

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 022 917**

51 Int. Cl.:

**C01B 3/34** (2006.01)

**C12P 3/00** (2006.01)

**C12P 5/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.07.2017 PCT/NO2017/050185**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.01.2018 WO18012983**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2017 E 17745886 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.03.2025 EP 3484811**

54 Título: **Método y dispositivo para la mejora del biogás y la producción de hidrógeno a partir de la fermentación anaeróbica de material biológico**

30 Prioridad:

**14.07.2016 NO 20161174**

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

**29.05.2025**

73 Titular/es:

**ZEG POWER AS (100.00%)  
Snarøyveien 20  
1360 Fornebu, NO**

72 Inventor/es:

**RAAHEIM, ARNE;  
MEYER, JULIEN;  
ANDRESEN, BJÖRG;  
DI GUILIO, NICOLA y  
ULLEBERG, ØYSTEIN**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 3 022 917 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**

Método y dispositivo para la mejora del biogás y la producción de hidrógeno a partir de la fermentación anaeróbica de material biológico

5 La presente invención se refiere a un método para la fermentación anaeróbica del material biológico para la producción de hidrógeno y, opcionalmente, metano divulgado por el preámbulo de la reivindicación 1 y un dispositivo para llevar a cabo el método según lo divulgado por el preámbulo de la reivindicación 11.

Antecedentes

10 El biogás se puede producir por digestión anaeróbica (AD) o fermentación de materiales biodegradables, como estiércol, aguas residuales y lodos de depuradora, desechos municipales, desechos verdes, material vegetal y cultivos. Los biogás se componen principalmente de metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), humedad y siloxanos.

15 Si el biogás producido anaeróbicamente se va a utilizar como combustible para el transporte (grado vehicular), primero debe mejorarse para eliminar las impurezas y aumentar su poder calorífico (valor calorífico). Esta etapa de mejora incluye el secado, la desulfuración y la eliminación de CO<sub>2</sub>. La separación de CO<sub>2</sub> se lleva a cabo normalmente por lavado con agua, absorción física o química mediante disolventes orgánicos, adsorción por oscilación de presión, o por permeación mediante membranas, dependiendo de la ubicación y el tamaño del sistema.

20 En una presentación realizada en Group Exhibit 2015 Hydrogen Fuel Cells Batteries, 14 de abril de 2015), como también se documenta en Energia Procedia 63 (2014) 279-285, publicado por Elsevier Ltd., se presentó y discutió una planta para el llamado metano bio-ZEG, incluido el uso de celdas de combustible de óxido sólido y el uso de CaO como eliminador de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, no se mencionó el uso de biogás que contiene CO<sub>2</sub> crudo como fuente de alimentación para dicho proceso.

25 El documento US 2015 0284247 A1 enseña un aparato para producir gas de alta pureza que incluye una columna configurada para la reacción mejorada por sorción (SE-SMR) para eliminar un subproducto a través de una reacción catalizadora. La columna se divide en una pluralidad de secciones, las secciones tienen proporciones decrecientes de catalizador y proporciones crecientes de un absorbente.

30 El documento US 2013 011326 A1 y DE 19 946 381 A1 son otras publicaciones en este campo técnico. El documento CN 1050 84312 A divulga un proceso para la producción de hidrógeno mediante la utilización de la reacción del óxido de calcio para absorber dióxido de carbono y reforzar el reformado continuo de metano y vapor de agua. El gas de partida puede ser un biogás obtenido por digestión anaeróbica.

35 Sin embargo, uno de los principales inconvenientes y desafíos con el biogás es la necesidad de mejorarse a biometano, con una calidad para su uso como combustible para vehículos de (bio) gas, o como fuente para vehículos eléctricos de pila de combustible de hidrógeno (FCEV). Las instalaciones de tratamiento de biogás procedentes de residuos alimentarios (u otras fuentes como estiércol y aguas residuales) suelen estar compuestas por un 55-65 % de CH<sub>4</sub> y un 35-45 % de CO<sub>2</sub>. La mejora (eliminación de CO<sub>2</sub>) consume energía y añade costes significativos al sistema en general (Luo y Angelidaki, 2012). Por lo tanto, existe la necesidad de encontrar métodos nuevos, más eficientes y menos costosos para mejorar el biogás producido anaeróbicamente, por ejemplo, utilizado directamente como combustible en vehículos, y como fuente para la producción de hidrógeno utilizado en vehículos eléctricos de pila de combustible de hidrógeno.

