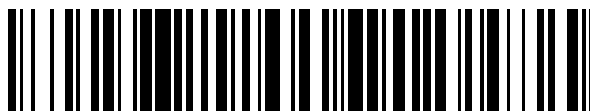


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 496 591**

51 Int. Cl.:

C01B 3/08 (2006.01)

C01B 31/18 (2006.01)

C01B 31/20 (2006.01)

C10G 2/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2007 E 07849602 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.06.2014 EP 2089314**

54 Título: **Métodos y sistemas para producir energía a partir de dióxido de carbono**

30 Prioridad:

25.10.2006 US 862827 P

13.07.2007 US 818967 P

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

19.09.2014

73 Titular/es:

**ENGINEUITY RESEARCH & DEVELOPMENT LTD.
(100.0%)**

**5 HAVATZELET HAHOF STREET P.O. BOX 13129
81223 YAVNE, IL**

72 Inventor/es:

**YOGEV, AMNON y
GAMZON, ELIYAHU**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 496 591 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

Métodos y sistemas para producir energía a partir de dióxido de carbono

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a métodos para producir combustibles a partir de moléculas más sencillas, tales como dióxido de carbono, agua, y/o metano.

10 **Antecedentes de la invención**

A la vista de los precios elevados de la gasolina, y de los problemas ambientales asociados con su amplio uso, es deseable desarrollar un vehículo energético que reemplazaría, al menos parcialmente, el uso de la gasolina y que reduciría las emisiones de CO₂.

15 Uno de dichos vehículos energéticos alternativos es el metanol. En ocasiones, una economía hipotética en el futuro basada en la idea del uso de metanol en lugar de combustibles fósiles como medios de transporte de energía se denomina "la economía del metanol". El artículo Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy escrito por George A. Olah y publicado en Angewandte Chemie International Edition Volumen 44, Edición 18, Páginas 2636-2639, 2005, propone la economía del metanol y analiza la generación de metanol a partir de dióxido de carbono o de metano.

20 El documento de patente de Estados Unidos 2005/042166 A1 desvela un método para la producción de una composición gaseosa que contiene hidrógeno, tal como un gas de síntesis que incluye hidrógeno y monóxido de carbono. Aquí se propone controlar la relación molar de hidrógeno a monóxido de carbono (H₂:CO) en el gas de síntesis para producir una relación que es adecuada para la síntesis de productos útiles tales como metano o metanol, sin la necesidad de retirar óxidos de carbono de la corriente de gas para ajustar la relación.

25 La atención también se dirige al documento WO 2006/123330 A2 que desvela un método para producir hidrógeno y vapor en una cámara de reacción que incluye alimentar un elemento metálico contiguo hacia una fuente de descarga; proporcionando la fuente de descarga intermitentemente una descarga suficiente para iniciar una reacción entre al menos una porción del elemento metálico contiguo y vapor de agua; y continuar la reacción en ausencia de descarga.

35 **Sumario de la invención**

La presente invención proporciona un método que comprende:

40 hacer reaccionar agua y dióxido de carbono con cinc en una cámara de reacción para obtener hidrógeno, monóxido de carbono, y óxido de cinc; y regenerar el cinc a partir del óxido de cinc haciendo reaccionar, en la cámara de reacción, al menos una porción del óxido de cinc con metano, en el que la reacción y la regeneración se llevan a cabo en la misma cámara de reacción.

45 La invención se puede usar para producir combustible que es ecológico, y preferentemente mediante el consumo de gases de efecto invernadero, tales como dióxido de carbono y metano.

Los gases de efecto invernadero se pueden capturar de la atmósfera, o a partir de procesos que los liberan a la atmósfera.

50 Se puede usar aire como una fuente del CO₂. El CO₂ se puede obtener a partir de procesos que lo producen como un producto secundario, por ejemplo, en procesos que producen combustible a partir de fuentes biológicas, por ejemplo, fermentación de maíz.

