combustible;
 - 15 un quemador que quema un combustible con la mezcla de aire/vapor presurizada para producir una corriente de escape que contiene vapor;
 - un expansor en comunicación para fluidos con el quemador, siendo accionado el expansor por la corriente de escape que contiene vapor para producir una salida de potencia que excede la potencia requerida para presurizar el aire y
 - 20 una toma de potencia del exceso de potencia desde el expansor.
2. El sistema de la reivindicación 1, en el que la toma de potencia se usa para accionar un generador eléctrico.
3. El sistema de la reivindicación 1, en el que la toma de potencia se usa para accionar al menos un componente del sistema de generación.
4. El sistema de la reivindicación 3 en el que el al menos un componente del sistema comprende al menos uno de entre el compresor y una bomba.
5. El sistema de la reivindicación 1, en el que el expansor comprende una turbina.
6. El sistema de la reivindicación 1, en el que la fuente de hidrógeno comprende un reformador de combustible.
7. El sistema de la reivindicación 6, en el que el quemador proporciona calor para una reacción de reforma del combustible.
8. El sistema de la reivindicación 1, en el que la fuente de hidrógeno comprende un combustible que es al menos parcialmente reformado para producir directamente hidrógeno en o cerca de una membrana de la célula de combustible.
9. El sistema de la reivindicación 1, en el que la célula de combustible comprende una célula de combustible de hidrógeno no hibridado.
10. El sistema de la reivindicación 9, en el que la fuente de hidrógeno comprende una fuente de hidrógeno almacenado.
11. El sistema de la reivindicación 9, en el que el combustible quemado por el quemador comprende gas hidrógeno sin reaccionar del ánodo.
12. El sistema de la reivindicación 9, en el que el combustible quemado por el quemador comprende combustible desde una fuente distinta a la del ánodo de la célula de combustible.
13. El sistema de la reivindicación 12, en el que el combustible adicional comprende hidrógeno y la fuente comprende la fuente del gas hidrógeno.
14. El sistema de la reivindicación 13, que comprende además una válvula de regulación para proporcionar selectivamente al quemador gas hidrógeno desde la fuente.
15. El sistema de la reivindicación 11, que comprende además una válvula de purga para proporcionar de modo selectivo al quemador el escape desde el ánodo de la célula de combustible.
16. El sistema de la reivindicación 9, que comprende además un intercambiador de calor para la transferencia de calor desde el escape del quemador a al menos un fluido.
17. El sistema de la reivindicación 16, en el que el fluido comprende una entrada del quemador.

18. El sistema de la reivindicación 16, en el que el intercambiador de calor transfiere calor desde el escape del quemador después de que el escape haya pasado a través del expansor.
- 5 19. El sistema de la reivindicación 16, en el que el intercambiador de calor transfiere calor desde el escape del quemador antes de que el escape haya pasado a través del expansor.
20. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además un radiador de condensación para la recuperación del vapor desde el escape del quemador previamente a la descarga del escape desde el sistema.
- 10 21. El sistema de la reivindicación 20, que comprende además un aparato para la aplicación de modo selectivo de una contrapresión al escape del quemador para facilitar la recuperación del vapor en el escape del quemador.
- 15 22. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además un fluido de refrigeración que circula a través del sistema para la eliminación del calor de desecho de la célula de combustible.
23. El sistema de la reivindicación 22, en el que la fuente de líquido evaporado en el aire presurizado comprende el fluido de refrigeración.
- 20 24. El sistema de la reivindicación 22, en el que la fuente de líquido evaporado en el aire presurizado se calienta por el calor de desecho desde el fluido de refrigeración.
- 25 25. El sistema de la reivindicación 1, en el que el líquido se evapora dentro de la corriente de aire presurizada dentro de la célula de combustible.
26. El sistema de la reivindicación 1, en el que la célula de combustible tiene una temperatura de funcionamiento de menos de aproximadamente 200°C.
27. El sistema de la reivindicación 1, en el que la célula de combustible es una célula de combustible de PEM.
- 30 28. Un método para el funcionamiento eficiente de un sistema de generación de células de combustible que comprende:
- 35 el suministro de gas hidrógeno desde una fuente al ánodo de una célula de combustible;
la compresión del gas que contiene oxígeno para producir una corriente de aire presurizado
el suministro del aire presurizado al cátodo de una célula de combustible;
la reacción del gas hidrógeno y el aire presurizado en la célula de combustible para producir una salida de energía eléctrica y calor de desecho;
la inyección de un líquido directamente en la célula de combustible y la evaporación del líquido en el aire presurizado dentro de la célula de combustible para producir una mezcla de aire/vapor presurizada;
40 la combustión del combustible con la mezcla de aire/vapor presurizada para producir una corriente de escape que contiene vapor a alta temperatura y
la expansión de la corriente de escape que contiene vapor a alta temperatura a través de un expansor para producir una salida de potencia en exceso a la potencia requerida para proporcionar la corriente de aire presurizado y
45 la toma del exceso de potencia desde el expansor.
29. El método de la reivindicación 28, en el que la toma de la potencia en exceso comprende el uso de la potencia para accionar un generador eléctrico.
- 50 30. El método de la reivindicación 28, en el que la toma de la potencia en exceso comprende el accionamiento de un componente del sistema de generación.
31. El método de la reivindicación 30, en el que el componente comprende al menos uno de entre una bomba y un compresor.
- 55 32. El método de la reivindicación 28, en el que el expansor comprende una turbina.
33. El método de la reivindicación 28, en el que la etapa de la evaporación del líquido dentro del aire presurizado tiene lugar antes de que la corriente de aire entre en la célula de combustible.
- 60 34. El método de la reivindicación 28, en el que la etapa de la evaporación del líquido dentro del aire presurizado tiene lugar dentro de la célula de combustible.
- 65 35. El método de la reivindicación 28, que comprende además la circulación de un fluido de refrigeración dentro del sistema para eliminar el calor de desecho de la célula de combustible y el uso del calor de desecho del fluido de refrigeración en circulación para evaporar líquido dentro del aire presurizado.