40 Sin embargo, sigue siendo necesario introducir nuevas mejoras en este ámbito para que el combustible producido por la digestión de residuos orgánicos sea competitivo como combustible para vehículos.

Hasta cierto punto, esto puede lograrse mediante la reducción del contenido de CO<sub>2</sub> y el aumento del contenido de metano, mediante la adición de hidrógeno al proceso de digestión anaeróbica (AD), aumentando así el contenido de metano a aproximadamente el 80 %

45 **Objetivos**

El objetivo principal de la presente invención es, por tanto, desarrollar un proceso nuevo y rentable que permita la producción de combustibles de grado vehicular basados en la digestión anaeróbica de sustratos orgánicos húmedos, con captura de CO<sub>2</sub> o sin consecuencias climáticas negativas.

Divulgación de la invención

50 Los objetos mencionados anteriormente se logran por el procedimiento de acuerdo con la invención tal como se define en la reivindicación 1.

De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere a un dispositivo para realizar el método tal como se define en la reivindicación 11.

Las realizaciones preferidas se divulgan mediante las reivindicaciones dependientes.

Por "biogás crudo", como se discute en este documento, se entiende un biogás del cual se ha eliminado azufre pero en el que el contenido de CO<sub>2</sub> es el que se originó en el reactor digestor anaeróbico, a diferencia del biogás mejorado que es esencialmente metano puro.

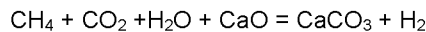
- 5 La adición de H<sub>2</sub> al proceso de digestión aumenta la relación entre el biometano y el CO<sub>2</sub>, con un contenido de CO<sub>2</sub> potencialmente inferior al 20 %.

Una característica principal de la presente invención es la conversión del biogás crudo con una relación metano:CO<sub>2</sub> mejorada directamente en un proceso de reformado mejorado por sorción (SER) sin separación previa de CO<sub>2</sub>. Esto se logra dimensionando el reformador 70 para capturar tanto el CO<sub>2</sub> del biogás crudo desulfurado inicial (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>) como el CO<sub>2</sub> formado en la etapa de reformado (proceso SE-SMR).

10

Hasta donde sabemos, el bucle de Ca no se ha sugerido como un método para la eliminación de CO<sub>2</sub> en relación con la producción de hidrógeno a partir de biogás crudo o gases con cantidades considerables de CO<sub>2</sub> inicial además de metano.

- 15 El proceso SER total con biogás crudo desulfurado como gas de alimentación se ilustra en la reacción química (no equilibrada) que se da a continuación;



A continuación se ilustran dos realizaciones alternativas de la presente invención, a saber, (1) Conversión biológica de CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> mediante la adición de H<sub>2</sub> de un proceso SER en un reactor AD y (2) Conversión directa de biogás crudo desulfurado (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>) a hidrógeno en un reactor SER.

- 20 Como se ilustra y ejemplifica a continuación, la presente invención proporciona en una realización un sistema combinado para la producción de biometano de grado vehicular e hidrógeno de grado vehicular, con la opción de captura de CO<sub>2</sub> total, a partir de la digestión anaeróbica de residuos orgánicos.

La rentabilidad y la sostenibilidad son palabras clave y denominadores comunes para el proceso en general.

Descripción detallada de la invención

- 25 A continuación se ilustran diferentes realizaciones de la invención con referencia a los dibujos adjuntos, donde:

La Figura 1 es una vista esquemática de una primera realización de la presente invención, en la que se produce hidrógeno de grado vehicular a partir de la fermentación anaeróbica de material biológico de una manera rentable y sostenible.

- 30 La Figura 2 es una vista esquemática de otra realización de la presente invención, en la que el hidrógeno de grado vehicular y el biometano de grado vehicular se producen a partir de la fermentación anaeróbica de material biológico de una manera rentable y sostenible.

La Figura 3 es una vista esquemática de una tercera realización de la presente invención, en la que se produce hidrógeno de grado vehicular a partir de la fermentación anaeróbica de material biológico de una manera rentable y sostenible, al mismo tiempo que produce electricidad.

