

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 727**

51 Int. Cl.:

H01M 8/04 (2006.01)
H01M 8/06 (2006.01)
C01B 3/32 (2006.01)
C01B 3/38 (2006.01)
C10L 3/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.08.2010 E 10172211 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **09.02.2011 EP 2282369**

54 Título: **Dispositivo de producción de electricidad y de calor que incluye una pila de combustible que admite al menos metano como combustible**

30 Prioridad:

06.08.2009 FR 0955541

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

05.02.2013

73 Titular/es:

**CELL, FRANCO (100.0%)
1 Rue du Mur du Parc
78240 Chambourcy, FR**

72 Inventor/es:

**COUTURIER, FRANÇOIS;
ESCABASSE, EDMOND;
LEMARIGNIER, MARC y
ALLOTEAU, FANNY**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 394 727 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

Dispositivo de producción de electricidad y de calor, que incluye una pila de combustible que admite al menos metano como combustible

5 La presente invención se refiere a un dispositivo de producción de energía, que comprende una pila de combustible que admite al menos metano como combustible, así como una fuente de metano para la pila. Estos últimos años, el interés provocado por las pilas de combustible se ha incrementado debido a su producción de energía no contaminante y a su eficacia eléctrica superior a la producción mediante motores y turbinas térmicas.

10 En efecto, en el seno de una pila de combustible, la producción de electricidad se realiza por oxidación sobre un electrodo de un combustible reductor, unido a la reducción sobre otro electrodo de un oxidante, y genera mayoritariamente agua.

Además, una pila de combustible que admite principalmente metano como combustible, presenta, con relación a las alimentadas directamente por dihidrógeno, la ventaja de resolver los problemas ligados a la producción, al transporte y al almacenamiento del dihidrógeno. Este tipo de pila se describe en el documento EP 1 768 027.

15 La primera fuente de metano disponible es el gas natural, que contiene más del 80% de metano. Sin embargo, aunque estén extendidas por la tierra varias fuentes de gas natural, ciertas zonas geográficas se encuentran con la imposibilidad de ser alimentadas por gas. Además, a pesar de la abundancia del gas natural, no deja de ser una fuente agotable que las actuales preocupaciones medioambientales preconizan ahorrar. Finalmente las emisiones de CO₂ ligadas a la utilización de gas natural en los procedimientos de producción energética contribuyen al incremento de las emisiones de CO₂ fósil y por tanto al incremento del efecto invernadero.

20 Otra vía de producción de metano, la metanización, se ha comprobado igualmente insatisfactoria puesto que el metano fabricado durante este procedimiento por las materias orgánicas, lo es frecuentemente de manera discontinua ocasionando en consecuencia una alimentación irregular de la pila. Por otro lado, los gases resultantes de los procesos de metanización pueden presentar unas variaciones importantes de su composición debido a los fenómenos de inestabilidad inherentes a las características esencialmente biológicas del proceso.

25 Para las zonas geográficas aisladas de las grandes redes eléctricas y muy fuertemente dependientes de aprovisionamientos de hidrocarburos no existe, a día de hoy, una solución de producción de energía renovable de múltiples megavatios con una base de alto rendimiento eléctrico excepto la hidráulica, la geotérmica y la energía marina para lo que todas requieren unos entornos geográficos muy particulares.

La invención viene a paliar estos inconvenientes.

30 Con este fin, la invención se refiere un dispositivo de producción de energía, que incluye una pila de combustible que admite al menos metano como combustible, así como la fuente de metano para la pila de acuerdo con la reivindicación 1.

De acuerdo con la invención, el dispositivo comprende una unidad de transformación de un alcohol en metano que alimenta al menos de metano la pila de combustible.

35 De acuerdo con otra característica de la invención, la pila de combustible admite como combustible una mezcla de metano y de vapor de agua a una temperatura y una presión predeterminadas, y la unidad de transformación transforma una mezcla gaseosa de etanol y de agua en una mezcla de metano y vapor de agua para la alimentación de la pila, siendo la presión de la mezcla gaseosa de metano y de vapor de agua, resultante de la unidad de transformación, superior a la presión de la mezcla de metano y vapor de agua admitida por la pila, explotada como
40 fuente secundaria de energía.

De acuerdo con otra característica, la presión de la mezcla gaseosa de metano y vapor de agua resultante de la unidad de transformación (11) es superior a 2 bar.

De acuerdo con otra característica, la presión de la mezcla gaseosa de metano y vapor de agua resultante de la unidad de transformación (11) está comprendida entre 10 y 40 bar.

45 De acuerdo con otra característica, la unidad de transformación es un reformador y la presión de la mezcla gaseosa de metano y vapor de agua que sale del reformador es sensiblemente igual a la presión de la mezcla gaseosa de etanol y agua admitida por el reformador, comprendiendo el dispositivo una unidad para poner a presión una mezcla líquida de etanol y de agua, adecuada para suministrar una mezcla gaseosa presurizada de etanol y de agua a presión superior a la de la mezcla de metano y vapor de agua admitida por la pila y unos medios de calentamiento
50 de la mezcla gaseosa presurizada de etanol y de agua.

De acuerdo con otra característica, para explotar la presión superior de la mezcla gaseosa que sale del reformador, el dispositivo comprende una turbina de conversión en electricidad interpuesta entre la unidad de transformación y la pila.

De acuerdo con otra característica, la temperatura de la mezcla de metano y vapor de agua producida por el reformador es superior a la de la mezcla de metano y vapor de agua admitida por la pila y explotada como fuente secundaria de energía.

