

APARATO Y MÉTODO DE OBTENCIÓN DE GASES COMBUSTIBLES A PARTIR DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES

Campo técnico relacionado

5

La presente divulgación se relaciona con aparatos y métodos de obtención de gases combustibles. En particular, se relaciona con aparatos y métodos de obtención de gases combustibles a partir de fuentes de energía renovables.

10 Descripción del estado de la técnica

El estado de la técnica divulga el documento *Breyer, et. Al, (2022). HYBRID PV-WIND-RENEWABLE METHANE POWER PLANTS – A POTENTIAL CORNERSTONE OF GLOBAL ENERGY SUPPLY. Preimpreso a publicarse en las actas de la 26ª Conferencia Europea de Energía Solar Fotovoltaica, 5-9 de septiembre de 2011, Hamburgo, Alemania. Recuperado el 25 de julio de 2023 de: https://www.q-cells.co.uk/uploads/tx_abdownloads/files/16_6CV.1.31_Breyer2011_HybPV-Wind-RPM-Plants_paper_PVSEC_preprint_01.pdf*

20 Este documento divulga una planta de generación de metano a partir de fuentes de energía renovables, en particular, de plantas eólicas y fotovoltaicas, y de agua. En su Figura 1, este documento muestra una planta eólica y una planta fotovoltaica que suministran corriente eléctrica a un tanque de electrólisis, el cual genera oxígeno (O₂) e hidrógeno (H₂). El O₂ se almacena en un tanque de oxígeno, y el H₂ se suministra a un reactor de metanación, el cual produce metano. El metano puede suministrarse a una red de gas natural, o puede suministrarse a una caldera de oxicomcombustión en la que además se suministra el O₂ producido en la electrólisis.

Ahora bien, aunque la figura no muestra las entradas y salidas de agua en el electrolizador y el reactor de metanación, el texto menciona que se requiere agua para el proceso y menciona la reacción de Sabatier, la cual produce agua.

Este documento también menciona que se suministra CO₂ desde una fuente de suministro en la que el CO₂ puede ser capturado de la atmósfera mediante diálisis aérea, o ser un subproducto de una planta de biogás (se entiende que sería de origen biogénico en este caso).

5

Por su parte, el documento JP2020045430A divulga un sistema de utilización de energía renovable que comprende un dispositivo de electrólisis de agua que genera hidrógeno y oxígeno utilizando un excedente de energía de un dispositivo de generación de energía renovable; y un equipo de metanación para producir un combustible de hidrocarburo, tal como metano, mediante la combinación de hidrógeno producido en un dispositivo de electrólisis de agua con dióxido de carbono generado en el sistema.

Este documento menciona una instalación de biogasificación que tiene un tanque de lodos activados, un tanque de fermentación y un separador de dióxido de carbono en el sistema. Además, este documento divulga que el dispositivo de electrólisis suministra oxígeno, junto con hidrógeno, a un tanque de lodos activados utilizando la energía excedente. El dióxido de carbono separado por el separador de dióxido de carbono y el hidrógeno obtenido por el electrolizador de agua se combinan en un equipo de metanación para producir el combustible de hidrocarburos, por ejemplo, metano.

20

Este documento además divulga que el dispositivo de generación de energía renovable puede incluir fuentes de energía renovables, incluyendo la solar y la eólica, que alimentan un dispositivo de electrólisis para obtener H₂ y O₂. Este documento también divulga que el O₂ de alta pureza obtenido en la hidrólisis se recircula al proceso de fermentación y que el O₂ puede usarse para quemar el hidrógeno.

25

Por otro lado, el documento US 10,208,665 B2 divulga métodos y sistemas para convertir la energía eléctrica en energía química y, opcionalmente, reconvertirla para producir electricidad según sea necesario. Este documento menciona que la fuente de energía eléctrica procede, al menos parcialmente, de fuentes renovables. Además, este documento divulga un método y aparato para producir metano que comprende un electrolizador de agua para formar hidrógeno y oxígeno, y también menciona un reactor de Sabatier que recibe hidrógeno para hidrogenar el dióxido de carbono y formar metano.

30

Este documento divulga que la fuente de energía eléctrica preferida para la electrólisis es una fuente de energía renovable como la energía solar, eólica, mareomotriz, undimotriz, hidráulica o geotérmica. Además, este documento divulga un sistema que comprende un
5 aparato de electrólisis y otro de hidrogenación. Este documento menciona que el oxígeno e hidrógeno que se obtienen como producto de la electrólisis se almacenan por separado para su uso futuro. También menciona métodos de captura de CO₂ en plantas de generación de energía en las que se queman hidrocarburos, y menciona que preferiblemente el CH₄ y el O₂ producidos se consumen en un proceso de oxidación que permite obtener CO₂ altamente concentrado, el cual es capturado para alimentar el
10 reactor de metanación.

Sin embargo, los aparatos y métodos del estado de la técnica tienen eficiencia energética deficiente y no aprovechan de la mejor manera los recursos disponibles.

Breve descripción de la divulgación

La presente divulgación describe modalidades de un aparato de obtención de gases combustibles a partir de al menos una fuente de energía renovable. El aparato incluye un
20 dispositivo de electrólisis con una entrada conectada a un aparato de generación de energía que obtiene energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables. También cuenta con una entrada de agua conectada a una fuente de agua. El dispositivo de electrólisis además tiene un dispositivo de separación de gases que tiene una salida de oxígeno y una salida de hidrógeno.

Asimismo, el aparato incluye un aparato de oxidación que tiene una entrada de oxidante conectada a la salida de oxígeno del dispositivo de separación de gases. Además, el aparato de oxidación tiene una entrada de combustible, por ejemplo, de biomasa y una salida de gases de combustión. El dispositivo mezclador está conectado a la salida
25 de hidrógeno del dispositivo de separación de gases y a la salida de gases de combustión del aparato de oxidación. Este dispositivo mezclador permite obtener una mezcla de gases que incluye al menos hidrógeno y dióxido de carbono.

El aparato también comprende un reactor de metanación que incluye una entrada conectada al dispositivo mezclador y configurada para recibir la mezcla de gases. Además, el reactor de metanación tiene una salida de metano desde donde se extrae el metano producido. Además, cuenta con una salida de agua que permite extraer vapor de agua. El
5 aparato además incluye un condensador que tiene una entrada conectada a la salida de agua del reactor de metanación y una salida conectada a la entrada de agua del dispositivo de electrólisis.

Una de las ventajas de integrar un dispositivo de electrólisis y al menos un aparato de
10 generación de energía renovable es maximizar la utilización del excedente de energía para producir hidrógeno y oxígeno a través de la electrólisis. Esto permite aprovechar al máximo la energía generada a partir de fuentes renovables y evitar pérdidas innecesarias.

El aparato además puede ser compatible con diversas fuentes de energía renovable, como
15 la solar, eólica, mareomotriz, undimotriz, hidráulica o geotérmica. Esto brinda la flexibilidad de adaptarse a diferentes condiciones geográficas y recursos energéticos disponibles en distintas ubicaciones.

Adicionalmente, el aparato de oxicomcombustión puede incluir como entrada de combustible
20 una entrada de biomasa. Esta permite usar biomasa como una fuente de combustible sostenible y renovable, lo que contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y al desarrollo de una matriz energética más limpia.

Por su parte, el dispositivo mezclador permite obtener una mezcla precisa y controlada
25 de gases, incluyendo hidrógeno y dióxido de carbono. Esto mejora el proceso de metanación que sucede en el reactor de metanación, ya que asegura las proporciones adecuadas de los gases involucrados en la reacción química, maximizando así la eficiencia y la calidad del metano producido.

En cuanto al condensador, este permite condensar el vapor de agua producido por el
30 reactor de metanación. El agua condensada se recircula al dispositivo de electrólisis, lo cual permite un uso más eficiente de los recursos hídricos. En lugar de desechar el agua utilizada en el proceso de metanación, se recupera y reintroduce en el dispositivo de

electrólisis, donde puede ser nuevamente utilizada en la generación de hidrógeno y oxígeno. Esto reduce la necesidad de consumir grandes volúmenes de agua fresca, lo que resulta en un uso más sostenible y responsable de este recurso.

- 5 Además, la recirculación del agua producida hacia el dispositivo de electrólisis contribuye a mantener un suministro constante de agua en el proceso. Esto ayuda a mantener la estabilidad operativa del sistema, ya que se evitan posibles fluctuaciones en la disponibilidad de agua y se asegura un suministro adecuado para la generación continua de hidrógeno y oxígeno.

10

La presente divulgación además incluye modalidades de un proceso de obtención de gases combustibles a partir de energías renovables. El proceso tiene una etapa de obtener oxígeno e hidrógeno mediante un dispositivo de electrólisis que incluye un dispositivo de separación de gases. También, el proceso tiene una etapa de obtener una
15 mezcla de gases que incluye hidrógeno y dióxido de carbono con un dispositivo mezclador. El dióxido de carbono se recibe desde un aparato de oxidcombustión el cual, preferiblemente opera con gas combustible de origen biogénico. Además, el método tiene una etapa de obtener metano con un reactor de metanación que ejecuta una reacción de Sabatier, donde el reactor de metanación recibe la mezcla de gases obtenida por el
20 dispositivo mezclador.

20

Una de las ventajas de las modalidades del aparato y el método descritos es aprovechar excedentes de energía eléctrica a través de la integración de un dispositivo de electrólisis y al menos un aparato de generación de energía renovable. Esto permite aprovechar al
25 máximo la energía generada a partir de fuentes renovables y evitar pérdidas innecesarias.

25

El aparato es compatible con diversas fuentes de energía renovable, como la solar, eólica, mareomotriz, undimotriz, hidráulica o geotérmica, lo que brinda flexibilidad para adaptarse a diferentes condiciones geográficas y recursos energéticos disponibles en
30 distintas ubicaciones.

30

La inclusión de un aparato de oxidcombustión con una entrada de biomasa permite utilizar biomasa como una fuente de combustible sostenible y renovable, lo que contribuye a la

reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y al desarrollo de una matriz energética más limpia.