- 35 La Figura 4 es una vista esquemática de una cuarta realización de la presente invención, en la que el hidrógeno de grado vehicular y el biometano de grado vehicular se producen a partir de la fermentación anaeróbica de material biológico de una manera rentable y sostenible, al mismo tiempo que producen electricidad.

- 40 Se llama la atención sobre la Figura 1. Un digestor anaeróbico 50 para la producción de biogás se carga con un material de carga 11 a base de lodos de depuradora, residuos orgánicos domésticos, residuos animales o agrícolas.

- 45 El biogás crudo producido 12 se desulfura 60, y el biogás crudo desulfurado 13 (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> inicial) se carga a un reformador 70 junto con agua 14 en forma de vapor para un proceso de reformado mejorado por sorción (SER). Un gas hidrógeno 15 sustancialmente puro sale de la unidad reformadora. En la unidad reformadora, una parte 15b de la cual normalmente se devuelve al digestor 50 para mejorar el rendimiento de metano, mientras que otra parte 15a, típicamente más grande, se somete a purificación en un purificador de hidrógeno 100. La purificación de hidrógeno se puede realizar normalmente como un proceso de adsorción por oscilación de presión. El hidrógeno purificado 16 que sale del purificador es de grado vehicular.

Si bien la etapa de desulfuración 60 es una etapa comúnmente utilizado en tales procesos y no inventivo como tal, es una etapa que para fines químicos prácticos rara vez o nunca se omitirá.

El proceso de reformado y captura de CO<sub>2</sub> en el reformador 70 implica una reacción entre el combustible (CH<sub>4</sub>), el agua (vapor), el CO<sub>2</sub> (tanto del biogás original como del proceso SER) y el CaO como absorbente de CO<sub>2</sub>, un proceso en el que el CaO se convierte en CaCO<sub>3</sub> en una reacción exotérmica conocida per se.

5 El gas residual 17 de la unidad de purificación de hidrógeno 100 se mezcla con el biogás crudo 13c, que puede ser un flujo parcial del flujo de biogás 13, y se carga a un quemador 90 para la producción del calor necesario (850 a 900 °C) para la regeneración de CaCO<sub>3</sub> a CaO en un regenerador de CaO 80, en un proceso endotérmico. El flujo de CO<sub>2</sub> (100 %) 23 producido en el reformador 70 y liberado en el regenerador 80, puede ser utilizado o almacenado (secuestro). El quemador 90 también se carga con un gas 18 que contiene oxígeno, normalmente aire.

10 El CO<sub>2</sub> en el escape del quemador 90 no tendría ninguna consecuencia climática ya que la fuente de combustible es de origen biogénico. Además, el flujo de CO<sub>2</sub> capturado como flujo 23 tiene un impacto climático de CO<sub>2</sub> "negativo", si este flujo de CO<sub>2</sub> se almacena o utiliza.

15 El flujo 19 es un flujo de CaCO<sub>3</sub> sólido desde el reformador 70 hasta el regenerador 80, resultante de que el CaO haya absorbido CO<sub>2</sub>, mientras que el flujo 20 es un flujo de CaO sólido, convertido de nuevo a partir de CaCO<sub>3</sub>, del regenerador 80 de vuelta al reformador 70. Este proceso de bucle de Ca es bien conocido como tal, pero no en el contexto que aquí se presenta.

20 La atención se dirige ahora a la Figura 2. La mayoría de los componentes y flujos de la Figura 2 son los mismos que los de la Figura 1 y están numerados por igual. Sin embargo, el proceso según la Figura 2 tiene la capacidad adicional de producir biogás de grado vehicular. Una primera parte 13a del biogás desulfurado 13 se carga al reformador 70 como en la Figura 1 y se trata en consecuencia. Una segunda parte del biogás 13b de la unidad de desulfuración 60 se carga a una unidad de separación de CO<sub>2</sub> 110. La separación de CO<sub>2</sub> se lleva a cabo normalmente mediante lavado de agua, absorción física o química mediante disolventes orgánicos, adsorción por oscilación de presión o por permeación mediante membranas, dependiendo de la ubicación y el tamaño del sistema. Puede decirse que el biometano 24 descargado de la unidad de separación de CO<sub>2</sub> 110 es de  
25 calidad de gas natural o de grado vehicular y, por lo tanto, se utiliza para tales fines.