5 De acuerdo con otra característica, para explotar el calor producido por el reformador, el dispositivo comprende un intercambiador térmico interpuesto entre el reformador y la pila.

De acuerdo con otra característica, el reformador es la sede de una reacción exotérmica, y porque el calor desprendido por esta reacción exotérmica se transfiere, mediante un intercambiador térmico, hacia la mezcla de etanol y de agua admitida en el seno del reformador para calentar esa mezcla.

10 De acuerdo con otra característica, el reformador comprende un lecho catalítico a base de metal, preferentemente níquel.

Preferentemente, la mitad del calor producido por la pila se utiliza para el calentamiento de la mezcla de agua y de etanol durante su paso en el circuito de entrada de la unidad de transformación.

Ventajosamente, el dispositivo comprende un intercambiador térmico entre una segunda parte del calor producido por la pila de alta temperatura y un primer receptor de calor.

15 En este caso, el receptor de calor es una turbina de conversión en electricidad de la segunda parte del calor producido por la pila de alta temperatura y/o un intercambiador térmico.

De otro modo, el receptor del calor es un sistema de desalinización de agua de mar que utiliza la segunda parte del calor producido por la pila de alta temperatura.

20 Además, el dispositivo comprende una recirculación de la mezcla gaseosa producida por la pila hacia la mezcla de agua y de etanol que alimenta la unidad de transformación.

En este caso, la recirculación de la mezcla gaseosa producida por la pila comprende un dispositivo de depuración de la mezcla gaseosa adecuado para liberar esta mezcla gaseosa de compuestos gaseosos indeseables tales como el dióxido de carbono.

25 La invención se refiere igualmente a un procedimiento de producción de energía, a partir de un dispositivo que comprende una pila de combustible que admite como combustible una mezcla de metano y de vapor de agua a una temperatura y a una presión predeterminadas, así como una unidad de transformación de una mezcla gaseosa de etanol y de agua en una mezcla de metano y vapor de agua que alimenta la pila de acuerdo con la reivindicación 17.

30 De acuerdo con la invención, la presión de la mezcla gaseosa de metano y vapor de agua resultante de la unidad de transformación es superior a la presión de la mezcla de metano y vapor de agua admitida por la pila, comprendiendo el procedimiento una etapa de explotación de esta presión superior como fuente secundaria de energía.

La invención se refiere, además, al uso del dispositivo anteriormente definido para producir electricidad y calor y/o metano.

Más precisamente, el calor y/o la electricidad producidos pueden alimentar un dispositivo de desalinización del agua de mar y/o un dispositivo de deshidratación del etanol.

35 Igualmente, el metano producido por la unidad de transformación puede servir de sistema de apoyo a una pila de combustible que admite metano como combustible, alimentada por una fuente principal de metanización, permitiendo paliar las variaciones de flujo de los metanizadores y estabilizar la alimentación de metano.

40 La invención se comprenderá mejor y surgirán otros objetos, ventajas y características de ésta más claramente, con la lectura de la descripción a continuación, y que se realiza únicamente a título de ejemplo de realización de la invención, en relación a los dibujos adjuntos entre los que:

- la figura 1 es un esquema de principio del dispositivo de acuerdo con la invención;
- la figura 2 ilustra un ejemplo de pila de combustible que se puede utilizar en el seno del dispositivo de la figura 1.

45 En la figura 1 se representa un dispositivo de producción de energía 1 de acuerdo con la invención, incluyendo una pila de combustible 2 que admite al menos metano como combustible, así como una fuente de metano para la pila que toma la forma de la unidad de transformación o reformador 11.

Más precisamente, tal como es visible en la figura 2, una pila de combustible conveniente para ser utilizada en el seno del dispositivo de acuerdo con la invención es una pila de alta temperatura tal como una pila de combustible de carbonato fundido denominada MCFC (acrónimo de Molten Carbonate Fuel Cell para Pila) que comprende:

50 - un módulo de reformado interno 3 adecuado para hacer reaccionar a alta temperatura el vapor de agua con el

- metano para producir dihidrógeno y dióxido de carbono, mediante una reacción endotérmica,
- un compartimento anódico 6 en el que el dihidrógeno generado en el módulo de reformado interno reacciona con los iones carbonato producidos en el cátodo para generar agua, dióxido de carbono y unos electrones, mediante una reacción exotérmica,
- 5 - un compartimento catódico 7 en el que el dióxido de carbono creado en el ánodo reacciona con el oxígeno que alimenta la pila consumiendo unos electrones para formar los iones carbonato antes citados consumidos en el cátodo,
- un electrólito constituido en principio por carbonato de potasio 8, que separa los compartimentos anódico y catódico entre sí, permitiendo el paso del dióxido de carbono del ánodo al cátodo, y de los iones carbonato del
- 10 cátodo al ánodo, estando este electrólito separado él mismo de cada compartimento mediante un catalizador apropiado 9.

Como se ha mencionado anteriormente, el funcionamiento de una pila de ese tipo es limpio porque los productos de su funcionamiento son principalmente nitrógeno (aproximadamente el 60%), vapor de agua (más del 20%), oxígeno (9%) y dióxido de carbono en una menor medida (aproximadamente el 5%) sabiendo que éste se podrá eliminar durante el funcionamiento del dispositivo, tal como se describirá posteriormente.