36. El método de la reivindicación 35, en el que el líquido evaporado dentro del aire presurizado comprende fluido de refrigeración en circulación.
- 5 37. El método de la reivindicación 28, en el que la célula de combustible tiene una temperatura de funcionamiento de aproximadamente 200°C o menor.
38. El método de la reivindicación 28, en el que la célula de combustible es una célula de combustible de PEM.
- 10 39. El método de la reivindicación 28, en el que el sistema comprende un sistema de generación de célula de combustible hibridado y en el que la fuente de hidrógeno es un reformador de combustible.
40. El método de la reivindicación 28, en el que la fuente de hidrógeno comprende un combustible que se reforma al menos parcialmente para producir hidrógeno directamente en o cerca de una membrana de la célula de combustible.
- 15 41. El método de la reivindicación 28, en el que el sistema comprende un sistema de generación de célula de combustible de hidrógeno no hibridado.
42. El método de la reivindicación 41, en el que la fuente de hidrógeno comprende una fuente de hidrógeno almacenado.
- 20 43. El método de la reivindicación 41, que comprende además:
- 25 la descarga del escape desde el ánodo de la célula de combustible, incluyendo el escape hidrógeno sin reaccionar y la combustión del hidrógeno sin reaccionar con la mezcla de aire/vapor presurizado para producir la corriente de escape que contiene vapor a alta temperatura.
44. El método de la reivindicación 41, en el que el combustible quemado con la mezcla de aire/vapor presurizado comprende combustible desde una fuente distinta a la del ánodo de la célula de combustible.
- 30 45. Al método de la reivindicación 44, en el que el combustible comprende hidrógeno y la fuente comprende la fuente de gas hidrógeno.
46. El método de la reivindicación 41, que comprende además el precalentamiento de al menos uno de entre combustible y la mezcla de aire/vapor presurizada previamente a la combustión.
- 35 47. El método de la reivindicación 46, en el que la etapa de precalentamiento comprende proporcionar calor desde la corriente de escape que contiene vapor a alta temperatura.
- 40 48. El método de la reivindicación 28, que comprende además la recuperación del vapor condensado desde la corriente de escape previamente a la descarga del escape desde el sistema.
- 45 49. El método de la reivindicación 48, que comprende además la aplicación de modo selectivo de una contrapresión a la corriente de escape para facilitar la recuperación del vapor condensado desde el escape.
50. Un sistema de generación de célula de combustible de hidrógeno no hibridado que comprende:
- 50 una célula de combustible que comprende un ánodo y un cátodo;
una fuente de gas hidrógeno, siendo suministrado el gas hidrógeno al ánodo de la célula de combustible, no siendo suministrado el hidrógeno mediante una unidad de reforma de combustible local separada;
un compresor para la creación de una corriente de aire presurizada, siendo suministrada la corriente de aire presurizada al cátodo de la célula de combustible, reaccionando la corriente de aire presurizada del cátodo y el gas hidrógeno del ánodo en la membrana de la célula de combustible para producir una salida de energía eléctrica y calor de desecho;
- 55 un suministro líquido en comunicación para fluidos con la corriente de aire presurizada, siendo calentado al menos una parte del líquido del suministro por el calor de desecho del sistema de generación y evaporándose dentro de la corriente de aire presurizado para producir una mezcla presurizada de aire y vapor, siendo inyectado directamente el líquido del suministro en la célula de combustible;
- 60 un quemador que quema un combustible con la mezcla de aire/vapor presurizada para producir una corriente de escape que contiene vapor;
- un expansor en comunicación para fluidos con el quemador, siendo accionado el expansor por la corriente de escape que contiene vapor para producir una salida de potencia.
- 65 51. El sistema de la reivindicación 50, en el que la fuente de gas hidrógeno comprende una fuente de hidrógeno almacenado.