El CO<sub>2</sub> 25 liberado por la unidad de separación de CO<sub>2</sub> 110 podrá almacenarse o utilizarse, si el método aplicado lo hace económicamente viable. Sin embargo, este no suele ser el caso. Independientemente del método utilizado, el origen biogénico de la fuente de combustible no tendría ninguna consecuencia climática. La pureza del CO<sub>2</sub> 25 liberado por la unidad de separación de CO<sub>2</sub> 110 depende del tipo y la naturaleza de esta unidad.

30 La atención se dirige ahora a la Figura 3. La mayoría de los componentes de la Figura 3 son los mismos que los de la Figura 1 y están igualmente numerados. Sin embargo, el proceso según la Figura 3 tiene la capacidad adicional de producir electricidad y calor a alta temperatura debido a la presencia de una pila de combustible de óxido sólido (SOFC) integrada en el proceso y el equipo. Por lo tanto, el hidrógeno sustancialmente puro descargado por el reformador se divide típicamente en tres subcorrientes, a saber, la subflujo 15a que se carga  
35 a la SOFC, la subflujo 15b que se recicla al digestor 50 (como en las Figura 1 y 2) y la subflujo 15c que, cuando está presente, se utiliza como combustible para un calentador 95.

40 El subflujo de hidrógeno 15a se utiliza parcialmente para producir electricidad en la SOFC, mientras que otra parte del flujo de hidrógeno 16' sale de la SOFC para su posterior actualización en un purificador de hidrógeno 100' que puede o no ser similar a la unidad 100 que se muestra en las Figuras 1 y 2 para obtener hidrógeno de grado vehicular 26. La electricidad se puede utilizar interna o externamente, o ambas.

Los gases de escape de alta temperatura de la SOFC se utilizan para calentar el regenerador 80, pero normalmente pueden necesitar ayuda ya que la temperatura necesaria en el regenerador 80 es de 850 a 900 °C. Esta temperatura puede alcanzarse (sin ninguna ayuda) si se utilizan interconexiones cerámicas en el sistema SOFC.

45 En la práctica, sin embargo, la temperatura de los gases de escape (830 °C, Megel et. al 2013) es demasiado baja para proporcionar efectivamente una temperatura en el regenerador en la que el CaCO<sub>3</sub> se convierte en CaO para su uso posterior. Por lo tanto, sería necesario un sistema específico para elevar la temperatura de los gases de escape en una celda/dispositivo de calefacción que aumente la temperatura.

50 La integración de calor entre el SOFC 120 y el Regenerador 80, a través del calentador 95, se encuentra en la Figura 3 proporcionada por un circuito de calor cerrado de 21', 22', sin embargo, son posibles otras opciones.

55 El medio de transferencia de calor del circuito de calor 21', 22' en la Figura 3, puede ser diferentes gases, como por ejemplo; Hidrógeno, CO<sub>2</sub>, aire, helio, vapor de agua, diferentes mezclas de gases o fluidos como; aceites minerales, hidrocarburos y diferentes tipos de sales fundidas. El calor del bucle de calor de la Figura 3, que sale del sistema SOFC, suele ser de unos 830 °C. El calor de este bucle de calor se incrementa en el calentador de 95 a al menos 850 °C, preferiblemente al menos 950 °C y más preferido al menos 1000 °C, para cumplir con el requisito de regeneración de temperatura en el regenerador 80 donde el CaCO<sub>3</sub> se convierte en CaO mientras libera CO<sub>2</sub>. Si bien el calentador 95 se puede calentar de diferentes maneras, una forma conveniente

es el uso de un flujo parcial de hidrógeno 15c desde el reformador. Otra opción para el combustible a 95 sería el biogás crudo 13c. Ya sea que el combustible para el calentador tenga la forma de biogás crudo 13c según las Figuras 1, 2 o 4 o hidrógeno 15c según la Figura 3, el calor suministrado por el quemador 90 o por el calentador 95 es proporcionado, al menos parcialmente, directa o indirectamente, por el biogás crudo desulfurado que se va a mejorar. El aire de escape SOFC 27 proporciona el oxígeno para el proceso de calentamiento en 95. El CO<sub>2</sub> en la salida de escape 28 del dispositivo de calefacción sería climáticamente neutro debido al origen biogénico del combustible utilizado. Si es necesario, se puede suministrar aire adicional (no mostrado) al calentador 95.