Mientras que la pila se alimenta de metano, vapor de agua y oxígeno a una temperatura de aproximadamente 230°C y una presión del orden de 1,1 bar, es capaz de suministrar electricidad hasta un nivel de 2400-2800 kW para el ejemplo ilustrado, y constituye la fuente primaria de electricidad 10 para el dispositivo de acuerdo con la invención.

Para alimentar la pila de metano y vapor de agua, la fuente de metano elegida para el dispositivo de acuerdo con la invención comprende una unidad de transformación de una mezcla etanol-agua en una mezcla gaseosa metano-vapor de agua, a una presión superior, incluso ampliamente superior (2 a 40 veces o más) a la de la mezcla gaseosa metano-vapor de agua admitida por la pila.

Y tal como se ilustra en la figura 1, esta unidad toma la forma del reformador 11 que se monta a la entrada de la pila de combustible con el fin de aprovisionarla de metano y de vapor de agua.

Más precisamente, para su buen funcionamiento, el reformador se alimenta de una mezcla gaseosa constituida a partes aproximadamente iguales de vapor de agua y de etanol y llevada a una temperatura del orden de 350°C y una presión comprendida entre 10 y 40 bares, mediante una bomba de presurización 12 situada aguas arriba del reformador. Los datos del esquema energético de la figura 3 han sido recogidos para una presión de la mezcla etanol-agua del orden de 16 bar.

En el seno del reformador, un lecho catalítico a base de níquel, constituido por ejemplo por bolas que contienen al menos el 7% de níquel, sobre soporte de alúmina, que permite la conversión de la mezcla etanol-vapor de agua previamente calentada y presurizada. Igualmente, el catalizador descrito en la solicitud de patente GB 1 525 017, que contiene 50 a 65% en peso de níquel, conviene para acelerar la transformación de la mezcla etanol-agua, en una mezcla metano y vapor de agua. Teniendo en cuenta que esta reacción es exotérmica, reina en el seno del reformador una temperatura comprendida entre aproximadamente 350°C y 450°C.

Con un catalizador adaptado, y cuando se reúnen las condiciones de temperatura, de presión, y de dilución óptimas de la mezcla de etanol y de agua, a saber aproximadamente 350°C-450°C, entre 10 y 40 bar y una mezcla de etanol y agua a partes iguales, se recupera a la salida del reformador una mezcla que contiene:

- más del 60% de CH₄
- 40 - menos del 15% de dihidrógeno
- aproximadamente el 25% de CO₂

La constitución de esta mezcla la hace adecuada para alimentar la pila.

Además, se ha observado que los rendimientos de la pila alimentada por los gases resultantes del reformador son tanto mejores cuanto más reducida sea la proporción de la mezcla gaseosa resultante del reformador en H₂ y CO (inferior al 20%) y que la de CO₂ sea inferior al 40%.

Por ejemplo, para disminuir la proporción de H₂, es posible incrementar la presión del reformador hasta por ejemplo 40 bar. Concretamente, cuando la presión reinante en el seno del reformador es del orden de 30 bar, la composición en H₂ y CO de la mezcla gaseosa rica en metano resultante del reformador se ha medido en el 7% y los rendimientos de la pila mejorados en consecuencia.

50 La proporción en CO₂ es necesariamente inferior al 40% puesto que la de metano se busca como superior al 60%.

Esta fuente de metano presenta particularmente la ventaja de una producción regular con relación al procedimiento de metanización previamente citado, y sin requerimientos geográficos contrariamente a los de las fuentes dispersas de gas natural.

Además, el rendimiento eléctrico global del dispositivo de acuerdo con la invención es comparable al obtenido cuando la pila se alimenta con gas natural.

El rendimiento eléctrico se calcula como la relación entre la potencia eléctrica neta producida por el dispositivo respecto a la potencia térmica del etanol consumido, siendo este último expresado en PCI (Poder calorífico inferior).

- 5 El dispositivo de acuerdo con la invención se concibe para que su funcionamiento requiera tan poca energía como sea posible y para que su rendimiento energético sea también importante incluso superior al de los dispositivos existentes.

10 Para conseguir este objetivo, se explotan las diferentes fuentes de calor naturalmente creadas por el funcionamiento del dispositivo de acuerdo con la invención con el fin de utilizarlas para el calentamiento de la mezcla etanol y agua aguas abajo de ésta, y se crean unas fuentes de energía eléctricas primarias suplementarias.

Aprovechamiento del calor:

En efecto, es posible aprovechar el calor generado por una fuente de calor no consumidora de energía, tal como el calor generado durante el funcionamiento del dispositivo en sí, explotando el carácter exotérmico de la reacción en el seno del reformador que ya ha sido mencionado.

- 15 En efecto, como lo representa la flecha representada por 18 en la figura 1, el calor generado en el seno del núcleo del reformador se reutiliza para contribuir al recalentamiento a 350°C de la mezcla gaseosa de etanol y vapor de agua durante su paso en el circuito de entrada del reformador.

20 El calor excedentario generado por la reacción de reformado en el seno del núcleo del reformador se evacúa hacia el circuito de entrada de la mezcla gaseosa de etanol y vapor de agua permitiendo, por un lado, mantener constante la temperatura del núcleo del reformador entre unos valores óptimos gracias a los que se obtiene el 60% como mínimo de metano en la salida y, por otro lado, reducir las aportaciones energéticas externas para el recalentamiento de la mezcla gaseosa de etanol y agua antes de su paso al núcleo del reformador. La elección del intervalo de temperatura de funcionamiento y el mantenimiento de una temperatura constante en el seno del núcleo del reformador evitan una degradación del catalizador utilizado.