Por su parte, el dispositivo mezclador asegura la obtención de una mezcla precisa y controlada de gases, como hidrógeno y dióxido de carbono. Esto mejora la eficiencia del proceso de metanación en el reactor al garantizar las proporciones adecuadas de los gases involucrados, maximizando así la calidad del metano producido.

En cuanto al condensador, este condensa el vapor de agua producido por el reactor de metanación. La recirculación del agua condensada hacia el dispositivo de electrólisis permite un uso más eficiente de los recursos hídricos, evitando la necesidad de consumir grandes volúmenes de agua fresca. Esto resulta en un enfoque más sostenible y responsable del uso del agua en el proceso.

Además, la recirculación del agua producida hacia el dispositivo de electrólisis contribuye a mantener un suministro constante de agua, garantizando la estabilidad operativa del sistema y evitando fluctuaciones en la disponibilidad de agua. Esto asegura un suministro adecuado para la generación continua de hidrógeno y oxígeno.

Breve descripción de las figuras

La FIG. 1 muestra un diagrama de flujo de proceso de una modalidad del aparato de obtención de gases combustibles a partir de al menos una fuente de energía renovable.

La FIG. 2 muestra un diagrama de flujo de proceso de una modalidad del aparato de obtención de gases combustibles a partir de al menos una fuente de energía renovable. Esta modalidad incluye un dispositivo de captura de oxígeno con un compresor y un tanque.

La FIG. 3 muestra un diagrama de flujo de proceso de una modalidad del aparato de obtención de gases combustibles a partir de al menos una fuente de energía renovable.

En esta modalidad se ilustra un aparato de oxidcombustión que tiene un quemador de co-combustión de biomasa y un combustible.

La FIG. 4 muestra un diagrama de flujo de proceso de una modalidad del aparato de obtención de gases combustibles a partir de al menos una fuente de energía renovable. Esta modalidad incluye el aparato de oxidcombustión de la modalidad de la FIG. 2 y además incluye un aparato de generación de energía con una turbina eólica y un panel fotovoltaico. También, esta figura muestra un dispositivo de captura de dióxido de carbono y una fuente de gas inerte.

Descripción detallada

La presente divulgación describe modalidades de un aparato (1) de obtención de gases combustibles a partir de al menos una fuente de energía renovable. El aparato (1) incluye un dispositivo de electrólisis (5) con una entrada (6) conectada a un aparato de generación de energía (2) que obtiene energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables. También cuenta con una entrada de agua (14) conectada a una fuente de agua (16). El dispositivo de electrólisis (5) además tiene un dispositivo de separación de gases (8) que tiene una salida de oxígeno (17) y una salida de hidrógeno (18).

Asimismo, el aparato (1) incluye un aparato de oxidcombustión (19) que tiene una entrada de oxidante (20) conectada a la salida de oxígeno (17) del dispositivo de separación de gases (8). Además, el aparato de oxidcombustión (19) tiene una entrada de combustible, por ejemplo, una entrada de biomasa (21) y una salida de gases de combustión (22). El dispositivo mezclador (9) está conectado a la salida de hidrógeno (18) del dispositivo de separación de gases (8) y a la salida de gases de combustión (22) del aparato de oxidcombustión (19). Este dispositivo mezclador (9) permite obtener una mezcla de gases que incluye al menos hidrógeno y dióxido de carbono.

El aparato también comprende un reactor de metanación (10) que incluye una entrada (11) conectada al dispositivo mezclador (9) y configurada para recibir la mezcla de gases. Además, el reactor de metanación (10) tiene una salida de metano (12) desde donde se extrae el metano producido. Además, cuenta con una salida de agua (23) que

permite extraer vapor de agua. El aparato además incluye un condensador (24) que tiene una entrada (25) conectada a la salida de agua (23) del reactor de metanación (10) y una salida (26) conectada a la entrada de agua (14) del dispositivo de electrólisis (5).

- 5 Una de las ventajas de integrar un dispositivo de electrólisis (5) y al menos un aparato de generación de energía renovable (2) es aprovechar la utilización del excedente de energía para producir hidrógeno y oxígeno a través de la electrólisis. Esto permite aprovechar al máximo la energía generada a partir de fuentes renovables y evitar pérdidas innecesarias. Dicho excedente de energía puede suceder, por ejemplo, cuando una red eléctrica que se
10 conecta al aparato de generación de energía (2) demanda menos energía de la que el aparato de generación de energía (2) genera.

En algunas de las modalidades del aparato (1), el aparato de generación de energía (2) se puede seleccionar del grupo que comprende turbinas eólicas, paneles fotovoltaicos,
15 motores o turbinas de biogás, centras hidráulicas, microcentrales hidráulicas, generadores eléctricos conectados a plantas de generación de energía mareomotriz, undimotriz, geotérmica, y combinaciones de los anteriores. Esto brinda la flexibilidad de adaptarse a diferentes condiciones geográficas y recursos energéticos disponibles en distintas ubicaciones.

20 Adicionalmente, en las modalidades que el aparato de oxidación (19) quema biomasa, se aprovecha la biomasa como una fuente de combustible sostenible y renovable, lo que contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y al desarrollo de una matriz energética más limpia.

25 Por su parte, el dispositivo mezclador (9) permite obtener una mezcla precisa y controlada de gases, incluyendo hidrógeno y dióxido de carbono. Esto mejora el proceso de metanación que sucede en el reactor de metanación (10), ya que asegura las proporciones adecuadas de los gases involucrados en la reacción química, maximizando
30 así la eficiencia y la calidad del metano producido.

En cuanto al condensador (24), este permite condensar el vapor de agua producido por el reactor de metanación (10). El agua condensada se recircula el dispositivo de

electrólisis (5), lo cual permite un uso más eficiente de los recursos hídricos. En lugar de desechar el agua utilizada en el proceso de metanación, se recupera y reintroduce en el dispositivo de electrólisis (5), donde puede ser nuevamente utilizada en la generación de hidrógeno y oxígeno. Esto reduce la necesidad de consumir grandes volúmenes de agua fresca, lo que resulta en un uso más sostenible y responsable de este recurso.

Además, recirculación del agua producida hacia el dispositivo de electrólisis (5) contribuye a mantener un suministro constante de agua en el proceso. Esto ayuda a mantener la estabilidad operativa del sistema, ya que se evitan posibles fluctuaciones en la disponibilidad de agua y se asegura un suministro adecuado para la generación continua de hidrógeno y oxígeno.

Haciendo referencia a la FIG. 1, el dispositivo de electrólisis (5) cuenta con una entrada (6) conectada al aparato de generación de energía (2) que obtiene energía eléctrica de fuentes renovables. Esta conexión permite aprovechar el excedente de energía generado por el aparato de generación y utilizarlo de manera eficiente en el proceso de electrólisis. De esta forma, se mejora la utilización de la energía renovable y se evitan desperdicios innecesarios. La entrada (6) puede ser una conexión eléctrica, por ejemplo, un conector eléctrico, un bus, o una entrada de circuito. El dispositivo de electrólisis (5) además incluye electrodos (no ilustrados) que se cargan eléctricamente con la energía suministrada por el aparato de generación de energía (2).

Por su parte, la entrada de agua (14) puede ser una conexión de tubería. También, puede incluir segmentos de tubería, válvulas de regulación de flujo e instrumentos de medición de caudal y presión. El dispositivo de separación de gases (8) puede incluir elementos de separación que permiten aislar el oxígeno del hidrógeno. Por ejemplo, puede incluir tamices moleculares, lechos porosos, separadores de membrana, separadores por absorción, separadores por adsorción y combinaciones de los mismos. También, el dispositivo de separación de gases (8) puede configurarse por el diseño del dispositivo de electrólisis (5), por ejemplo, en el caso de que el dispositivo de electrólisis (5) usa membranas.

En algunas modalidades del aparato (1), el dispositivo de electrólisis (5) puede seleccionarse del grupo que comprende, electrolizadores de membrana de intercambio de protones (PEM), electrolizadores de óxido sólido (SOEC), electrolizadores alcalinos, electrolizadores de carbonato fundido (MCE), electrolizadores de membrana de intercambio aniónico (AEM) y combinaciones de los mismos.

Los electrolizadores de membrana de intercambio de protones (PEM) utilizan una membrana de polímero sólido que permite el paso de iones de hidrógeno, mientras que bloquea el paso de otros gases. Por su parte, los electrolizadores de óxido sólido (SOEC) operan a altas temperaturas y utilizan un electrolito cerámico conductor de oxígeno. Son capaces de manejar grandes flujos de corriente y son adecuados para aplicaciones de alta capacidad, como la producción a gran escala de hidrógeno. Los electrolizadores alcalinos utilizan una solución alcalina, como hidróxido de potasio o hidróxido de sodio, como electrolito.

Por su lado, los electrolizadores de carbonato fundido (MCE) operan a temperaturas muy altas en comparación con los otros tipos de electrolizadores y utilizan sales fundidas como electrolito. Son capaces de manejar corrientes eléctricas elevadas y tienen una alta eficiencia, pero requieren condiciones operativas más exigentes. Estos últimos pueden aprovechar los gases de combustión obtenidos por el aparato de oxicomustión (19) que pueden alcanzar las temperaturas suficientes para calentar este tipo de electrolizadores.

En cuanto a los electrolizadores de membrana de intercambio aniónico (AEM), este tipo de electrolizadores utilizan una membrana de intercambio de aniones que permite el paso de iones hidroxilo.