La atención se dirige ahora a la Figura 4. La mayoría de los componentes de la Figura 4 son los mismos que los de la Figura 3. Sin embargo, el proceso de la Figura 4 tiene la capacidad adicional de permitir la producción de biogás de grado vehicular, de una manera similar a la diferencia entre la Figura 1 y la Figura 2.

Por lo tanto, de acuerdo con la Figura 4, el flujo de biogás desulfurado 13 se divide en un primer flujo 13a que se carga al reformador 70, mientras que el otro flujo 13b se carga a una unidad de separación de CO<sub>2</sub> 110 para separarse en biometano de grado vehicular 24 y CO<sub>2</sub> 25. El tratamiento del primer flujo 13a es el descrito anteriormente en relación con la Figura 1, mientras que el otro flujo 13b se somete a un tratamiento como se describe generalmente en relación con la Figura 2.

Con respecto a la SOFC y los procesos implicados en ella, no hay diferencia entre las realizaciones de la Figura 3 y 4. Lo mismo puede decirse del intercambio de calor de circuito cerrado 21', 22' incluyendo el uso del calentador 95.

Debe entenderse que los procesos de acuerdo con las Figuras 2 y 4 permiten una división del biogás crudo desulfurado en un primer flujo 13a y un segundo flujo 13b, cubriendo una relación entre los dos de 5:95 a 100:0. Por lo tanto, si la demanda es alta para el biometano de grado vehicular y baja para el hidrógeno y la electricidad de grado vehicular, el flujo de 13a se reduciría para cubrir básicamente la necesidad de hidrógeno en el digestor. Por otro lado, si la demanda de biometano de grado vehicular es baja, el flujo 13b podría cortarse básicamente, haciendo que la realización de la Figura 2 sea temporalmente idéntica a la realización de la Figura 1 y/o que la realización de la Figura 4 sea temporalmente idéntica a la realización de la Figura 3.

El concepto general de la presente invención es un método para la fabricación de combustibles de grado vehicular a partir de materiales biológicos de una manera rentable y sostenible, que implica un mínimo de pasos. Existe una versatilidad en el método en el sentido de que el biometano de grado vehicular y el hidrógeno de grado vehicular se pueden producir en una relación mutua flexible, así como en cantidades flexibles de electricidad.

#### Realizaciones

Aunque no representa el núcleo de la presente invención, una etapa de desulfuración 60 se lleva a cabo típicamente corriente arriba de la etapa de reformado mejorado por sorción 70.

Como se explica en relación con los dibujos, un flujo parcial de biogás desulfurado 13 se somete, según algunas realizaciones, a tratamiento en una unidad de separación de CO<sub>2</sub> 110, proporcionando así un flujo de descarga de biometano de grado vehicular 24 y un flujo de descarga 25 que contiene CO<sub>2</sub>.

La unidad de separación de CO<sub>2</sub> 110 suele utilizar un principio de separación seleccionado entre el lavado con agua, la absorción física o química mediante disolventes orgánicos, la adsorción por oscilación de presión y la permeación mediante membranas.

De acuerdo con al menos algunas realizaciones, el calor necesario para regenerar el CaO se proporciona mediante la combustión de un gas que contiene un flujo parcial de biogás desulfurado. En algunas realizaciones, el calor para la regeneración del CaO también puede proporcionarse en parte mediante una célula de combustible de óxido sólido 120 cargada con hidrógeno 15a procedente de la etapa de reformado mejorado con sorción 70. En caso necesario, se puede proporcionar calor adicional mediante un calentador 95 cargado con hidrógeno 15c descargado de la etapa de reformado mejorado con sorción 70. En otras realizaciones, la célula de combustible 120 puede cargarse con biogás crudo o una combinación de hidrógeno y biogás crudo.

En algunas realizaciones, un medio de calor de 21', 22' circula en un circuito cerrado entre al menos la pila de combustible de óxido sólido 120, el calentador 95 y el regenerador 80. La adición de hidrógeno al proceso de digestión puede disponerse, al menos en parte, como un flujo de hidrógeno reciclado 15b desde la etapa de reformado 70.