- 25 Con el fin de contribuir también a regular la temperatura de funcionamiento del reformador, es posible, tal como lo representa esquemáticamente la línea discontinua indicada por 20 en la figura 1, introducir una reducida cantidad de agua y de etanol en el núcleo del reformador (menos del 20% de los productos de admisión del reformador) aunque se presenten bajo una forma líquida.

30 Igualmente, el calor de la mezcla gaseosa producida por el reformador a 400°C, aunque la temperatura de la mezcla admitida por la pila debería ser del orden de 230-290°C, puede aprovecharse por medio de un intercambiador térmico, no representado, que captaría este calor y lo transferiría a otro receptor de calor.

35 Otra fuente de calor generada durante el funcionamiento del dispositivo en sí, y que se puede explotar para evitar utilizar una fuente de energía suplementaria, es el calor de la pila que se desprende durante su funcionamiento, es decir el calor de la mezcla gaseosa que produce a aproximadamente 650°C, tal como lo representan las flechas 21 a 23 de la figura 1.

Una parte de este calor, aproximadamente el 50% en el ejemplo ilustrado, se puede transferir por medio de un intercambiador térmico a la mezcla gaseosa de etanol y vapor de agua durante su paso en el circuito de entrada del reformador.

40 La conjunción de la aportación parcial del calor generado por la pila del reformador y de la explotación del calor excedentario generado por la reacción de reformado para llevar a la mezcla de etanol y vapor de agua a 350°C, sustituye parcial o totalmente, en régimen permanente de funcionamiento de la unidad, la necesidad de recurrir a una unidad de calentamiento de esta mezcla independiente del procedimiento. Este principio permite así disminuir la energía externa a suministrar para hacer funcionar el dispositivo de acuerdo con la invención.

45 Igualmente, la mezcla gaseosa producida por la pila a 650°C, permite generar dos fuentes suplementarias de calor 22 y 28 que participan en el incremento del rendimiento energético global del dispositivo de acuerdo con la invención.

50 Por ejemplo, una segunda parte del calor producido por la pila se puede utilizar, como lo indica la flecha 22 representada en la figura 1, para alimentar un intercambiador térmico 23 ligado a un receptor de calor que puede ser un intercambiador de calor 23 de un dispositivo distinto, tal como un dispositivo de desalinización de agua de mar o un dispositivo de deshidratación del etanol.

El receptor de calor puede estar constituido igualmente por una turbina adecuada para convertir este calor en electricidad de manera que cree una fuente de electricidad suplementaria, tal como se describe mejor a continuación.

Una vez que el calor de la pila se ha redirigido hacia la entrada del reformador de acuerdo con la flecha 21, y hacia el intercambiador térmico 23 de acuerdo con la flecha 22, el calor restante se puede utilizar para precalentar el agua y el etanol aguas arriba del reformador.

5 El agua y el etanol pueden de ese modo ser precalentados aunque se presenten los dos en forma líquida, tal como se representa por la flecha 28 de la figura 1, es decir aguas arriba de la bomba 22, o bien una vez presurizados a 10-40 bares por la bomba 12, no siendo ilustrada esta variante en la figura 1.

Creación de fuentes de energías eléctricas suplementarias:

10 Con relación a los dispositivos que utilizan unas fuentes de metano del tipo conocido, el dispositivo de acuerdo con la invención permite generar, como lo ilustra la figura 1, unas fuentes secundarias de electricidad secundaria 16 y 26, que vienen a complementar la producción de electricidad primaria de la pila 10.

Más precisamente, como se ha mencionado anteriormente, y para las necesidades de producción para el reformador de una mezcla gaseosa tan rica en metano y tan pobre en dihidrógeno como sea posible, la mezcla de etanol y de agua admitida por el reformador es altamente presurizada a más de 2 bares y preferentemente entre 10 y 40 bares.

15 Se debe observar que la fase de presurización de la mezcla de etanol y agua no consume energía enormemente puesto que los elementos a someter a presión se presentan en forma líquida.

Una vez que esta mezcla se ha presurizado y precalentado, se introduce en el seno del reformador. Y como la presión que reina en el seno del reformador es relativamente constante, la mezcla gaseosa rica en metano que sale de este reformador presenta igualmente una presión superior a 2 bares y preferentemente del orden de 10 a 40 bares.

20 La presión de la mezcla gaseosa rica en metano resultante del reformador es por tanto relativamente elevada con relación a la presión del orden de 1 bar de la mezcla gaseosa admitida por la pila. Por otro lado, la mezcla gaseosa a la salida reformador está a una temperatura sensiblemente superior a la temperatura de admisión en la pila.

Son estas características de presión y de temperatura superiores a las admitidas por la pila las que serán explotadas para crear una primera fuente secundaria de electricidad.

25 Para explotar estas características de presión y de temperatura excedentarias, es ventajoso por tanto interponer entre la salida del reformador 11 y la entrada de la pila de combustible 3 una turbina de expansión 15.

En el ejemplo representado, la turbina permite descomprimir la mezcla gaseosa rica en metano de 16 a 1,1 bar, de lo que resulta una bajada de la temperatura de esa mezcla de 400°C a 230-290°C y una producción de electricidad de una potencia del orden de 230 kW.

30 La turbina 15 constituye así una primera fuente secundaria de electricidad 16 que genera una potencia eléctrica suplementaria a la generada por la pila viniendo a añadirse a esta energía eléctrica primaria 10.