En algunas modalidades del aparato (1), el aparato de generación de energía (2) incluye una turbina eólica (3), y un dispositivo de generación de energía solar (4) conectado en paralelo con la turbina eólica (3). Esta combinación permite aprovechar ambos recursos energéticos en zonas de alta irradiación solar, las cuales pueden además estar en zonas con corrientes de viento. Por ejemplo, en zonas desérticas y costeras puede ser deseable usar la turbina eólica (3) en combinación con el dispositivo de energía solar (4). Además, la integración de una turbina eólica (3) y un dispositivo de energía solar (4) en paralelo

permite obtener una mayor capacidad de generación de energía en comparación con el uso individual de cada tecnología. Durante el día, el dispositivo de energía solar (4) captura la radiación solar y la convierte directamente en electricidad mediante paneles fotovoltaicos. Al mismo tiempo, la turbina eólica (3) aprovecha las corrientes de viento predominantes en la zona y utiliza sus palas aerodinámicas para convertir la energía cinética del viento en electricidad. Cuando la radiación solar disminuye, la turbina eólica (3) continúa generando electricidad gracias a las corrientes de viento. De acuerdo con lo anterior, esta configuración permite diversificar el riesgo y reducir la dependencia de una única fuente de energía renovable.

En este caso, y en los que el aparato de generación de energía (2) incluye fuentes de energía fluctuantes, el dispositivo de electrólisis (5) puede seleccionarse entre electrolizadores de membrana de intercambio aniónico (AEM), y electrolizadores de membrana de intercambio de protones (PEM).

Los electrolizadores de membrana de intercambio aniónico (AEM) ofrecen una alta eficiencia y una mayor tolerancia a las variaciones de carga eléctrica, en comparación con otros tipos de electrolizadores, lo que los hace ideales para adaptarse a fuentes de energía fluctuantes. Por otro lado, los electrolizadores de membrana de intercambio de protones (PEM) destacan por su rápida respuesta y capacidad de operar a altas densidades de corriente, en comparación con otros tipos de electrolizadores, lo que los convierte en una opción adecuada para aprovechar al máximo las fluctuaciones de energía en sistemas solares y eólicos.

Haciendo referencia a la FIG. 1 y la FIG. 2, en cualquiera de las modalidades del aparato (1), el aparato de oxidación (19) incluye una entrada de oxidante (20) conectada a la salida de oxígeno (17) del dispositivo de separación de gases (8). El aparato de oxidación (19) además incluye una entrada de combustible, por ejemplo, una entrada de biomasa (21), y una salida de gases de combustión (22).

La oxidación en el aparato (1) ofrece ventajas significativas, en comparación con la combustión convencional con aire, tales como una combustión más limpia, mayor eficiencia, control del proceso de combustión y la posibilidad de capturar y manejar el

dióxido de carbono generado. Estas ventajas contribuyen a la reducción de emisiones contaminantes y a la implementación de un sistema más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

- 5 Al utilizar oxígeno en lugar de aire, se elimina la necesidad de calentar y/o reaccionar con el nitrógeno presente en el aire, lo que reduce la emisión de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NOx). Además, la oxicomcombustión proporciona un mayor control sobre el proceso de combustión. Al utilizar una corriente de oxígeno en lugar de aire, es posible ajustar y optimizar la mezcla de combustible y oxidante para lograr una mayor eficiencia y una combustión más completa. Esto se traduce en un aprovechamiento más eficiente de la energía y una mayor generación de calor o energía útil.
- 10

Otra ventaja es la posibilidad de capturar y concentrar el dióxido de carbono (CO₂) resultante de la combustión. Al utilizar oxígeno puro o enriquecido, se obtiene una corriente de gases de combustión que contiene un alto contenido de CO₂, lo que facilita su captura y posterior almacenamiento o utilización en procesos industriales. En particular, el CO₂ producido es usado como insumo del proceso de metanación que ejecuta el reactor de metanación (10). Esta sinergia proporciona una forma efectiva de utilizar y convertir el CO₂ en metano, lo que contribuye a la reducción de emisiones y al desarrollo de un sistema energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

15

20

Adicionalmente, usar biomasa como una fuente de combustible sostenible y renovable reduce de las emisiones de gases de efecto invernadero y al desarrollo de una matriz energética más limpia.

- 25 La biomasa puede seleccionarse del grupo que comprende desechos agrícolas, residuos forestales, desechos de la industria alimentaria, y cualquier otro material orgánico conocido por una persona medianamente versada en la materia. Preferiblemente, la biomasa tiene un pretratamiento. Ejemplos de pretratamiento de biomasa son, compactación, secado, trituración, peletización, torrefacción, y pirólisis y combinaciones de los mismos.
- 30

Opcionalmente, la biomasa puede reemplazarse o combinarse con cualquier otro combustible de origen biogénico, por ejemplo, biogás producto de reacciones biológicas y/o fermentativas, gas de síntesis, pellets de biomasa, y cualquier otro combustible de origen biogénico conocido por una persona medianamente versada en la materia.

5

Haciendo referencia a la FIG. 3 y la FIG. 4, el aparato de oxicomustión (19) puede incluir un quemador (29) de co-combustión que tiene un primer conducto (31) con una entrada (32) de combustible, un segundo conducto (30) conectado a la entrada de oxidante (20) y un tercer conducto (33) conectado a la entrada de combustible, por ejemplo, la entrada de biomasa (21).

10

Se entenderá en la presente divulgación por co-combustión al proceso en el que se queman conjuntamente dos o más combustibles en una misma instalación o mecanismo de combustión. En el contexto de la biomasa, la co-combustión implica la mezcla y quema simultánea de biomasa con otro tipo de combustible para aprovechar las características y beneficios de ambos. La co-combustión puede ofrecer ventajas en términos de eficiencia energética, reducción de emisiones y aprovechamiento de recursos renovables.

15

La co-combustión es beneficiosa debido a que la reacción del combustible, por ejemplo gas natural, ayuda a estabilizar la combustión de combustibles sólido, tales como carbón pulverizado y biomasa sólida, lo cual podría ser difícil de quemar sin la asistencia de reacciones de combustible gaseoso. En este caso, la asistencia de la combustión del combustible ayuda a completar la liberación de volátiles de la biomasa sólida y su ignición, lo que permite que se utilice de manera más eficiente la biomasa. La liberación de los volátiles de los sólidos de la biomasa requiere de un proceso de calentamiento, y en este caso, la combustión de combustible ayuda a mantener un calentamiento estable, lo que contribuye a una liberación de volatilización adecuada y un proceso de combustión mejorado. Adicionalmente, la co-combustión permite una combustión estable, completa con bajas emisiones CO, NOx y más eficiente en comparación con quemar la biomasa o cualquier otro combustible sólido de otra manera.

25

30

En alguna de las modalidades del aparato (1), la entrada (32) del primer conducto (31) del quemador (29) está conectada a una fuente de combustible. La fuente de combustible

puede almacenar un combustible líquido, sólidos o gaseoso. Preferiblemente, el combustible tiene un poder calorífico mucho mayor que el de la biomasa que se suministra en la entrada de biomasa (1).

- 5 Por ejemplo, el combustible puede ser combustible gaseoso. El combustible gaseoso puede seleccionarse del grupo que comprende metano, hexano, hidrogeno, gas de síntesis, biogás, gas de coque, o cualquier otro gas combustible obtenido de procesos químicos, bioquímicos y/o petroquímicos conocido por una persona medianamente versada en la materia. Cuando se usa combustible gaseoso, el aparato de
10 oxidación (19) puede además incluir inyectores de combustible gaseoso.

Cuando el combustible es líquido, este puede seleccionarse entre diesel, gasolina, etanol, metanol, y cualquier otro combustible líquido conocido por una persona medianamente versada en la materia. Si se usa combustible líquido, el quemador (29) puede incluir
15 inyectores y/o sistemas de pulverización configurados para suministrar el combustible líquido en microgotas (droplets, en inglés). La pulverización del combustible líquido en microgotas mejora la mezcla y la eficiencia de la combustión, ya que aumenta la superficie de contacto entre el combustible y el oxidante, facilitando así la ignición y la liberación de energía.

20 La inclusión de inyectores y sistemas de pulverización en el quemador (29) permite un control preciso del suministro de combustible líquido, lo que resulta en una combustión más eficiente y una mejor distribución de la energía liberada. Además, la pulverización en microgotas favorece una mezcla homogénea y una combustión más completa,
25 reduciendo así las emisiones de gases contaminantes.

En cualquiera de las modalidades que se usan inyectores, estos pueden seleccionarse del grupo que comprende inyectores de tipo pulverizador, inyectores de tipo chorro, inyectores de tipo vaporizador, inyectores de tipo anular, inyectores de tipo mezclador,
30 inyectores de tipo Venturi, inyectores de tipo doble cono, inyectores de tipo paleta, y combinaciones de los mismos.

Haciendo referencia a la FIG. 3 y la FIG. 4, el quemador (29) de co-combustión recibe el combustible sólido, por ejemplo, la biomasa, en el tercer conducto (33), el cual preferiblemente se dispone en el eje central del quemador (29). El segundo conducto (30) y el primer conducto (31) se disponen concéntricamente con el tercer conducto (33). Preferiblemente, el segundo conducto (30) envuelve al primer conducto (31) y el tercer conducto (33). De esta manera, el oxidante rodea el combustible y la biomasa. El oxidante es una mezcla de O_2 obtenido en el aparato de electrólisis (5) y gases de combustión ricos en CO_2 . Preferiblemente, los gases de combustión son los gases recirculados que genera el quemador (29).

En cualquiera de las modalidades el aparato (1) que incluyen un quemador (29) de co-combustión, el quemador (29) puede además incluir generadores de vórtice o swirlers (no ilustrados). Estos generadores de vórtice o swirlers pueden incluir álabes estáticos y/o móviles. Los álabes pueden disponerse en cualquiera de los conductos (30, 31, 33) del quemador (29). En algunas modalidades del aparato, el quemador (29) puede tener los álabes de los generadores de vórtice o swirlers en el segundo conducto (30) a través del cual se suministra oxidante.