En una serie de realizaciones, el biogás crudo que se va a mejorar se produce en un proceso de digestión basado en la digestión de una materia prima seleccionada entre una o más aguas residuales, lodos, residuos municipales, residuos domésticos, residuos animales y residuos agrícolas.

## ES 3 022 917 T3

### Lista de referencias

	11	Alimento para el digestor 50
	12	Biogás del digestor 50
	13	Biogás desulfurado al reformador 70
5	13a	Biogás desulfurado de flujo parcial al reformador 70
	13b	Biogás desulfurado al separador de CO <sub>2</sub> 110
	13c	Biogás crudo, desulfurado para calentador 95/quemador 90
	14	Agua para el reformador 70
	15	Hidrógeno sustancialmente puro del reformador 70
10	15a	Flujo parcial de hidrógeno al reformador 70
	15b	Flujo parcial de hidrógeno reciclado al digestor 50
	15c	Flujo parcial de hidrógeno al calentador 95
	16	Hidrógeno de grado vehicular del purificador de hidrógeno 100
	16'	Hidrógeno sustancialmente puro de la SOFC 120
15	17	Gases residuales del purificador de hidrógeno 100
	18	Entrada de aire al quemador 90
	19	CaCO <sub>3</sub> del reformador 70 al regenerador 80
	20	CaO del regenerador 80 al reformador 70
	21	Gas caliente del quemador 90 al regenerador 80
20	21'	Gas caliente del calentador 95 al regenerador 80
	22	Gases residuales del regenerador 80
	22'	Gases residuales del regenerador a la SOFC 120 en circuito cerrado
	23	CO <sub>2</sub> del regenerador 80
	24	Biogás de grado vehicular del separador de CO <sub>2</sub> 110
25	25	CO <sub>2</sub> del separador de CO <sub>2</sub> 110
	26	Hidrógeno de grado vehicular de 100'
	27	Escape de la SOFC 120
	28	Escape del calentador 95
	50	Digestor
30	60	Desulfurador
	70	Reformador
	80	Regenerador
	90	Quemador
	95	Calentador
35	100	Purificador de hidrógeno
	100'	Purificador de hidrógeno