55 Como alternativa, el CO₂ se puede obtener a partir de vertederos o de fuentes de gas natural, en los que está presente de forma natural junto con metano (CH₄). En la presente invención, CO₂, agua, metano y cinc se hacen reaccionar en conjunto para producir gas de síntesis y óxido de cinc. Sin quedar ligado a la teoría, se supone que el CO₂ reacciona con el metal para producir CO y óxido metálico; el agua reacciona con el metal para producir hidrógeno y óxido metálico, y el metano reacciona con el óxido metálico para obtener más CO y metal. De este modo, parte del metal consumido por el agua y el CO₂ se regenera mediante el metano, y la cantidad de óxido metálico que se tiene que regenerar por electrólisis, es más pequeña de lo que sería sin el metano. La presencia de metano en el proceso puede ahorrar alrededor de dos tercios de la electricidad necesaria para regenerar el metal a partir del óxido metálico.

65 Muchas centrales eléctricas convencionales producen, en las horas de menor demanda, por ejemplo por la noche y durante los fines de semana, más energía eléctrica de la que consumen los consumidores. Existe una necesidad en la técnica de almacenar dicha energía eléctrica, de una manera que permita su uso en las horas de uso de mayor

demanda. El metal se puede regenerar a partir del óxido metálico producido por electrólisis en las horas de menor demanda, usando electricidad barata, y el metal producido se puede usar para producir metanol para reemplazar la electricidad cara en las horas de uso máximo. Como alternativa o adicionalmente, el metanol se puede producir en las horas de menor demanda, y se puede usar en las horas de mayor demanda para producir electricidad, por ejemplo, usando una turbina de gas.

Se pueden proporcionar aparatos para producir combustible a partir del CO₂ atmosférico como un aparato de producción de combustible independiente, que consume el CO₂ del aire, agua de cualquier fuente disponible, y energía. Opcionalmente, la energía se puede obtener a partir de fuentes renovables, tales como energía solar, energía eólica, energía hidráulica, o similares. Como alternativa o adicionalmente, la energía se puede obtener a partir de fuentes de energía eléctrica convencionales basadas en el carbono.

Un aparato para producir combustible puede comprender las siguientes unidades:

I – Una unidad de separación de dióxido de carbono – esta unidad captura el CO₂ del aire, o de cualquier otra fuente disponible, y libera el CO₂ para uso en la unidad II que se describe a continuación. Opcionalmente, esta unidad consume solamente aire y calor.

II – Una unidad de producción de gas de síntesis – esta unidad consume agua y el CO₂ proporcionado en la primera unidad, y posiblemente también metano o cualquier otro material carbonoso; y les hace reaccionar con un metal para producir hidrógeno y monóxido de carbono (CO), la mezcla de los mismos se conoce en la técnica como gas de síntesis, o de forma abreviada, syngas. Esta unidad produce un exceso de calor y crea un óxido metálico como residuo. Opcionalmente, el exceso de calor se usa en la unidad I, y el óxido metálico residual se convierte en metal en la unidad IV.

III – Una unidad de producción de combustible – esta unidad produce combustible carbonoso, por ejemplo, metanol, a partir del gas de síntesis producido por la unidad de producción de gas de síntesis.

IV – una unidad opcional de regeneración de metal, para regenerar el metal a partir del óxido metálico producidos en la unidad de producción de gas de síntesis. La unidad de reciclado de metal puede reducir considerablemente el consumo de metal de todo el aparato, and y en algunos casos reducir este consumo a cero.

Opcionalmente, la unidad de reciclado de metal comprende un baño de electrólisis, configurado para someter a electrólisis al óxido metálico para producir el metal.

El hidrógeno producido por la electrólisis del óxido metálico se puede añadir a la unidad de producción de combustible, ahorrando de este modo al menos una porción del metal y la electricidad necesaria para reciclar esta porción de metal. Además, se pueden usar otras fuentes de hidrógeno para suministrar hidrógeno a la unidad de producción de combustible, además, o en lugar de, hacer reaccionar agua con el metal.