52. El sistema de la reivindicación 50, en el que la fuente de gas hidrógeno comprende un combustible que se convierte en hidrógeno directamente en o cerca de una membrana de la célula de combustible.

5 53. Un método para el funcionamiento eficiente de un sistema de generación de célula de combustible de hidrógeno no hibridado que comprende:

10 el suministro de gas hidrógeno desde una fuente a un ánodo de una célula de combustible, no siendo proporcionado el hidrógeno por una unidad de reforma del combustible local separada;
la compresión del gas que contiene oxígeno para producir una corriente de aire presurizado; suministrando el
15 aire presurizado a un cátodo de una célula de combustible;
la reacción del gas hidrógeno y el aire presurizado en la célula de combustible para producir una salida de energía eléctrica y calor de desecho;
la inyección de un líquido directamente en la célula de combustible y la evaporación del líquido en el aire presurizado dentro de la célula de combustible para producir una mezcla de aire/vapor presurizada;
15 la combustión de un combustible con la mezcla de aire/vapor presurizada para producir una corriente de escape que contiene vapor a alta temperatura y
la expansión de la corriente de escape que contiene vapor a alta temperatura a través de un expansor para producir una salida de potencia.

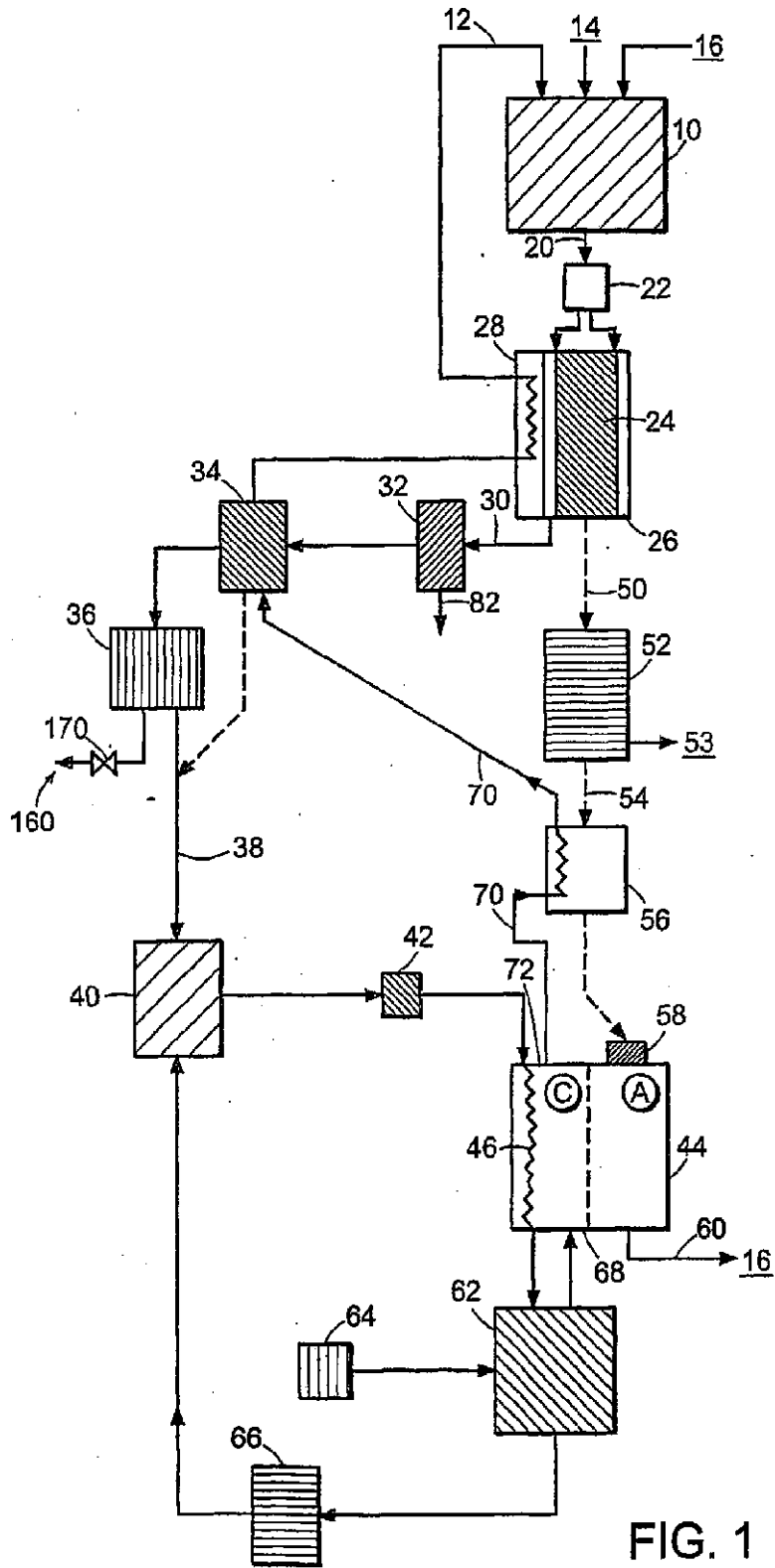


FIG. 1

(técnica anterior)