## ES 3 022 917 T3

- 110 Separador de CO<sub>2</sub>
- 120 Pila de combustible de óxido sólido

REIVINDICACIONES

1. Método para mejorar el biogás a partir de la fermentación anaeróbica de material biológico en un digestor (50) para la producción de hidrógeno (16, 26) y, opcionalmente, metano (24), que comprende la adición de gas hidrógeno a la etapa de fermentación (50) para mejorar la relación metano:CO<sub>2</sub> en el biogás crudo (12) producido y el sometimiento del biogás crudo a una etapa de desulfuración en la medida requerida, caracterizada por la sujeción adicional de al menos una parte del biogás crudo desulfurado a una etapa de reformado mejorado por sorción (70) sin separación previa del CO<sub>2</sub> utilizando CaO como absorbente para capturar el CO<sub>2</sub> del biogás crudo, así como el CO<sub>2</sub> liberado en la reacción de reformado, regenerando el CaO en una reacción endotérmica (80) utilizando el calor proporcionado, al menos parcialmente, directa o indirectamente, por el biogás que se va a mejorar, produciendo así hidrógeno sustancialmente puro (15) y CO<sub>2</sub> sustancialmente puro (23).
2. Método como se reivindica en una cualquiera de la reivindicación 1, en el que un flujo parcial de biogás crudo desulfurado (13) se somete a tratamiento en una unidad de separación de CO<sub>2</sub> (110) proporcionando así un flujo de descarga de biometano de grado vehicular (24) y un flujo de descarga (25) que contiene CO<sub>2</sub>.
3. Método como se reivindica en la reivindicación 2 en el que la unidad de separación de CO<sub>2</sub> (110) es una que utiliza un principio de separación seleccionado entre lavado de agua, absorción física o química con disolventes orgánicos, adsorción por oscilación de presión y permeación mediante membranas.
4. Método como se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el H<sub>2</sub> sustancialmente puro (15) se somete a una etapa (100) de purificación adicional para producir H<sub>2</sub> de grado vehicular (16).
5. Método como se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el calor requerido para regenerar CaO se proporciona mediante la combustión de un gas que contiene un flujo parcial de biogás crudo desulfurado (13c).
6. Método como se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, en el que el calor para la regeneración de CaO se proporciona en parte a partir de una pila de combustible de óxido sólido (120) cargada por hidrógeno (15a) de la etapa de reformado mejorada por sorción (70).
7. Método como se reivindica en la reivindicación 6, en el que el calor adicional para la regeneración de CaO es proporcionado por un calentador (95) cargado con hidrógeno (15c) descargado desde la etapa de reformado mejorada por sorción (70).
8. Método como se reivindica en una de las reivindicaciones 6 o 7, en el que un medio térmico (21', 22') circula en un circuito cerrado entre al menos la pila de combustible de óxido sólido (120), el calentador (95) y el regenerador (80).
9. Método como se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 1-8 en el que el biogás crudo que se va a mejorar se produce en un proceso de digestión (50) basado en la digestión de una materia prima seleccionada entre una o más aguas residuales, lodos, residuos municipales, residuos domésticos, residuos animales y residuos agrícolas.
10. Método como se reivindica en la reivindicación 8 en el que la adición de hidrógeno al proceso de digestión se dispone, al menos en parte, como un flujo de hidrógeno reciclado (15b) desde la etapa de reformado (70)
11. Dispositivo para la mejora del biogás a partir de la fermentación anaeróbica de material biológico en producción de hidrógeno (16, 26) y, opcionalmente, de metano (24), compuesto por un digestor (50), un dispositivo (60) para la desulfuración así como para una unidad reformadora (70, 80), caracterizada porque la unidad de reformado (70, 80) está dispuesta corriente abajo del digestor (50) y del dispositivo para la desulfuración, para el reformado de acuerdo con el principio de reformado mejorado por sorción basado en el bucle de Ca para proporcionar un reformado que está inherentemente integrado con la captura de carbono y la posterior purificación del hidrógeno (15) con una unidad de purificación de hidrógeno (100, 100'), el digestor (50) está dispuesto para recibir un flujo de reciclaje de hidrógeno (15b) del reformador (70).
12. Dispositivo como se reivindica en la reivindicación 11, en el que una pila de combustible de óxido sólido (120) está dispuesta para recibir al menos parte del gas descargado por el reformador (70), para la producción de energía eléctrica y calor.
13. Dispositivo como se reivindica en la reivindicación 11, en el que una unidad de separación de CO<sub>2</sub> (110) está dispuesta para recibir parte del gas descargado por el desulfurador (60) para dividir el flujo de gas en un biometano de grado vehículo (24) y CO<sub>2</sub> puro (25).