Opcionalmente, la unidad de reciclado de metal recibe calor desde una fuente de calor, por ejemplo, una fuente de calor solar, y/o calor a partir de la unidad de producción de gas de síntesis.

Como alternativa o adicionalmente, el reciclado del metal se puede conseguir por calentamiento del óxido metálico a temperaturas lo suficientemente elevadas. El calor para dicho proceso de reciclado se puede obtener, por ejemplo, a partir de la energía solar.

La energía eléctrica se puede suministrar a las diversas unidades I-IV a partir de cualquier fuente de energía disponible, tal como una central eléctrica nacional o regional. Como alternativa o adicionalmente, el aparato incluye una quinta unidad (en lo sucesivo en el presente documento unidad V), que produce energía eléctrica para el funcionamiento de las otras unidades a partir de fuentes renovables disponibles localmente tales como energía eólica o solar.

Opcionalmente, hidrógeno y monóxido de carbono se producen en relaciones molares adecuadas para preparar un combustible a partir del gas de síntesis obtenido.

Cualquiera de los métodos tal como se ha descrito anteriormente puede comprender la separación del CO₂ de una mezcla de gases, e introducir el CO₂ separado en dicha segunda cámara de reacción. Opcionalmente, dicha mezcla de gases es aire.

Opcionalmente, la separación del CO₂ a partir de dicha mezcla de gases comprende:

- (a) poner en contacto dicha mezcla de gases con una solución que comprende agua y una base para obtener una sal; y
- (b) calentar dicha sal para liberar CO₂.

La base puede comprender una sal de metal alcalino o de un anión seleccionado entre carbonatos, fosfatos, polifosfatos, silicatos, y bórax. Opcionalmente dicha base comprende K₂CO₃. Como alternativa o adicionalmente,

dicha base comprende K_3PO_4 .

Dicha base puede ser inorgánica. Opcionalmente, dicha base inorgánica es soluble en agua. Opcionalmente, dicha base inorgánica forma con dióxido de carbono una sal soluble en agua, por ejemplo, $CaCO_3$. Como alternativa, dicha base inorgánica forma con dióxido de carbono una sal insoluble en agua.

Dicha solución básica puede formar con dichas partículas de CO_2 , opcionalmente partículas nanométricas, de una sal insoluble en agua, estando dichas partículas suspendidas en agua.

La puesta en contacto de dicha mezcla de gases con una solución puede comprender el soplado de dicha mezcla de gases por encima de una superficie de un depósito de solución que contiene dicha solución. Como alternativa o adicionalmente, la puesta en contacto puede comprender el rociado de gotitas de dicha solución en dicha mezcla de gases.

Dicha solución también puede contener un agente de superficie activa, que reduce la tensión superficial de dicha solución.

Además o como alternativa, dicha solución puede comprender una sustancia soluble en agua, que reduce la presión parcial de vapor de agua y no reacciona con el dióxido de carbono.

El calentamiento de la sal puede comprender calentar agua, en la que la sal se disuelve y/o con la que la sal se mezcla, y dicha sustancia soluble en agua está presente en dichas cantidades, que calentando la sal para liberar el CO_2 da como resultado la evaporación de dos moles de agua por cada mol de CO_2 liberado. Opcionalmente, el calentamiento de la sal comprende el calentamiento con calor generado en al menos una de dicha primera o segunda cámara de reacción.

Un método para separar el CO_2 del aire comprende:

- (a) poner en contacto dicho aire con una solución que comprende agua y una base para obtener sal en dicha agua; y
- (b) calentar dicha sal para liberar CO_2 ,

en el que dicha solución contiene un agente de superficie activa, que reduce la tensión superficial de dicha solución.

Opcionalmente, dicha mezcla de gases es aire.

Opcionalmente, la puesta en contacto comprende el rociado de gotitas de dicha solución.

Opcionalmente, dicha solución comprende una sustancia soluble en agua, que reduce la presión parcial de vapor de agua y no forma una sal con el dióxido de carbono.