Esta primera fuente secundaria de electricidad 16, aporta así una contribución suplementaria y no despreciable a la electricidad suministrada por la pila 3.

35 En el ejemplo ilustrado en el que la presión en el seno del reformador es del orden de 16 bares, la energía eléctrica suplementaria producida por la turbina representa aproximadamente el 10% de la energía eléctrica producida por la pila únicamente, e incrementa de ese modo en aproximadamente 5 puntos el rendimiento eléctrico global del dispositivo de acuerdo con la invención.

40 Otra manera de utilizar la energía de la mezcla gaseosa rica en metano resultante del reformador, y más particularmente su temperatura del orden de 400°C que es muy superior a la de la mezcla admitida por la pila, es interponer entre el reformador y la pila, un intercambiador de calor que permita una transferencia de este calor excedentario hacia un receptor de calor, no estando ilustrada esta variante en las figuras.

De acuerdo con la diferencia en temperatura y presión de la mezcla gaseosa que sale del reformador y los admitidos por la pila, se podrá utilizar o bien una turbina, o bien una turbina y un intercambiador térmico en el que estén los dos montados en paralelo.

45 Por el contrario, cuando la temperatura y la presión de la mezcla gaseosa resultante del reformador son iguales a los admitidos por la pila, es posible una utilización directa por la pila de esta mezcla.

50 Una segunda fuente secundaria de electricidad se puede crear gracias incluso al calor de la mezcla gaseosa que sale a aproximadamente 650°C de la pila. En efecto, se puede montar una turbina de cogeneración 24 del tipo máquina de Rankine, adecuada para transformar este calor en electricidad, aguas arriba de la pila, después de un intercambiador térmico 23 o sin un intercambiador 23 de ese tipo, y crear de ese modo una fuente secundaria de electricidad 26.

- En el ejemplo representado, la turbina de cogeneración 24 produce energía eléctrica con una potencia de aproximadamente 210 kW, lo que representa un excedente de aproximadamente el 10% con relación a la potencia eléctrica generada por la pila solamente. Dado que el intercambiador térmico 23 y la turbina de cogeneración 24 consumen poca o incluso ninguna energía para su funcionamiento, la segunda fuente secundaria de electricidad 26 que éstos forman incrementa incluso en aproximadamente 5 puntos el rendimiento eléctrico global del dispositivo de acuerdo con la invención.
- Estas dos fuentes de energía eléctrica suplementarias 16 y 26 que vienen a añadirse a la fuente primaria de electricidad 10 que constituye la pila, permiten al dispositivo de acuerdo con la invención tener un rendimiento eléctrico superior al 55%.
- Es posible recuperar los productos resultantes de la turbina de cogeneración 24 que están a una temperatura del orden de 120°C, como fuente de calor moderada, para, por ejemplo, recalentar la mezcla de agua y etanol aguas arriba del reformador.
- En este caso, el agua contenida en estos productos se puede explotar para alimentar la mezcla de agua y etanol aguas arriba del reformador después de la desgasificación (supresión de CO₂) y purificación.
- De otro modo, es posible utilizar esta fuente de calor moderado en combinación con otro intercambiador térmico.
- Gracias a la utilización del calor generado por la pila para generar las fuentes secundarias de electricidad 16, 26 y las fuentes de calor 18, 21, 28 útiles para el funcionamiento interno del dispositivo, el rendimiento global energético del dispositivo de acuerdo con la invención, a saber la relación entre la energía producida por el dispositivo y la energía consumida, es importante.
- Además, al menos una parte del agua necesaria para el funcionamiento del dispositivo es la resultante de la mezcla gaseosa rechazada por la pila que se recircula a través de la línea de recirculación 30 representada en la figura 1.
- Esta mezcla, que contiene nitrógeno y dióxido de carbono además del vapor de agua puede sufrir idealmente una etapa de purificación y de desgasificación del CO₂.
- En relación con el etanol, éste se puede obtener ventajosamente a partir de plantas de crecimiento rápido tales como las cañas de azúcar, de las que se obtiene el azúcar de caña, que por fermentación produce el etanol en forma líquida e hidratada.
- El hecho de que las plantas a partir de las que se fabrica el etanol tengan un crecimiento rápido les hace unos recursos renovables.
- El etanol constituye por tanto un biocombustible preferencial entre los otros alcoholes que puedan alimentar un reformador con el fin de que produzca metano, porque puede ser fabricado en gran cantidad y no es nocivo para el ambiente.
- El dispositivo tal como se ha descrito anteriormente presenta diferentes ventajas entre las que:
- La unidad de transformación realiza la formación de vapor bajo presión de una mezcla agua/etanol. El gas de síntesis resultante de la unidad de transformación se inyecta en una turbina de expansión conectada a ella misma a un dispositivo de producción de electricidad adicional. A la salida de su paso por la turbina de expansión, la presión del gas de síntesis se vuelve a descender hasta un valor comprendido entre 1 y 1,5 bares. Esta operación produce una ganancia energética que es una ventaja de la invención,
 - Esta instalación se distingue particularmente por un rendimiento eléctrico superior al 55% gracias a una concepción que optimiza su eficacia termodinámica de punta a punta,
 - Está concebida para reducir toda aportación exterior de agua necesaria para el funcionamiento del procedimiento,
 - La combinación en la misma instalación del uso de un biocombustible, de una pila caliente que utiliza las propiedades oxidantes del aire (en la inyección sobre el cátodo), permite la concentración en los efluentes del sistema, en la forma de CO₂, de una parte del carbono contenido en el biocombustible y por otro lado del carbono presente bajo forma de CO₂ en el aire inyectado en la pila, ofreciendo la posibilidad de acceder a un balance de carbono negativo después del secuestro del carbono contenido en los efluentes gaseosos,
 - El hecho de implicar una fuente de metano de flujo relativamente constante, y de utilizar unas materias primas, el agua y el etanol, renovables,
 - el hecho de obtener un rendimiento eléctrico similar al obtenido con un dispositivo que incluye una pila de combustible alimentada con gas natural, cuando la mezcla gaseosa admitida en el seno del reformador se calienta por el calor mismo de la pila,
 - el hecho de poder calentar la mezcla gaseosa admitida en el seno del reformador mediante otra fuente de energía disponible en el lugar de la instalación del dispositivo de acuerdo con la invención, tal como un conducto que transporte vapor a alta temperatura,
 - el hecho de incrementar incluso este rendimiento eléctrico utilizando el calor desarrollado durante el funcionamiento del reformador y una parte de la pila, para crear unas fuentes secundarias de energía,