Estas modalidades permiten una mezcla más homogénea del combustible sólido, por ejemplo, la biomasa, y el combustible (v.g., gaseoso, líquido), lo que resulta en una combustión más completa y eficiente en comparación que solo quemar la biomasa. Esto se traduce en una mayor liberación de energía y una mejor utilización de los recursos combustibles. El fenómeno del efecto swirl en la combustión de gases se refiere a la generación de un flujo rotacional en una corriente de gas. Cuando el combustible gaseoso pasa a través de los álabes, se crea un movimiento giratorio en el flujo. Este flujo rotacional resultante tiene varias ventajas en la combustión de gases. Una de estas ventajas es mejorar la mezcla entre el combustible y el oxidante que ingresan a través de los conductos (30, 31, 33) del quemador (29). El movimiento rotacional generado por los álabes promueve una distribución más uniforme de la biomasa, el oxidante y el combustible, lo que favorece una combustión eficiente y reduce la formación de zonas de combustión localizada.

Otra de las ventajas del efecto swirl es ayudar a estabilizar la llama en el quemador (29). El flujo rotacional generado por los álabes (26) contribuye a mantener una región centralizada de combustión, evitando la propagación de la llama hacia los bordes del quemador (29). Esto proporciona una combustión más estable y controlada, reduciendo las posibilidades de apagado de la llama y mejorando la seguridad operativa.

En cualquiera de las modalidades del aparato (1), la salida de gases de combustión (22) del aparato de oxidcombustión (19) puede conectarse a un intercambiador de calor. El intercambiador de calor permite suministrar calor a procesos industriales. Por ejemplo, el intercambiador de calor puede ser una caldera pirotubular, donde los gases de combustión producidos en la oxidcombustión pasan por unos tubos de la caldera. Similarmente, los gases de combustión pueden suministrarse a un calentador de paso. En este último, el calentador puede incluir tubos, o serpentines a través de los cuales circula un fluido de servicio, que puede ser líquido o gaseoso.

También, el intercambiador de calor puede seleccionarse del grupo que comprende intercambiadores de tubos y coraza, serpentines, de un paso, de dos pasos, de tres o más pasos, de placas con aletas, y combinaciones de los mismos, calentadores de tubos radiantes, y cualquier otro tipo de intercambiadores de calor conocidos por una persona medianamente versada en la materia.

En cualquiera de las modalidades del aparato (1), este puede además incluir un aparato de captura de gases (13) que incluye un compresor (27) y un tanque (28) conectado al compresor (27), donde el tanque (28) está configurado para almacenar el oxígeno obtenido en la electrólisis.

Haciendo referencia a la FIG. 2, el compresor (27) y el tanque (28) permiten acumular el oxígeno. Esto tiene como ventaja garantizar un flujo continuo de oxígeno hacia el aparato de oxidcombustión (19). Esto a su vez permite que se garantice la generación CO_2 a partir de la oxidcombustión de biomasa.

En modalidades no ilustradas, se puede además incluir un dispositivo de almacenamiento de hidrógeno con un segundo compresor y un segundo tanque conectado a segundo

compresor. Estos están configurados para capturar y acumular H_2 . Estas modalidades, cuando se combinan con las que incluyen el compresor (27) y el tanque (28) permiten acumular H_2 y O_2 , lo que a su vez garantiza los insumos para el proceso de metanación que se ejecuta en el reactor de metanación (10). Al contar con reservas de hidrógeno y oxígeno, se asegura la disponibilidad continua de estos insumos para el proceso de metanación que tiene lugar en el reactor de metanación (10). Estas modalidades aportan una mayor eficiencia y operatividad del sistema, ya que se evitan interrupciones y se garantiza un suministro constante de los gases necesarios para el proceso de producción de metano.

Haciendo referencia a la FIG. 5, en algunas modalidades del aparato (1), este puede además incluir un dispositivo de captura de dióxido de carbono (34) conectado a la salida de gases de combustión (22) del aparato de oxidcombustión (19). El dispositivo de captura de dióxido de carbono (34) se conecta al dispositivo mezclador de gases (9).

Una de las ventajas del dispositivo de captura de dióxido de carbono (34) es su capacidad para capturar y retener el CO_2 resultante de la oxidcombustión. Al conectarlo a la salida de gases de combustión (22), se permite que los gases de combustión sean procesados y aprovechados. Estos gases de combustión contienen una alta concentración de CO_2 , como consecuencia de la combustión en ausencia de Nitrógeno que tendría el caso de quemar el combustible y la biomasa con aire. Por lo tanto, la eficiencia del dispositivo de captura de dióxido de carbono (34) es mayor que en el caso que se usa aire para la combustión. El CO_2 capturado puede ser utilizado como insumo en otros procesos, como el proceso de metanación que se lleva a cabo en el reactor de metanación (10), fortaleciendo así la eficiencia y la sostenibilidad del aparato (1).

El dispositivo de captura de dióxido de carbono (34) puede estar basado en procesos químicos, electroquímicos, adsorción, absorción, criogenización y combinaciones de los mismos.

Por ejemplo, el dispositivo de captura de dióxido de carbono (34) puede estar basado en absorción química. Estos dispositivos pueden utilizar solventes químicos, como aminas, que tienen la capacidad de absorber el CO_2 presente en los gases de combustión. Las

soluciones químicas reaccionan con el CO₂, permitiendo su separación de otros gases. Una de las ventajas de este enfoque es su capacidad para capturar grandes volúmenes de CO₂ de manera eficiente, lo que contribuye significativamente a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

5

Por ejemplo, el dispositivo de captura de dióxido de carbono (34) puede incluir columnas o torres de absorción, donde un flujo turbulento promueve una transferencia de CO₂ del gas al líquido. Las diferencias de densidad facilitan la separación del gas y el líquido resultantes. Para recuperar el CO₂ capturado, el disolvente cargado se bombea hacia un "stripper" donde se expone a un gas más caliente y libre de CO₂, generalmente vapor. El calentamiento del disolvente provoca la desorción del CO₂ (y trazas de nitrógeno). El líquido despojado se bombea de nuevo al absorbedor, mientras que la mezcla de vapor/CO₂ se enfría para condensar el vapor, dejando un CO₂ de alta pureza adecuado para la compresión y, después de ser transportado a un sitio adecuado, para su almacenamiento.

15

También, el dispositivo de captura de dióxido de carbono (34) puede estar ejecutar un proceso de adsorción. Estos dispositivos utilizan materiales adsorbentes, como zeolitas o carbones activados, que tienen una estructura porosa capaz de atrapar el CO₂ presente en los gases de combustión. Estos materiales tienen una alta afinidad por el CO₂ y permiten su separación selectiva. Una ventaja de este enfoque es su capacidad para capturar CO₂ en condiciones de alta concentración y temperatura, lo que facilita su integración en el proceso de oxidación.

20

El dispositivo de captura de dióxido de carbono (34) también puede incluir membranas selectivas. Estos dispositivos utilizan membranas especiales que permiten el paso selectivo del CO₂ a través de ellas, mientras que otros gases son retenidos. Las membranas selectivas son capaces de separar el CO₂ de los gases de combustión, permitiendo su captura y retención. Esta tecnología ofrece ventajas en términos de eficiencia y simplicidad de diseño, ya que no requiere productos químicos adicionales.

30

Cualquiera de las modalidades del aparato (1) que incluyen el dispositivo de captura de dióxido de carbono (34), el aparato de captura de gases (13), y/o el dispositivo de

almacenamiento de hidrógeno puede incluir compresores (v.g., el compresor (27), segundo compresor), elementos para control de flujo y/o presión de gases, y elementos de almacenamiento de gases. Estos elementos permiten presurizar los gases y almacenarlos en recipientes a presión, tales como tanques y pipetas de gas.

5

En cualquiera de las modalidades del aparato (1), el reactor de metanación (10) ejecuta un proceso de metanación. Preferiblemente, el proceso de metanación está basado en la reacción de Sabatier.

10 La reacción de Sabatier es un proceso químico en el que el hidrógeno (H_2) y el dióxido de carbono (CO_2) reaccionan en presencia de un catalizador para producir metano (CH_4) y agua (H_2O). En el reactor de metanación (10), se proporcionan las condiciones adecuadas de temperatura y presión, así como el catalizador necesario, para favorecer la reacción de Sabatier y promover la formación de metano. Esta reacción química permite
15 aprovechar el dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero, y convertirlo en metano.

El proceso de metanación llevado a cabo por el reactor de metanación (10) ofrece varias ventajas técnicas en el aparato. En primer lugar, permite aprovechar de manera eficiente el dióxido de carbono producido en otras etapas del proceso, como la oxidación de
20 biomasa. Al convertir el CO_2 en metano, se logra una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Además, el metano producido en el reactor de metanación (10) ser quemado directamente para generar calor o convertido en electricidad en un ciclo combinado de
25 gas. También puede ser utilizado como combustible en aplicaciones industriales, como en la producción de calor o en la alimentación de sistemas de cogeneración.

El reactor de metanación (10) puede seleccionarse del grupo que comprende reactores de lecho fijo, reactores de lecho fluidizado, reactores de lecho empacado, reactores de
30 membrana, y reactores de lecho móvil.

El reactor de lecho fijo tiene un lecho sólido inmóvil en el que ocurre la reacción de metanación. En el reactor de lecho fluidizado, los materiales sólidos se encuentran en

suspensión y se mueven con el flujo de gases. En cuanto al, reactor de lecho empacado, en este se utilizan materiales porosos o catalizadores soportados en un lecho fijo para facilitar la reacción. Otro enfoque es el reactor de membrana, que utiliza membranas permeables para separar y concentrar el metano producido. Por su parte, el reactor de lecho móvil utiliza un lecho de catalizador móvil para mejorar la transferencia de masa y la eficiencia de la reacción.

En algunas modalidades del aparato (1), este incluye además un mezclador de combustible conectado a la salida de metano (12) del reactor de metanación (10), donde el mezclador de combustible tiene una salida conectada a un gasoducto de metano.

La utilización del mezclador de combustible permite la obtención de una composición de gas adecuada y óptima para su posterior transporte y almacenamiento a través de un gasoducto de metano. Gracias a esta conexión directa, el metano producido puede ser transportado de manera eficiente y segura a su destino final, ya sea para su uso en aplicaciones industriales, comerciales o residenciales.