El calentamiento de la sal puede comprender calentar el agua, y dicha sustancia soluble en agua está presente en dichas cantidades, de modo que el calentamiento de la sal para liberar el CO_2 da como resultado la evaporación de dos moles de agua por cada mol de CO_2 liberado.

La puesta en contacto de la mezcla de gases con una solución puede comprender el burbujeo de dicha mezcla de gases en dicha solución.

Opcionalmente, la puesta en contacto de la mezcla de gases con una solución comprende el flujo de dicha mezcla de gases en una torre que tiene una pared interna, y el rociado de dicha solución hacia dicha pared interna. Opcionalmente, dicho flujo se realiza a través de una entrada de gas que se configura para recibir viento y que sigue la dirección del viento. Opcionalmente, dicho flujo comprende el funcionamiento de un ventilador, y además dicho ventilador empuja gotitas de agua de forma radial para devolverlas a dicho depósito de agua. Opcionalmente, dicha torre comprende estructuras internas, por ejemplo, partículas granulares, el aumento de una superficie disponible para poner en contacto dicha mezcla de gases con dicha solución.

Dicha puesta en contacto puede comprender la pulverización de dicha solución en un flujo de dicha mezcla de gases. Opcionalmente, dicha pulverización es en sentido descendente, con el fin de que se vea facilitada por la gravedad.

Cualquiera de los métodos que se han descrito anteriormente puede comprender el enfriamiento de dicho gas de síntesis antes de la producción de combustible a partir del mismo. Opcionalmente, dicho enfriamiento comprende el funcionamiento de una turbina de gas con el gas de síntesis como fluido de trabajo.

Un sistema para producir combustible líquido puede comprender:

- (a) Una unidad de producción de gas de síntesis, configurada para recibir CO_2 y agua, y hacer reaccionar dicho CO_2 con un primer metal y dicha agua con un segundo metal, que es el mismo o diferente de dicho primer metal, para producir hidrógeno y monóxido de carbono;
- (b) una unidad de producción de combustible, configurada para producir un combustible carbonoso a partir de productos de la unidad de producción de gas de síntesis; y
- (c) una unidad de regeneración de metal, configurada para regenerar metal a partir de óxido metálico producido en la unidad de producción de gas de síntesis.

Opcionalmente, dicho sistema comprende una unidad de separación de dióxido de carbono, configurada para capturar el CO_2 de la mezcla de gases, liberando dicho CO_2 , y para transferir dicho CO_2 a dicha unidad de producción de gas de síntesis.

Opcionalmente, dicho sistema comprende una unidad de producción de energía eléctrica, configurada para producir energía eléctrica a partir de fuentes renovables.

Dicha unidad de producción de gas de síntesis puede comprender:

- (a) un recipiente con metal líquido,
- (b) una cámara de reacción, configurada para recibir metal líquido a partir de dicho recipiente y al menos uno de agua y CO_2 , y tiene una entrada de gas, configurada para dejar salir el gas de síntesis producido en la cámara de reacción; y
- (c) un elemento de transferencia de calor para transferir calor desde dicha cámara de reacción a dicho recipiente.

Opcionalmente, dicho recipiente con metal líquido tiene una entrada de metal, para introducir metal en estado sólido en dicho recipiente. Opcionalmente, dicha entrada comprende cierres herméticos elásticos.

Opcionalmente, dicho elemento de transferencia de calor es una porción de dicho recipiente, estando dicha porción en contacto directamente con metal líquido en dicho recipiente.

Opcionalmente, dicha cámara de reacción y dicho recipiente son concéntricos. Opcionalmente, un sistema tal como se describe en cualquiera de las opciones anteriores comprende un elemento de transferencia de calor para transferir el calor desde dicha cámara de reacción a dicha unidad de separación de CO_2 .

Opcionalmente, dicha unidad de regeneración de metal comprende un baño electrolítico.