- el hecho de que una de sus materias primas, el agua, sea uno de los productos resultantes de la pila durante el funcionamiento y que se pueda recircular,
- el hecho de que otra materia prima, el etanol, sea una fuente renovable, pudiendo presentar unas tasas de hidratación superiores al 50% a imagen del etanol industrial, sin perjudicar el funcionamiento del dispositivo, puesto que la otra materia prima está constituida justamente por agua.,
- el hecho de que los productos generados durante el funcionamiento del dispositivo sean inofensivos para el ambiente,
- la posibilidad para la constitución de la pila de combustible, de utilizar una pila disponible comercialmente del tipo MCFC en el interior de la cual, los módulos de hidratación, de desulfuración y de conversión de los hidrocarburos, útiles cuando la pila se alimenta con gas natural, pero que no son necesarios cuando está alimentada por la mezcla gaseosa resultante del reformador del dispositivo de acuerdo con la invención, se cortocircuitarán y no se conservará más que el módulo de reformado interno del metano en dihidrógeno y los compartimentos anódicos y catódicos de la pila,
- la ventaja de utilizar una pila que incluye un reformado interno para alimentar directamente el compartimento anódico con dihidrógeno, lo que evita el almacenamiento y el transporte del dihidrógeno producido por un reformador externo, permite una transmisión completa del dihidrógeno producido durante el reformado interno, al compartimento anódico de la pila debido el hecho de la proximidad del módulo de reformado interno con el compartimento anódico, y desplaza de ese modo el equilibrio químico de la reacción desarrollada en el ánodo en el sentido del consumo del dihidrógeno y de ese modo en el sentido de producción de electricidad. Igualmente, el reformado interno mejora el balance térmico de la pila puesto que incluye entonces la reacción endotérmica (metano + agua -> dihidrógeno) a saber la del reformado interno, así como una reacción exotérmica (dihidrógeno + ion carbonato -> agua + dióxido de carbono) que viene a suministrar el calor necesario para la reacción de reformado interno, consumiendo esta última de ese modo el calor desprendido por el consumo del dihidrógeno. Se incrementan por lo tanto los rendimientos de la pila.
- igualmente ventajosos, los diferentes aprovechamientos posibles de la energía térmica excedentaria producida por el sistema de pila de combustible:
 - * Para la alimentación de un procedimiento de desalinización del agua de mar,
 - * Para la producción de electricidad adicional,
 - * Para la alimentación de un procedimiento de deshidratación del etanol.

30

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de producción de energía, que comprende una pila de combustible a alta temperatura que admite como combustible una mezcla de metano y vapor de agua a una temperatura y una presión predeterminadas, así como una unidad de transformación de una mezcla gaseosa de etanol y de agua en una mezcla de metano y vapor de agua para alimentar la pila, **caracterizado porque** la presión de la mezcla gaseosa de metano y vapor de agua resultante de la unidad de transformación (11) es superior a la presión de la mezcla de metano y vapor de agua admitida por la pila, explotada como fuente secundaria de energía.
2. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la presión de la mezcla gaseosa de metano y vapor de agua resultante de la unidad de transformación (11) es superior a 2 bares.
3. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** la presión de la mezcla gaseosa de metano y vapor de agua resultante de la unidad de transformación (11) está comprendida entre 10 y 40 bares.
4. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la unidad de transformación es un reformador y **porque** la presión de la mezcla gaseosa de metano y vapor de agua que sale del reformador es sensiblemente igual a la presión de la mezcla gaseosa de etanol y agua admitida por el reformador, comprendiendo el dispositivo una unidad (12) para poner a presión una mezcla líquida de etanol y de agua, adecuada para suministrar una mezcla gaseosa presurizada de etanol y de agua a presión superior a la de la mezcla de metano y vapor de agua admitida por la pila y unos medios de calentamiento de la mezcla gaseosa presurizada de etanol y de agua.
5. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado porque** para explotar la presión superior de la mezcla gaseosa que sale del reformador, el dispositivo comprende una turbina de conversión (15) en electricidad (16) interpuesta entre la unidad de transformación (11) y la pila (3).
6. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 4 ó 5, **caracterizado porque** la temperatura de la mezcla de metano y vapor de agua producida por el reformador (11) es superior a la de la mezcla de metano y vapor de agua admitida por la pila y explotada como fuente secundaria de energía.
7. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** para explotar el calor producido por el reformador (11), el dispositivo comprende un intercambiador térmico interpuesto entre el reformador (11) y la pila (3).
8. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 4 a 7, **caracterizado porque** el reformador es la sede de una reacción exotérmica, y **porque** el calor desprendido por esta reacción exotérmica se transfiere, mediante un intercambiador térmico (18), hacia la mezcla de etanol y de agua admitida en el seno del reformador para calentar esa mezcla.
9. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 4 a 8, **caracterizado porque** el reformador comprende un lecho catalítico a base de metal, preferentemente níquel.
10. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** comprende un intercambiador térmico (21) que permite transferir el calor producido por la pila de combustible a la mezcla de agua y de etanol admitida en el seno de la unidad de transformación (11).
11. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado porque** aproximadamente la mitad del calor producido por la pila se utiliza para el calentamiento de la mezcla de agua y de etanol durante su paso en el circuito de entrada de la unidad de transformación (11).
12. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado porque** comprende un intercambiador térmico (23) entre una segunda parte (22) del calor producido por la pila de alta temperatura (3) y un primer receptor de calor (23, 24).
13. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 12, **caracterizado porque** el receptor de calor es una turbina de conversión en electricidad (24) de la segunda parte (22) del calor producido por la pila de alta temperatura (3) y/o un intercambiador térmico (23).
14. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 12, **caracterizado porque** el receptor del calor es un sistema de desalinización de agua de mar que utiliza la segunda parte (22) del calor producido por la pila de alta temperatura (3).
15. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizado porque** comprende una recirculación de la mezcla gaseosa producida por la pila hacia la mezcla de agua y de etanol que alimenta la unidad de transformación (11).
16. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado porque** la recirculación de la mezcla gaseosa producida por la pila comprende un dispositivo de depuración de la mezcla gaseosa adecuado para liberar esta