Además, el uso del gasoducto de metano como medio de transporte presenta varias ventajas técnicas. Permite una distribución eficiente del metano a través de una red de tuberías, lo cual es especialmente beneficioso en aplicaciones a gran escala. Además, reduce las pérdidas y fugas de gas durante el transporte en comparación con otros métodos de transporte, como el transporte por camiones cisterna.

Haciendo referencia a la FIG. 4, en cualquiera de las modalidades del aparato (1) aquí descrito, el aparato (1) puede además incluir un condensador (24) que recibe vapor de agua desde el reactor de metanación (10).

El condensador (24) puede ser cualquier tipo de intercambiador de calor que permita cambiar de fase el vapor de agua, y obtener agua líquida. Ejemplos de condensadores (24) son intercambiadores de tubo y coraza, intercambiadores de placas, tanques flash, y cualquier otro condensador de vapor conocido por una persona medianamente versada en la materia.

En una salida (26) del condensador (24) se extrae el agua líquida. Preferiblemente, la salida (26) se conecta a una bomba (ni ilustrada). La bomba se dispone en una tubería que conecta la salida (26) del condensador (24) con una fuente de agua (16). La fuente de agua (16) puede ser un tanque de almacenamiento de agua. De esta manera, se puede

5 aprovechar el agua generada en por el reactor de metanación (10). Esto permite reducir el impacto ambiental de tomar agua del ambiente. Esto tiene especial ventaja en zonas desérticas donde se tienen dispositivo de generación de energía solar (4), por ejemplo, granjas de paneles fotovoltaicos.

10 Además, recircular el agua permite evitar procesos de pretratamiento del agua usada en el electrolizador, ya que, el agua líquida obtenida por el reactor de metanación (10) tiene mayor pureza que el agua que puede tomarse de fuentes hídricas. El agua que se toma de fuentes hídricas, como ríos, lagos y el mar, contiene minerales. Estos minerales preferiblemente deben retirarse para evitar que se depositen minerales en el dispositivo

15 de electrólisis (5), en particular, en sus electrodos.

En algunas modalidades del aparato (1), este puede incluir además un aparato de síntesis de combustibles líquidos. El aparato de síntesis de combustibles líquidos transforma el metano producido por el reactor de metanación (10) en combustibles con mayor poder

20 calorífico, tales como el metanol, dimetileter (DME) y gasolina.

El proceso de síntesis de combustibles líquidos implica una serie de transformaciones químicas que modifican la composición del metano para generar productos de mayor densidad energética. Esto se logra mediante la aplicación de catalizadores y condiciones

25 de reacción adecuadas.

En el aparato de síntesis de combustibles líquidos, el metano se somete a una serie de etapas de reacción, como la deshidrogenación y la reordenación molecular, que permiten la formación de compuestos más complejos y ricos en energía. Estos compuestos pueden

30 incluir metanol, dimetileter (DME), gasolina u otros combustibles líquidos de interés.

La inclusión de este aparato de síntesis de combustibles líquidos en el sistema presenta varias ventajas. En primer lugar, permite aprovechar de manera más eficiente el metano

producido por el reactor de metanación (10), convirtiéndolo en combustibles líquidos de mayor valor y utilidad. Estos combustibles líquidos pueden ser utilizados en una amplia gama de aplicaciones, como vehículos de combustión interna o como insumos para la industria química.

5

Además, la transformación del metano en combustibles líquidos con un mayor poder calorífico aumenta la densidad energética del producto final, lo que facilita su almacenamiento, transporte y utilización. Asimismo, la generación de combustibles líquidos a partir del metano contribuye a diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de los combustibles fósiles convencionales.

10

La presente divulgación además incluye modalidades de un proceso de obtención de gases combustibles a partir de energías renovables. El proceso tiene una etapa de obtener oxígeno e hidrógeno mediante un dispositivo de electrólisis (5) que incluye un dispositivo de separación de gases (8). También, el proceso tiene una etapa de obtener una mezcla de gases que incluye hidrógeno y dióxido de carbono con un dispositivo mezclador (9). El dióxido de carbono se recibe desde un aparato de oxidación (19) el cual, preferiblemente opera con gas combustible de origen biogénico. Además, el método tiene una etapa de obtener metano con un reactor de metanación (10) que ejecuta una reacción de Sabatier, donde el reactor de metanación (10) recibe la mezcla de gases obtenida por el dispositivo mezclador (9).

15

20

La etapa de obtener el oxígeno y el hidrógeno está basada en un proceso de electrólisis ejecutado por el dispositivo de electrólisis (5). En esta etapa el dispositivo de electrólisis (5) recibe agua líquida en la entrada (6). Además, el dispositivo de electrólisis (5) recibe corriente eléctrica del aparato de generación de energía (2).

25

El proceso de electrólisis se lleva a cabo a temperaturas y presiones específicas, junto con un determinado voltaje aplicado al dispositivo de electrólisis (5). A medida que la corriente eléctrica pasa a través del dispositivo de electrólisis, se produce la descomposición del agua en sus H_2 y O_2 . El dispositivo de separación de gases (8) direcciona el oxígeno hacia la salida de oxígeno (17) y el hidrógeno hacia la salida de hidrógeno (18). Las condiciones de flujo de agua, corriente eléctrica, temperatura y

30

presión dependen del tipo del dispositivo de electrólisis (5) usado. La selección del dispositivo de electrólisis (5) dependerá de la corriente que pueda proporcionar el aparato de generación de energía (2).

- 5 Por ejemplo, para los electrolizadores de membrana de intercambio de protones (PEM), las condiciones típicas de operación pueden ser una temperatura en el rango de 50-80 °C y una presión en el rango de 100-400 kPa. También, puede haber PEMs que operan hasta a presiones de 2000kPa. La corriente eléctrica aplicada a una celda PEM del dispositivo de electrólisis (5) puede ser entre 1-3 amperios, con un voltaje que puede variar entre
10 1.5 y 2.5 voltios.

En cuanto a los electrolizadores de membrana de intercambio aniónico (AEM), las condiciones de operación suelen ser diferentes. Estos electrolizadores pueden trabajar a temperaturas más bajas, generalmente en el rango de 30-60 °C, y a presiones ligeramente
15 más altas, por ejemplo, entre 100 y 1000 kPa. La corriente eléctrica aplicada puede ser similar a la de los PEM, en él puede ser entre 1-3 amperios, y los voltajes requeridos pueden ser entre 2 y 3 voltios.

Preferiblemente, después de la etapa de obtener oxígeno e hidrógeno, el proceso incluye
20 una etapa de almacenar el oxígeno en un tanque (28). Esta etapa incluye comprimir el oxígeno que sale el dispositivo de separación de gases (8) con un compresor (27). Similarmente, un segundo compresor comprime el hidrógeno y lo almacena en un segundo tanque. Eso permite acumular hidrógeno y oxígeno en tanques separados, con el fin de garantizar el flujo de gases hacia otros elementos del aparato (1), tales como el
25 aparato de oxicomcombustión (19) y el reactor de metanación (10).

En cuanto a la etapa de obtener la mezcla de gases que incluye hidrógeno y dióxido de carbono con un dispositivo mezclador (9), el dispositivo mezclador (9) puede incluir
30 válvulas de regulación de flujo y/o presión que permiten obtener una mezcla de gases homogénea y estable. Adicionalmente, el dispositivo mezclador (9) puede conectarse a una fuente de un gas inerte (15), por ejemplo, de nitrógeno.

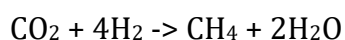
En estos casos, el proceso puede incluir además una etapa de precalentar el reactor de metanación (10) suministrando desde el dispositivo mezclador (9) un gas inerte a una temperatura entre 280°C y 300°C. La etapa de obtener metano comienza una vez el reactor de metanación (10) alcanza una temperatura de operación predeterminada.

5

El gas inerte puede utilizarse para precalentar el reactor de metanación (10) y extraer cualquier gas reactivo, en particular, aire, del reactor de metanación (10). Haciendo referencia a la FIG. 4, la fuente de gas inerte (15) puede ser un tanque a presión. El reactor de metanación (10) puede incluir elementos de calentamiento configurados para precalentarlo. Por ejemplo, el reactor de metanación (10) puede incluir una chaqueta configurada para recibir un fluido de servicio. El fluido de servicio puede ser caliente para el precalentamiento del reactor de metanación (10), por ejemplo, puede ser vapor de agua, o gases de combustión del aparato de oxidación (19). También, el fluido de servicio puede ser un fluido de refrigeración, que se proporciona una vez el reactor de metanación (10) inicia el proceso de metanación. Al ser la reacción de Sabatier exotérmica, el fluido de refrigeración permite mantener la temperatura de operación del reactor de metanación (10).

En la etapa de obtener metano con un reactor de metanación (10) se ejecuta la reacción de Sabatier. La reacción de Sabatier, también es un tipo de reacción de metanación que involucra la combinación de dióxido de carbono (CO₂) e hidrógeno (H₂) para formar metano (CH₄) y agua (H₂O). La ecuación química de la reacción de Sabatier es la siguiente:

25



En esta reacción, el dióxido de carbono y el hidrógeno reaccionan en presencia de un catalizador para producir metano y agua. La reacción es exotérmica, lo que significa que libera energía en forma de calor.

La reacción de Sabatier se puede llevar a cabo a temperaturas moderadas y presiones relativamente altas. Las temperaturas típicas de operación oscilan entre 200 y 400 °C, mientras que las presiones suelen variar entre 1000 y 5000 kPa. Estas condiciones de temperatura y presión son seleccionadas para favorecer la formación eficiente de metano

a partir de dióxido de carbono e hidrógeno, maximizando así la conversión de los reactivos y el rendimiento del proceso. Es importante tener en cuenta que las condiciones exactas pueden variar dependiendo del catalizador utilizado y las especificaciones particulares de la aplicación.

5

En cuanto a los catalizadores, estos pueden seleccionarse del grupo que comprende catalizadores basados en metales de transición, óxidos mixtos, catalizadores de níquel (Ni), de rutenio (Ru), de cobalto (Co), de metales nobles y combinaciones de los mismos.