Opcionalmente, dicha cámara de reacción está configurada para recibir un material carbonoso, por ejemplo, metano, y para hacer reaccionar dicho material carbonoso con un óxido metálico producido por una reacción entre dicho metal y dicha agua y/o dicho CO_2 .

Opcionalmente, dicho primer y segundo metal son los mismos.

Opcionalmente, dicha unidad de regeneración de metal comprende:

- un conducto, para recibir óxido metálico de dicha unidad de producción de gas de síntesis y para transferir dicho óxido metálico a una unidad de reproducción de metal;
- un intercambiador de calor, para enfriar dicho óxido metálico;
- una primera válvula y una segunda válvula que define una zona intermedia entre ellas junto con dicho conducto, conectando dicha primera válvula dicha zona intermedia a dicha unidad de producción de gas de síntesis y dicha segunda válvula conectando dicha zona intermedia a dicha unidad de reproducción de metal. Opcionalmente, el sistema comprende una entrada de ácido para introducir un ácido en dicha zona intermedia.

Opcionalmente, dicha unidad de reproducción de metal comprende un baño electrolítico.

Opcionalmente, dicha unidad de reproducción comprende un calentador solar, capaz de calentar dicho óxido metálico con el fin de descomponerlo.

Como alternativa o adicionalmente, dicha unidad de reproducción comprende una entrada para un material carbonoso.

El método de la presente invención comprende poner en contacto cinc, agua, dióxido de carbono, y metano para producir una mezcla que comprende hidrógeno y monóxido de carbono.

Opcionalmente al menos una porción de dicho dióxido de carbono y al menos una porción de dicho material carbonoso se originan en un vertedero.

Opcionalmente, al menos una porción de dicho dióxido de carbono se puede producir mediante un proceso de fermentación. Opcionalmente, al menos una porción de dicho dióxido de carbono y al menos una porción de dicho metano se originan en el gas natural. Opcionalmente, en dicho método, se produce un óxido metálico, y dicho óxido metálico se somete a electrólisis para regenerar dicho metal. Como alternativa o adicionalmente, el método comprende calentar dicho óxido metálico para formar dicho metal. Opcionalmente, dicho calentamiento se realiza con calor obtenido a partir de energía solar. Opcionalmente, dicho calentamiento se realiza en presencia de un material carbonoso.

Dicho óxido metálico sometido a electrólisis se puede poner en contacto con un metal, agua, dióxido de carbono, y metano para producir una mezcla que comprende hidrógeno y monóxido de carbono.

Cualquiera de los métodos que se han descrito anteriormente pueden comprender la producción de energía eléctrica a partir de dicho combustible en horas de mayor demanda y consumir energía eléctrica solamente en las horas de menor demanda.

Además, a continuación se describe un método para producir electricidad a partir de un vertedero que comprende:

producir gas de síntesis a partir de metano y CO₂ que se originan en el vertedero;
producir un combustible a partir de dicho gas de síntesis y
producir energía eléctrica a partir de dicho combustible,

en el que dicha producción de gas de síntesis y/o producción de combustible usa energía eléctrica durante las horas de menor demanda, y dicha producción de energía eléctrica se realiza durante las horas de mayor demanda.

Opcionalmente, un método comprende licuar metal en una primera cámara para obtener metal licuado, y suministrar el metal licuado a una segunda cámara.

Opcionalmente, el método comprende introducir agua y/o CO₂ en la segunda cámara desde el exterior de la segunda cámara.

Opcionalmente, el suministro del metal se realiza a través de un aspersor o una boquilla.

Además, se describe un dispositivo para producir CO y/o hidrógeno que comprende una primera cámara, con entrada para metal sólido y salida para metal líquido; una segunda cámara con entrada para metal líquido y entrada para CO₂ y/o agua, comprendiendo la segunda cámara salida para CO y/o hidrógeno y salida para óxido metálico; y estando la primera y la segunda cámara conectadas entre sí de modo que el metal líquido en la primera cámara se suministra a la segunda cámara.

Opcionalmente, la segunda cámara comprende una entrada de agua y una salida de hidrógeno.