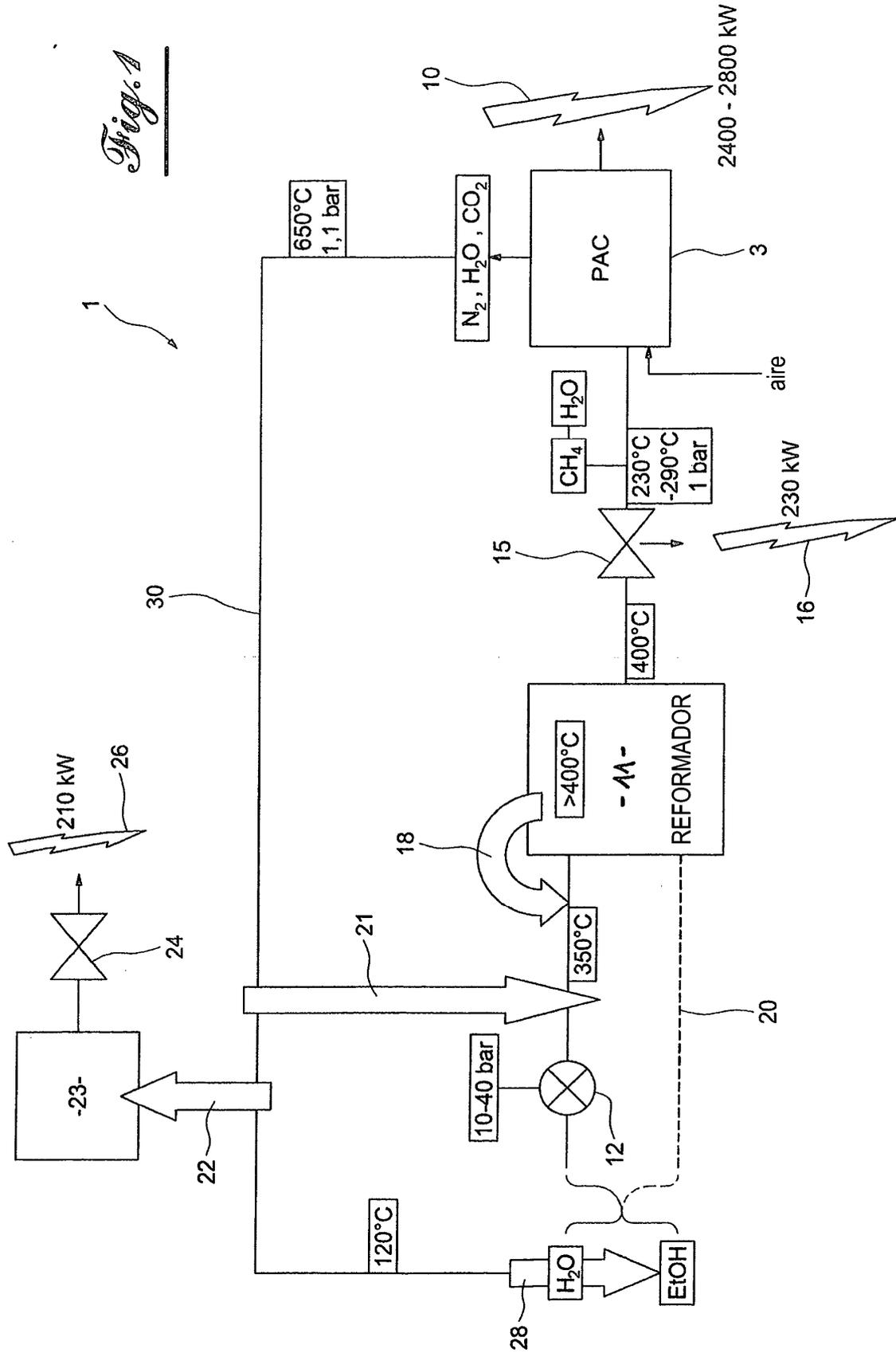
mezcla gaseosa de compuestos gaseosos indeseables tales como el dióxido de carbono.