10

Para separar el agua del metano, el reactor de metanación (10) puede incluir elementos de separación de gases, como condensadores, medios de absorción y medios de adsorción.

15

En cuanto a los condensadores, por ejemplo, un condensador (24), en estos se recibe la corriente gaseosa que contiene agua y metano y se enfría a una temperatura por debajo del punto de condensación del agua. Como resultado, el vapor de agua se condensa y se convierte en agua líquida, mientras que el metano permanece en forma gaseosa. El agua condensada se puede recoger y separar del metano.

20

Por su parte, los medios de absorción usan un solvente selectivo para absorber el metano de la corriente gaseosa. El solvente preferentemente captura el metano, dejando el agua en forma gaseosa. Luego, se realiza una etapa de regeneración donde el metano se desorbe del solvente y se recupera en forma pura.

25

Por otro lado, en los medios de adsorción se emplea un material adsorbente que tiene una alta afinidad por el metano. La corriente gaseosa que contiene agua y metano se hace pasar a través del material adsorbente, donde el metano se adhiere a la superficie del adsorbente mientras que el agua pasa a través sin ser retenida. Luego, se regenera el

30

adsorbente y se recupera el metano.

El proceso puede además incluir una etapa de obtener dióxido de carbono de origen biogénico. Esta etapa permite obtener el dióxido de carbono que se suministra al reactor

de metanación (10). El dióxido de carbono de origen biogénico se obtiene en el aparato de oxidación (19). El aparato de oxidación (19) quema biomasa en condiciones de oxidación. En este caso, se recirculan los gases de combustión y se mezclan con oxígeno obtenido por el dispositivo de electrólisis (5). Esta mezcla obtiene el oxidante necesario para quemar la biomasa.

Opcionalmente, el dióxido de carbono de origen biogénico puede obtenerse en un reactor de biogás. El reactor contiene microorganismos que producen dióxido de carbono, por ejemplo, por medio de procesos fermentativos.

En algunas modalidades del proceso, el aparato de oxidación (19) obtiene el dióxido de carbono ejecutando un proceso de co-combustión de biomasa y un combustible. El combustible puede ser líquido o gaseoso. El aparato de oxidación (19) puede ser cualquiera de los descritos en las modalidades del aparato (1).

Los gases de combustión generados por el aparato de oxidación (19) preferiblemente son enfriados antes de capturar el CO₂. Por ejemplo, los gases de combustión pueden usarse como fluido de servicio para calentadores de paso, calderas pirotubulares, chaquetas (por ejemplo, del reactor de metanación (10)), o cualquier otro tipo de intercambiador de calor que permita aprovechar la energía térmica de los gases de combustión.

Después de esto, los gases de combustión pueden pasar a un dispositivo de captura de dióxido de carbono (34) conectado a la salida de gases de combustión (22) del aparato de oxidación (19). El dispositivo de captura de dióxido de carbono (34) puede ser cualquiera de los descritos en las modalidades del aparato (1).

En cualquiera de las etapas del proceso, este puede además incluir una etapa de condensar agua en un condensador (24) que recibe vapor de agua desde el reactor de metanación (10); y una etapa de recircular el agua condensada hacia el dispositivo de electrólisis (5). Como se indicó anteriormente, el vapor de agua puede incluir también el metano. En este caso el condensador (24) separa el agua del metano. Ahora bien, si el

reactor de metanación (10) incluye medios de absorción o medios de adsorción, el vapor de agua que recibe el condensador (24) puede estar libre de metano.

5 En una salida (26) del condensador (24) se extrae el agua líquida. Preferiblemente, la salida (26) se conecta a una bomba (ni ilustrada). La bomba se dispone en una tubería que conecta la salida (26) del condensador (24) con una fuente de agua (16). La fuente de agua (16) puede ser un tanque de almacenamiento de agua. De esta manera, se puede aprovechar el agua generada en por el reactor de metanación (10). Esto permite reducir el impacto ambiental de tomar agua del ambiente. Esto tiene especial ventaja en zonas
10 desérticas o con abastecimiento limitado de agua donde se tienen dispositivos de generación de energía solar (4), por ejemplo, granjas de paneles fotovoltaicos.

Además, recircular el agua permite evitar procesos de pretratamiento del agua usada en el dispositivo de electrólisis (5), ya que, el agua líquida obtenida por el reactor de metanación (10) tiene mayor pureza que el agua que puede tomarse de fuentes hídricas.
15 El agua que se toma de fuentes hídricas, como ríos, lagos y el mar, contiene minerales. Estos minerales preferiblemente deben retirarse para evitar que se depositen minerales en el dispositivo de electrólisis (5), en particular, en sus electrodos.

20 **Ejemplos:**

Ejemplo 1: Aparato (1) de obtención de gases combustibles a partir energía solar y eólica

25 Un primer ejemplo del aparato (1) incluye un dispositivo de electrólisis (5) de membrana de intercambio de protones (PEM). El dispositivo de electrólisis (5) tiene un consumo promedio de 4,8kWe.

El aparato de generación de energía (2) incluye una turbina eólica (3) que aporta en
30 promedio 5kWe y un dispositivo de generación de energía solar (4) que aporta en promedio 10kWe. El dispositivo de generación de energía solar (4) es una granja de paneles fotovoltaicos.

El dispositivo de electrólisis (5) tiene una presión de operación de 350kPa y una temperatura de operación inferior a 60°C.

5 En este caso, el dispositivo de separación de gases (8) son las mismas membranas del dispositivo de electrólisis (5). El dispositivo de electrólisis (5) tiene compartimentos donde se va obteniendo por el hidrógeno y el oxígeno.

10 En este ejemplo, un compresor (27) comprime el oxígeno y lo dirige hacia un tanque (28) a presión donde se acumula el oxígeno. El hidrógeno también se acumula en tanques, comprimiéndolo con un segundo compresor.

El aparato (1) de este ejemplo tiene un reactor de metanación (10) de lecho empacado. El catalizador usado es de óxido de níquel, soportado en alumina.

15 El aparato de oxidación (19) tiene un quemador (29) de biomasa. El quemador (29) recibe oxidante que reacciona con la biomasa. El oxidante incluye gases de combustión y oxígeno obtenido por el dispositivo de electrólisis (5). Los gases de combustión cumplen la función de agente diluyente que permite controlar la temperatura de reacción en la boca del quemador (29). En particular, mayores concentraciones de oxígeno elevan la
20 temperatura de llama y la temperatura en la cámara de combustión del aparato de oxidación (19).

El dispositivo mezclador (9) es una unión de tubería que tiene en sus entradas y salida dispositivos de control de flujo y presión.

25

El condensador (24) es un intercambiador de calor de tubos y coraza. En la coraza se recibe el metano y vapor de agua generados por el reactor de metanación (10). En los tubos se circula agua líquida.

30 ***Ejemplo 2: Aparato (1) de obtención de gases combustibles a partir energía solar y eólica con aparato de oxidación (19) de co-combustión***

Se modificó el aparato (1) del ejemplo 1, cambiando el quemador (29) por un quemador de co-combustión.

5 En este ejemplo, el quemador (29) tiene tres conductos (30, 31, 33) concéntricos. En el tercer conducto (33) se suministra biomasa en pellets o pulverizada. En el primer conducto (31) se suministra un gas combustible, por ejemplo, gas natural o gas de síntesis. En este caso, la biomasa se arrastra con gases de combustión recirculados. En el segundo conducto (30) se suministra el oxidante. El segundo conducto (30) incluye álabes configurados para generar vórtices o swirls. El aparato de oxidación (19) 10 tiene una cámara de combustión donde se dispone el quemador (29). La cámara de combustión tiene la salida de gases de combustión (22).

Ejemplo 3: Aparato (1) de obtención de gases combustibles a partir energía solar y eólica con dispositivo de electrólisis (5) tipo AEM.

15 Se modificó el aparato (1) del ejemplo 1, de manera que el dispositivo de electrólisis (5) se reemplaza por dispositivo de electrólisis (5) de membrana de intercambio aniónico (AEM).

20 ***Ejemplo 4: Aparato (1) de obtención de gases combustibles a partir energía solar y eólica con reactor de metanación (10) de lecho fluidizado.***

Se modificó el aparato (1) del ejemplo 1, de manera que el reactor de metanación (10) es de lecho fluidizado.

25 ***Ejemplo 5: Aparato (1) de obtención de gases combustibles a partir de múltiples fuentes de energía renovable.***

30 Se modificó el aparato (1) del ejemplo 1, de manera que el aparato de generación de energía (2) incluye una microcentral hidráulica, el dispositivo de generación de energía solar (4) y la turbina eólica (3).

Se debe entender que la invención aquí reivindicada no se limita a las modalidades aquí divulgadas e ilustradas, pues como lo entenderá una persona medianamente versada en el arte, existen posibles variaciones y modificaciones posibles que no se alejan del espíritu de la invención, el cual solo se encuentra definido por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (1) de obtención de gases combustibles a partir de al menos una fuente de energía renovable, que comprende:

- un dispositivo de electrólisis (5) que tiene:
 - una entrada (6) conectada a un aparato de generación de energía (2) que obtiene energía eléctrica generada de fuentes renovables;
 - una entrada de agua (14) configurada para conectarse a una fuente de agua (16), y
- un dispositivo de separación de gases (8) con una salida de oxígeno (17) y una salida de hidrógeno (18);
- un aparato de oxicombustión (19) que incluye:
 - una entrada de oxidante (20) conectada a la salida de oxígeno (17) del dispositivo de separación de gases (8);
 - una entrada de combustible y
 - una salida de gases de combustión (22),
- un dispositivo mezclador (9) conectado a la salida de hidrógeno (18) del dispositivo de separación de gases (8) y la salida de gases de combustión (22) del aparato de oxicombustión (19),
donde el dispositivo mezclador (9) obtiene una mezcla de gases que incluye al menos hidrógeno y dióxido de carbono,
- un reactor de metanación (10) que incluye:
 - una entrada (11) conectada al dispositivo mezclador (9) configurada para recibir la mezcla de gases, y
 - una salida de metano (12) configurada para extraer metano, y
 - una salida de agua (23) configurada para extraer vapor de agua,
- un condensador (24) que tiene una entrada (25) conectada a la salida de agua (23) del reactor de metanación (10) y una salida (26) conectada a la entrada de agua (14) del dispositivo de electrólisis (5).