Opcionalmente, las dos cámaras están conectadas térmicamente.

Opcionalmente, las dos cámaras están conectadas térmicamente con un intercambiador de calor.

Como alternativa o adicionalmente, una cámara es concéntrica con la otra.

Opcionalmente, el dispositivo comprende una bomba para bombear metal líquido desde la primera cámara a la segunda cámara.

Opcionalmente, la entrada de líquido comprende una boquilla o un rociador.

Opcionalmente, un dispositivo de acuerdo con realizaciones de la presente invención comprende un intercambiador de calor para suministrar calor a otro dispositivo.

Opcionalmente, la segunda cámara comprende una entrada de agua y una salida de hidrógeno.

Breve descripción de las figuras

En el presente documento se describen realizaciones de la invención, solamente a modo de ejemplo, con referencia a las figuras adjuntas. Se hace hincapié en que los datos que se muestran son solamente con fines de análisis ilustrativo de las realizaciones descritas, y se presentan con el fin de proporcionar lo que se cree que es la descripción más útil y fácilmente comprensible de los principios y aspectos conceptuales de la invención. En este sentido, no se hace ningún intento para mostrar detalles estructurales de la invención con más detalle del necesario para una comprensión fundamental de la invención, haciendo evidente para los expertos en la materia cómo se pueden realizar en la práctica varias formas de la invención con la descripción tomada con las figuras.

En las figuras:

La Figura 1A es un diagrama de bloques simplificado de un sistema para producir gas de síntesis,

5 La Figura 1B es un diagrama de bloques simplificado de una unidad para separar el CO₂ de una mezcla de gases;

Las Figuras 2A-2E son ilustraciones esquemáticas de unidades de captura de CO₂;

10 Las Figuras 3A y 3B son ilustraciones esquemáticas de unidades para capturar el CO₂ del aire;

Las Figuras 4A y 4B son ilustraciones esquemáticas de unidades de producción de gas de síntesis; y

15 La Figura 5 es una ilustración esquemática de un dispositivo de eliminación de óxido, para eliminar óxidos de una unidad de producción de gas de síntesis.

Descripción detallada de realizaciones a modo de ejemplo

20 A continuación, se describen primero algunas características generales de realizaciones de la invención a modo de ejemplo, y que a continuación, las realizaciones a modo de ejemplo se describen con detalle.

Separación de dióxido de carbono

25 En un método para capturar el CO₂ del aire, opcionalmente, el CO₂ (que es una entidad ácida) se captura con una solución básica en contacto con el aire. Un enfoque similar se usa opcionalmente para separar el CO₂ de otras mezclas de gases.

30 Preferentemente, la solución básica es básica debido a la presencia de una base inorgánica seleccionada. Normalmente, las bases inorgánicas son más estables que las bases orgánicas, y tienen una tendencia menor a la descomposición.

35 Preferentemente, la base inorgánica seleccionada forma una solución tampón con CO₂, de modo que el pH de la solución es insensible a las cantidades de CO₂ absorbido. En este sentido, son preferentes las bases capaces de reaccionar con más de una molécula de CO₂ por molécula de base.

Opcionalmente, la base inorgánica seleccionada es soluble en agua, y forma, con el CO₂ capturado, una sal soluble en agua. En este contexto, "soluble en agua" se refiere a que, en las condiciones de trabajo, toda la sal se disuelve en el agua. Los ejemplos de dichas bases incluyen sales alcalinas de aniones de las siguientes familias: carbonatos (por ejemplo, K₂CO₃), fosfatos (por ejemplo, K₃PO₄); polifosfatos, silicatos, y/o bórax.

40 Opcionalmente, la base inorgánica forma una sal insoluble en agua con el CO₂ (Por ejemplo CaCO₃). Preferentemente, la sal insoluble se obtiene a partir de la solución básica y del CO₂ en forma de suspensión, de la sal, en lugar de una solución.