5 17. Procedimiento de producción de energía, a partir de un dispositivo que comprende una pila de combustible de alta temperatura que admite como combustible una mezcla de metano y de vapor de agua a una temperatura y a una presión predeterminadas, así como una unidad de transformación de una mezcla gaseosa de etanol y de agua en una mezcla de metano y vapor de agua que alimenta la pila, **caracterizado porque** la presión de la mezcla gaseosa de metano y vapor de agua resultante de la unidad de transformación (11) es superior a la presión de la mezcla de metano y vapor de agua admitida por la pila, comprendiendo el procedimiento una etapa de explotación de esta presión superior como fuente secundaria de energía.

10 18. Uso del dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1a 16 para producir electricidad, calor y/o metano.

19. Uso de acuerdo con la reivindicación 18, **caracterizado porque** el calor y/o la electricidad producidos alimentan un dispositivo de desalinización del agua de mar y/o un dispositivo de deshidratación del etanol.

15 20. Uso de acuerdo con la reivindicación 18, **caracterizado porque** el metano producido por la unidad de transformación sirve de sistema de apoyo a una pila de combustible que admite metano como combustible, alimentada por una fuente principal de metanización, permitiendo paliar las variaciones de flujo de los metanizadores y estabilizar la alimentación de metano.



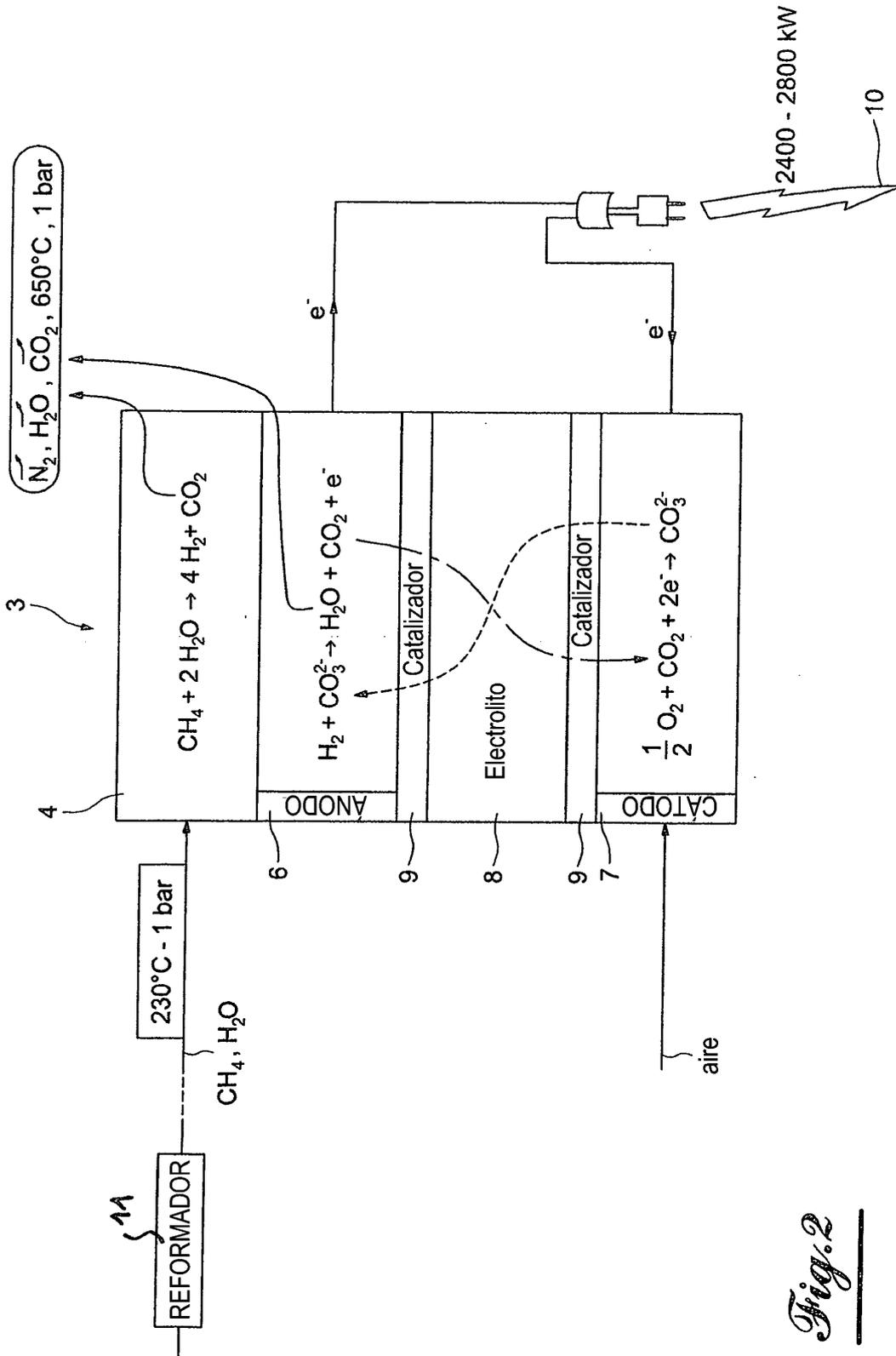


Fig. 2