2. El aparato de la Reivindicación 1, que además comprende un aparato de captura de gases (13) que incluye un compresor (27) y un tanque (28) conectado al

compresor (27), donde el tanque (28) está configurado para almacenar el oxígeno obtenido en la electrólisis.

3. El aparato de la Reivindicación 1, que además comprende un mezclador de combustible conectado a la salida de metano (12) del reactor de metanación (10), donde el mezclador de combustible tiene una salida conectada a un gasoducto de metano.

4. El aparato de la Reivindicación 1, donde el aparato de oxicomcombustión (19) incluye un quemador (29) de co-combustión que tiene:

- un primer conducto (31) con una entrada (32) de combustible;
- un segundo conducto (30) conectado a la entrada de oxidante (20), y
- un tercer conducto (33) conectado a una entrada de biomasa (21).

5. El aparato de la Reivindicación 1, donde el aparato de generación de energía (2) se selecciona del grupo que comprende turbinas eólicas, paneles fotovoltaicos, motores o turbinas de biogás, microcentrales hidráulicas, generadores eléctricos conectados a plantas de generación de energía mareomotriz, undimotriz, geotérmica, y combinaciones de los anteriores.

6. El aparato de la Reivindicación 1, donde el aparato de generación de energía (2) incluye:

- una turbina eólica (3), y
- un dispositivo de generación de energía solar (4) conectado en paralelo con la turbina eólica (3).

7. El aparato de la Reivindicación 1, que además comprende un dispositivo de captura de dióxido de carbono (34) conectado a la salida de gases de combustión (22) del aparato de oxicomcombustión (19), donde el dispositivo de captura de dióxido de carbono (34) se conecta al dispositivo mezclador de gases (9).

8. Un proceso de obtención de gases combustibles a partir de energías renovables, que comprende

- obtener oxígeno e hidrógeno mediante un dispositivo de electrólisis (5) que incluye un dispositivo de separación de gases (8);

5 - obtener una mezcla de gases que incluye hidrógeno y dióxido de carbono con un dispositivo mezclador (9),

donde el dióxido de carbono se recibe desde un aparato de oxidación (19), y

- obtener metano con un reactor de metanación (10) que ejecuta una reacción de Sabatier, donde el reactor de metanación (10) recibe la mezcla de gases obtenida por el

10 dispositivo mezclador (9).

9. El proceso de la Reivindicación 8, que además comprende:

- condensar agua en un condensador (24) que recibe vapor de agua desde el reactor de metanación (10); y

15 - recircular el agua condensada hacia el dispositivo de electrólisis (5).

10. El proceso de la Reivindicación 8, que además comprende una etapa de precalentar el reactor de metanación (10) suministrando desde el dispositivo mezclador (9) un gas inerte a una temperatura entre 280°C y 300°C,

20 donde la etapa de obtener metano comienza una vez el reactor de metanación (10) alcanza una temperatura de operación predeterminada.