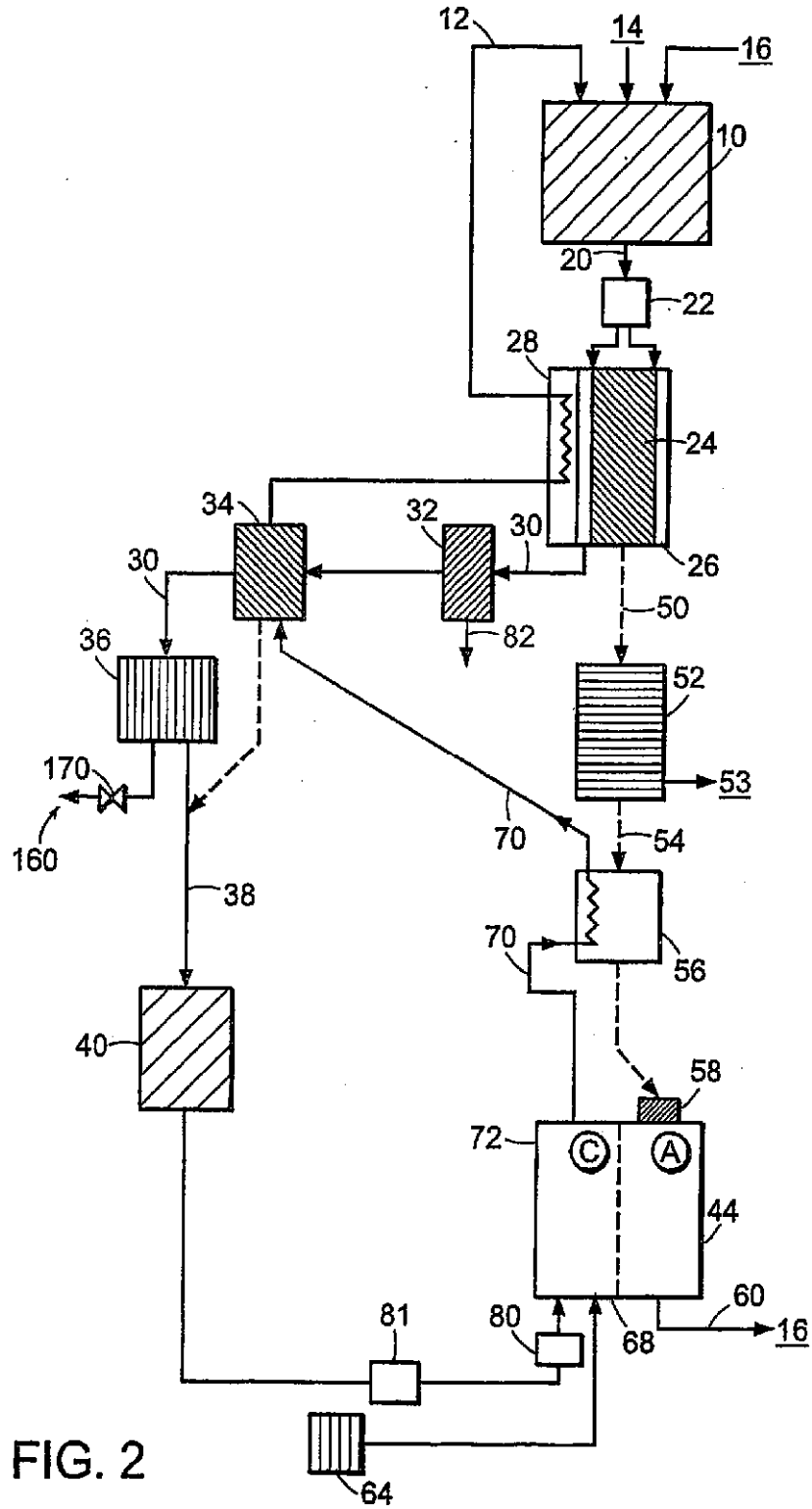


FIG. 2