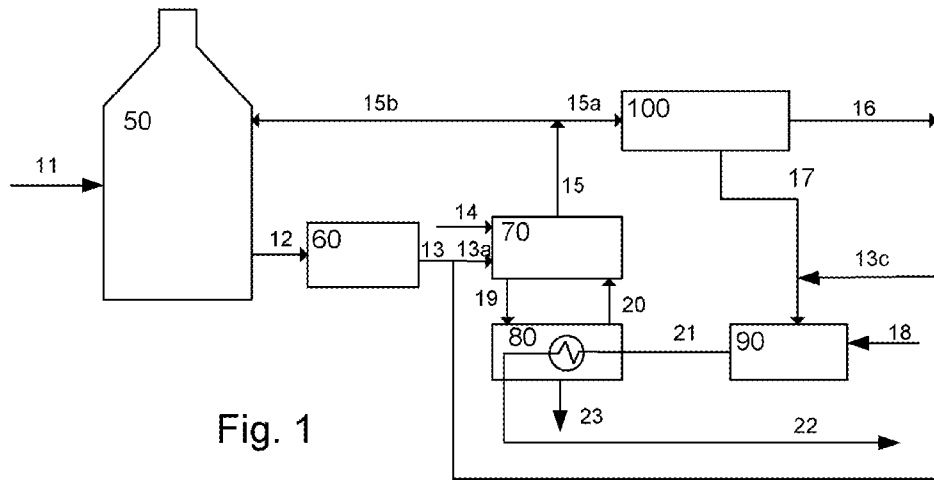


Fig. 1

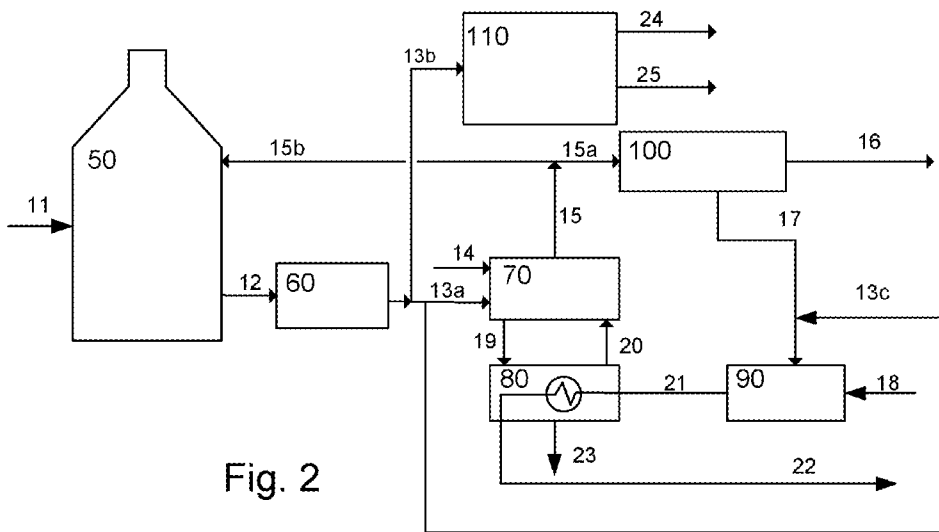


Fig. 2

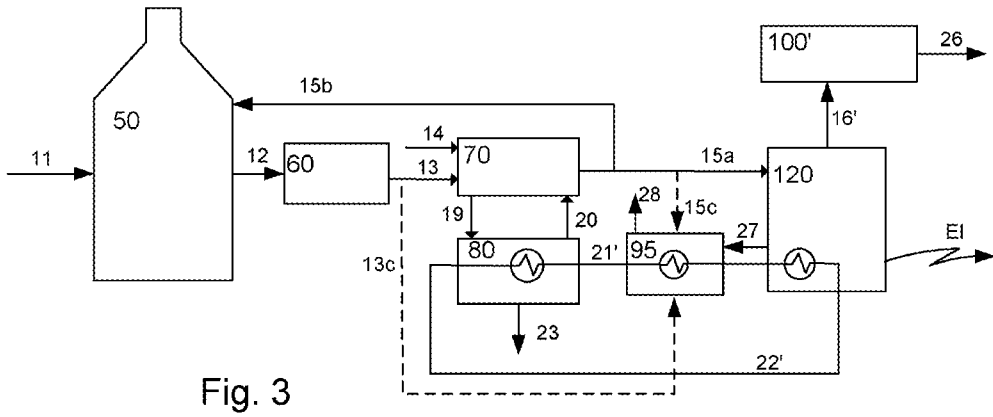


Fig. 3

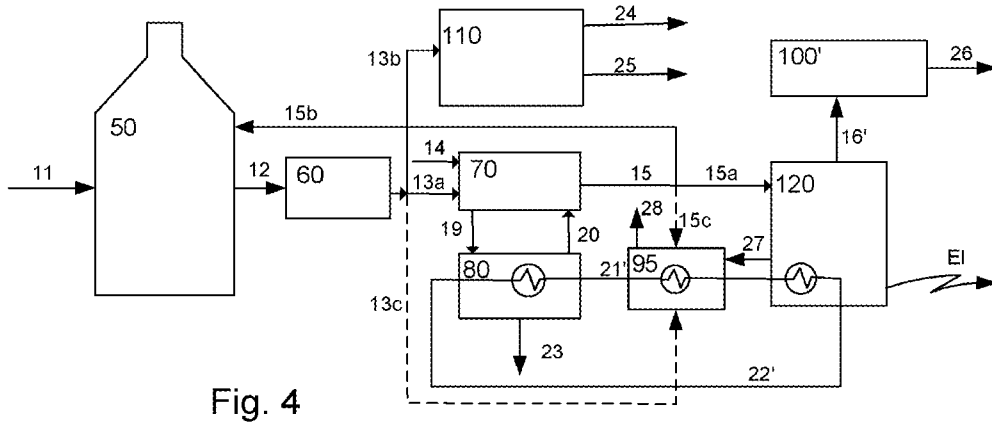


Fig. 4