Figuras

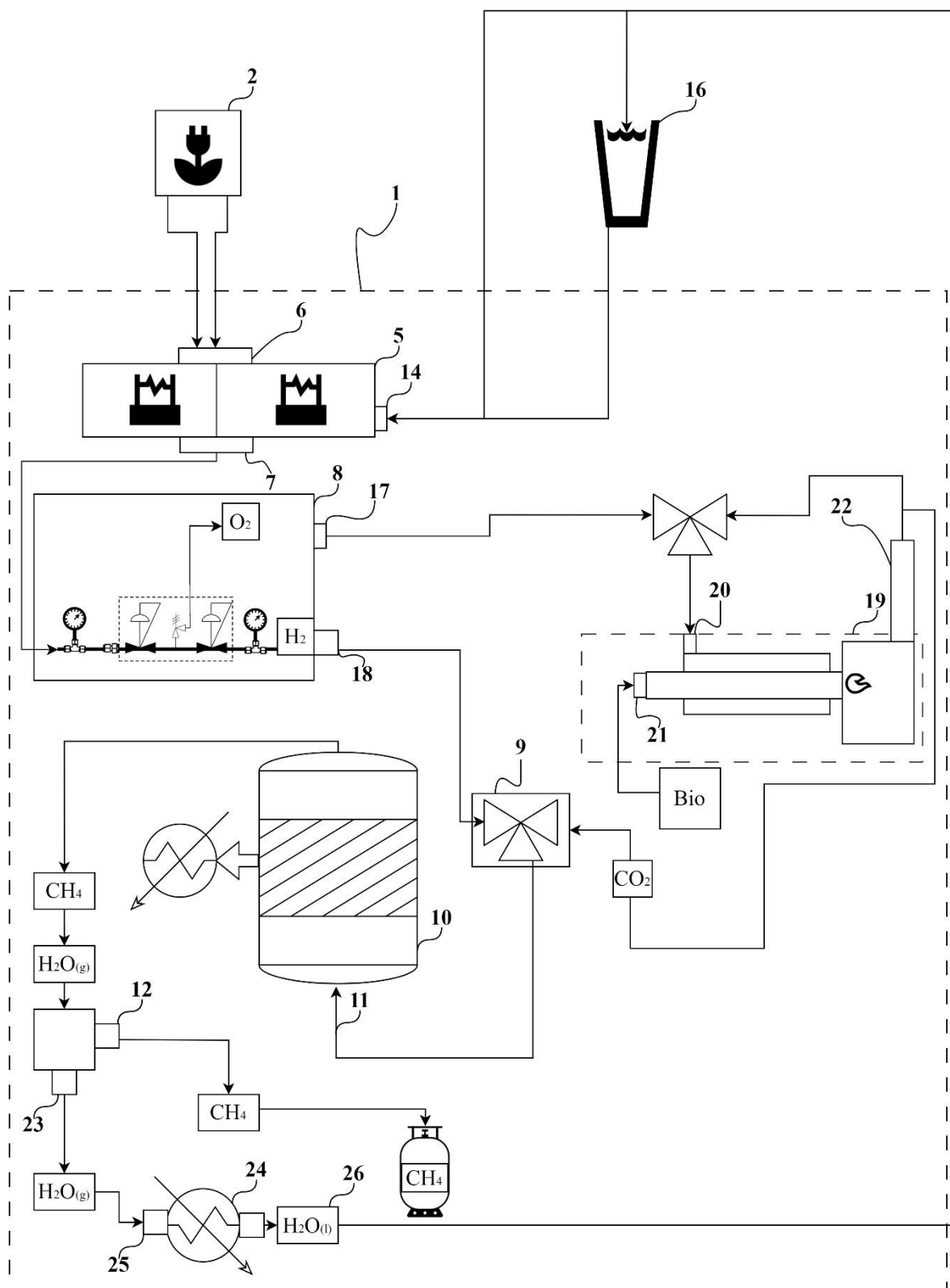


FIG. 1

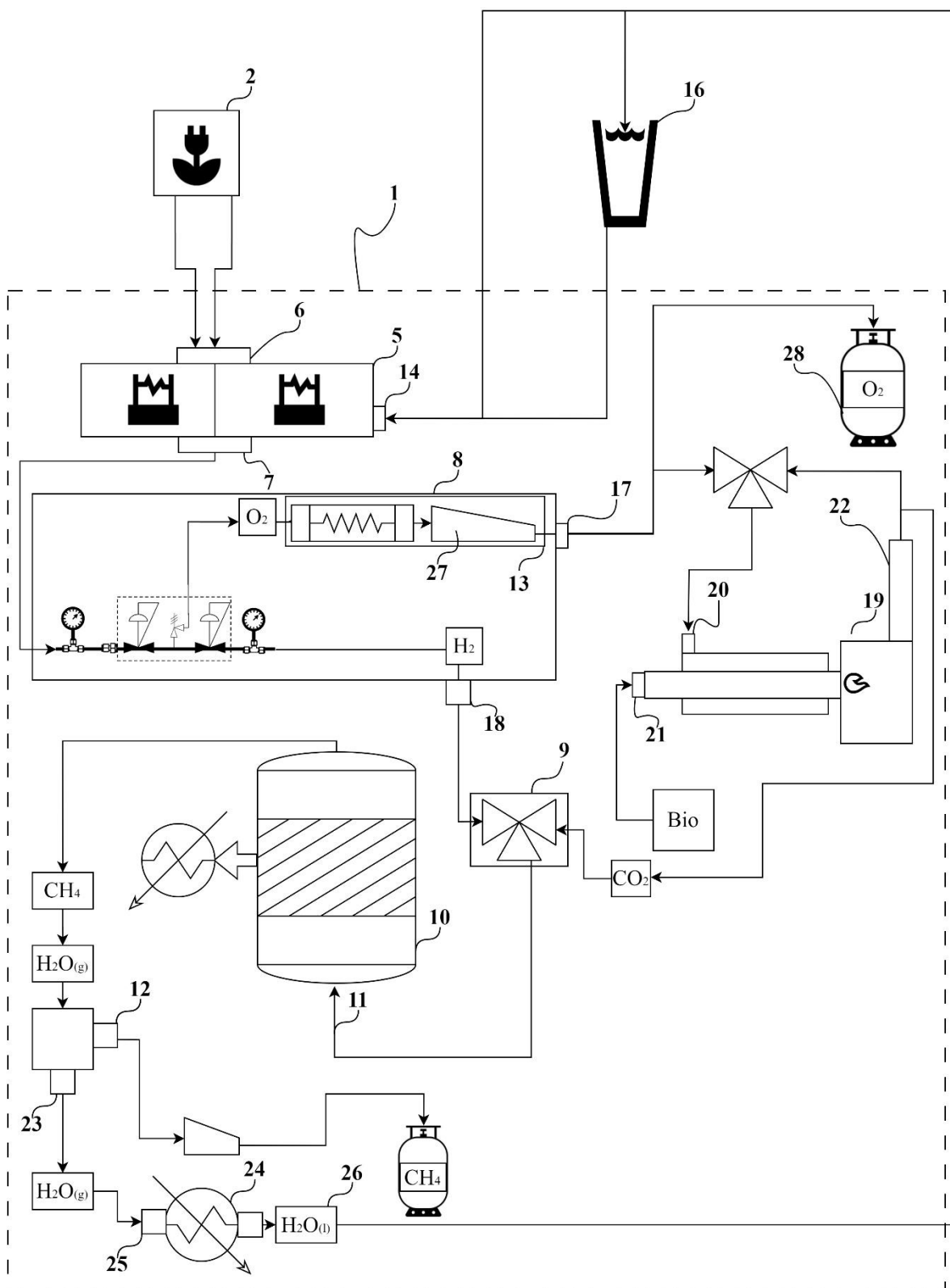


FIG. 2

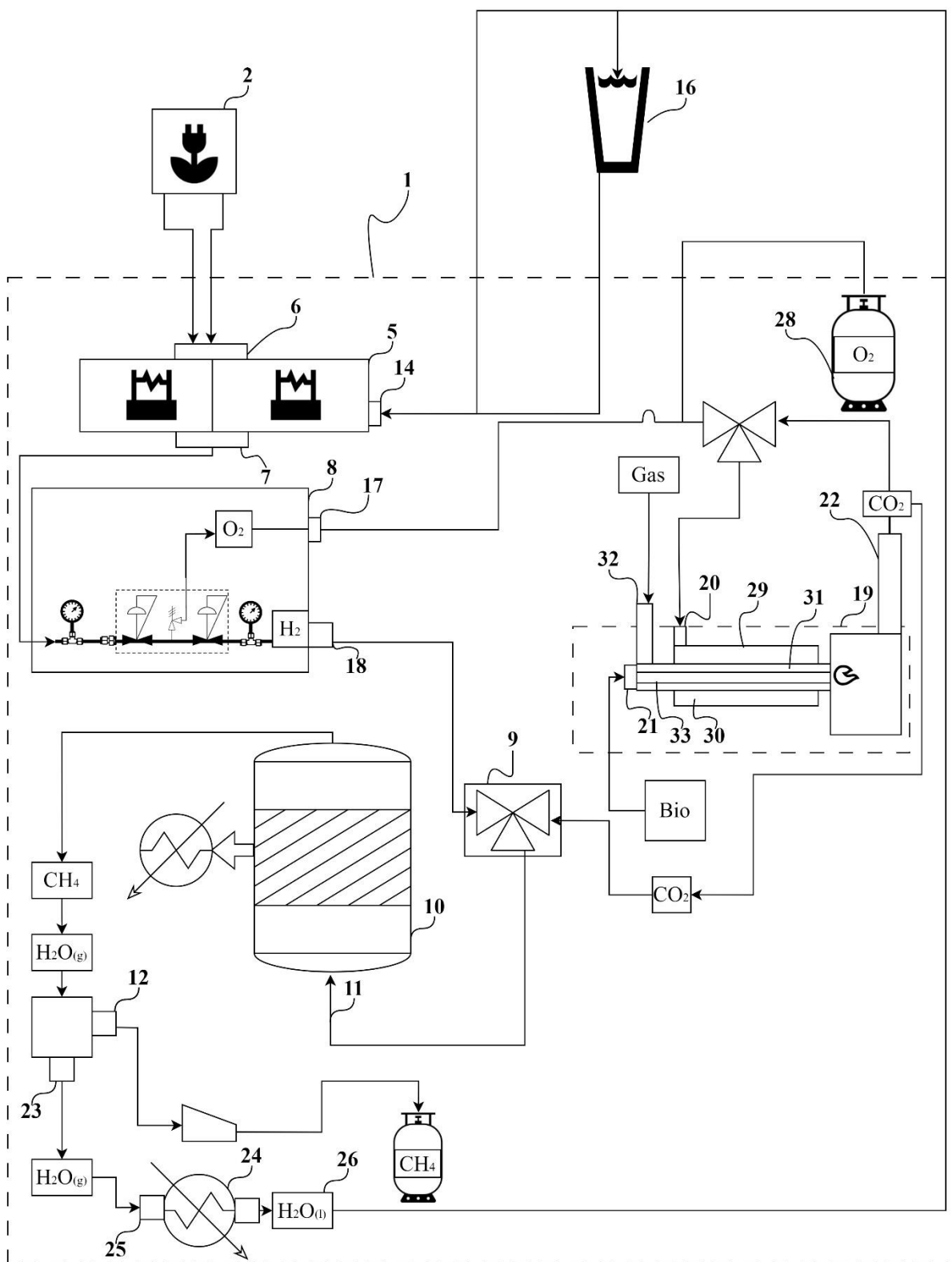


FIG. 3

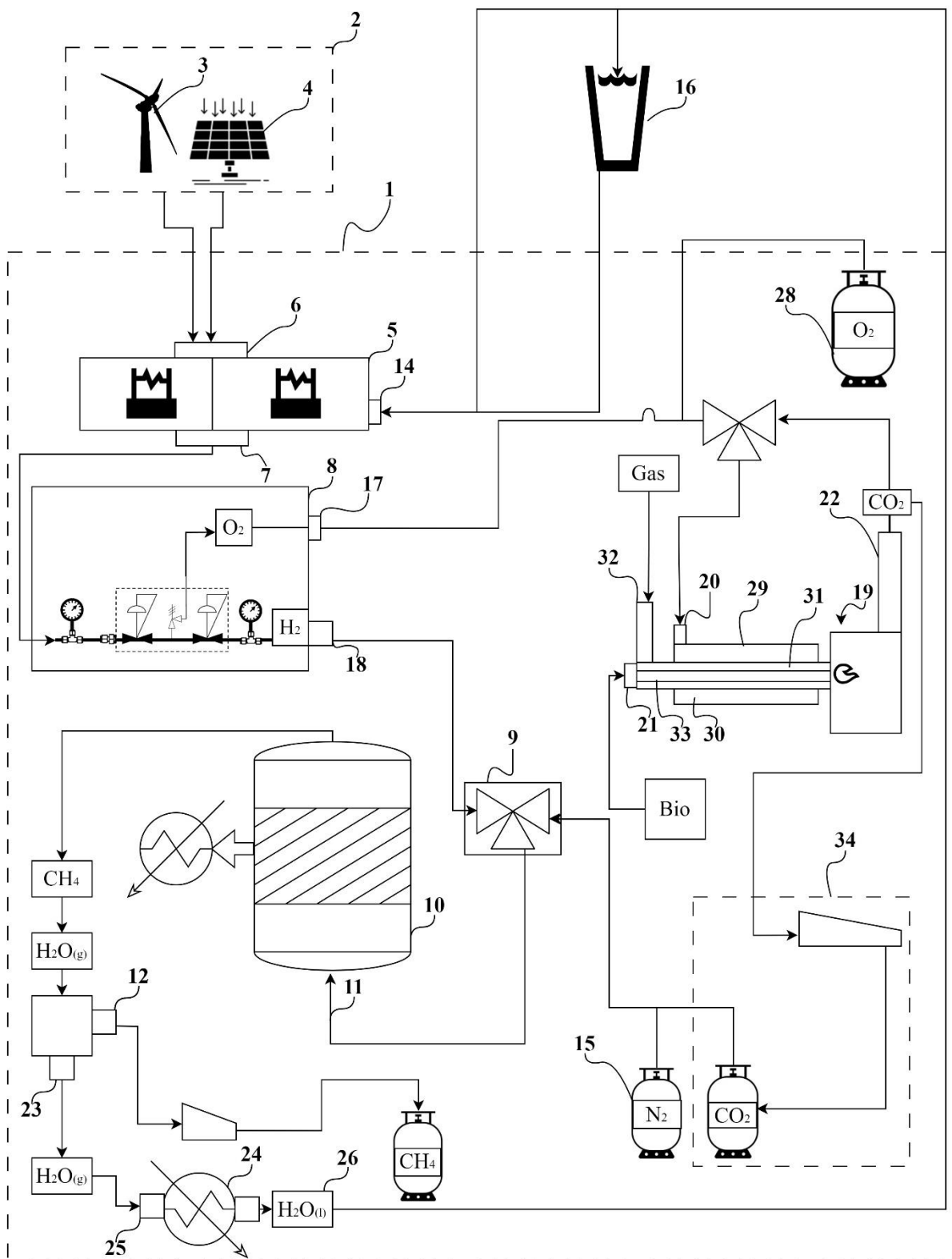


FIG. 4

Resumen

La presente divulgación describe modalidades de un aparato y un proceso de obtención de gases combustibles a partir de al menos una fuente de energía renovable. El aparato incluye un dispositivo de electrólisis con una entrada conectada a un aparato de generación de energía que obtiene energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables. El aparato incluye un aparato de oxidcombustión y un dispositivo mezclador conectado a la salida de hidrógeno de un dispositivo de separación de gases del dispositivo de electrólisis y a la salida de gases de combustión del aparato de oxidcombustión. Este dispositivo mezclador obtiene una mezcla de gases que incluye al menos hidrógeno y dióxido de carbono. El aparato incluye un reactor de metanación que incluye una entrada conectada al dispositivo mezclador. Además, el reactor de metanación tiene una salida de metano y una salida de vapor de agua. El aparato además incluye un condensador con una entrada conectada a la salida de agua del reactor de metanación y una salida conectada a la entrada de agua del dispositivo de electrólisis.

El proceso tiene una etapa de obtener oxígeno e hidrógeno mediante un dispositivo de electrólisis. También, el proceso tiene una etapa de obtener una mezcla de gases que incluye hidrógeno y dióxido de carbono con un dispositivo mezclador. El dióxido de carbono se recibe desde un aparato de oxidcombustión. Además, el método tiene una etapa de obtener metano con un reactor de metanación que ejecuta una reacción de Sabatier.