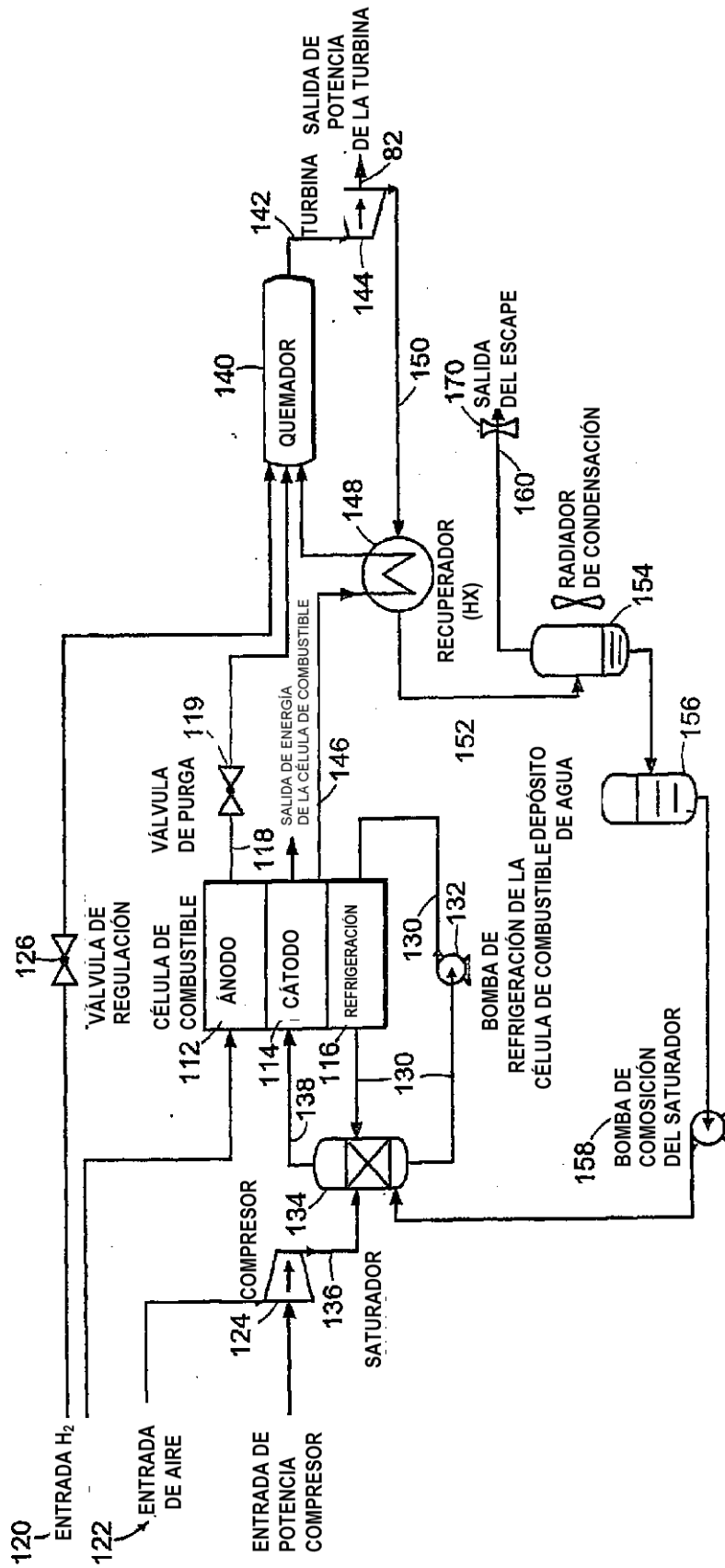


FIG. 3

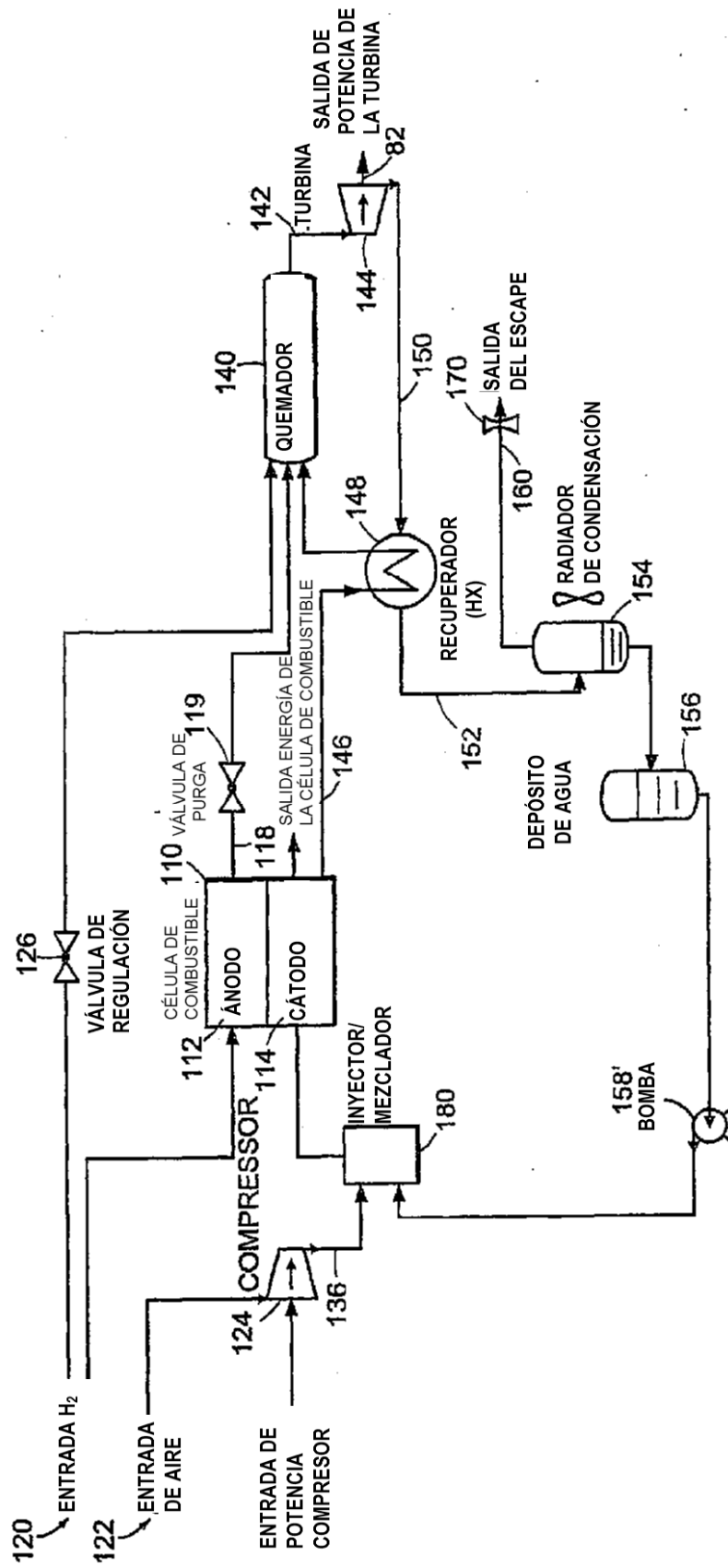


FIG. 4