Puesta en contacto de la solución básica con el aire

45 La solución básica se puede rociar desde una torre, por ejemplo, de 10 m de altura, y la solución rociada absorbe el CO₂ del aire en su camino en sentido descendente. Opcionalmente, el aire se transmite perpendicular a la dirección del agua.

50 Como alternativa, el aire se puede burbujear en la solución básica. Preferentemente, el burbujeo se combina con agitación. Opcionalmente, la agitación comprende burbujeo de aire en la solución en una o más posiciones descentradas. Preferentemente, el burbujeo se realiza en cubetas de poca profundidad, o en cubetas profundas cercanas a su superficie superior, de modo que las burbujas no se forman frente a la alta presión formada por el peso de la solución por encima de ellas. El uso del burbujeo reduce, y en algunos casos evita el uso de agentes tensioactivos.

60 Como alternativa, el aire se puede succionar (o empujar) en sentido ascendente o en sentido descendente de una torre y la solución básica se rocía dentro de la torre, preferentemente en las paredes de la torre, para crear una contracorriente de dos fases.

Opcionalmente, el aire succionado (o empujado) al extremo de la torre, junto con la solución rociada en la torre y llevada junto con el aire se centrifugan con el fin de separar la solución del aire, y recoger la solución para la separación de CO₂ y volver a usar la solución. Opcionalmente, la succión del aire se realiza con un ventilador. Opcionalmente, la centrifugación de la solución y del aire se realiza con el mismo ventilador, que succiona el aire en sentido ascendente de la torre y empuja la solución que la alcanza en una dirección radial.

Mejora de la absorción de CO₂ de la solución básica

Cuando la puesta en contacto de la solución básica con el aire comprende el suministro de la solución en forma de gotitas, por ejemplo, cuando se usa rociado, es preferente reducir la tensión superficial de las gotas, dado que esta tensión superficial crea una presión interna que trabaja frente a la absorción de CO₂.

Opcionalmente, la reducción de la tensión superficial de las gotitas se realiza mediante la inclusión de un agente tensioactivo en la solución para reducir la tensión superficial.

Opcionalmente, el agente tensioactivo es básico en sí mismo, y puede reemplazar al menos una porción de la base en la solución básica.

Preferentemente, el agente tensioactivo es de un tipo que funciona a temperaturas elevadas en la zona de calentamiento 103 (véase la Figura 1B). Esta temperatura depende de la base usada para capturar el CO₂, y los expertos en la materia la pueden determinar fácilmente a partir de ecuaciones y datos termodinámicos fácilmente disponibles.

Los ejemplos no limitantes para agentes tensioactivos adecuados incluyen sales alcalinas de fosfatos (por ejemplo, K₃PO₄), polifosfatos, silicatos, hidróxido de calcio, y bórax.

Liberación de CO₂ a partir de la solución

La liberación de CO₂ a partir de la solución básica comprende el calentamiento de la solución a una temperatura seleccionada. Este calentamiento opcionalmente evapora agua de la solución, y el agua evaporada se puede usar junto con el CO₂ liberado para generar gas de síntesis. La presión se ajusta preferentemente para permitir el calentamiento de la solución a la temperatura seleccionada. Los valores de presión y temperatura usados para liberar el CO₂ a partir de la sal se seleccionan opcionalmente con el fin de obtener CO₂ y agua en una relación deseable.

Además o como alternativa, la relación entre el CO₂ y el vapor de agua obtenidos en el calentamiento se controla añadiendo a la solución una sustancia soluble en agua, que reduce la relación molar del agua en la solución básica. Un ejemplo de una sustancia soluble en agua adecuada es el fluoruro potásico (KF). Opcionalmente, la sustancia soluble en agua y su cantidad se seleccionan para que evapore el agua suficiente para permitir la reacción cuantitativa entre el agua y el CO₂ para dar el combustible necesario. Por ejemplo, si se va a producir metanol, una relación preferente de agua : CO₂ es 2 : 1. Una opción alternativa es evaporar más agua de la necesaria para la reacción, condensar el exceso de agua, y devolver el agua a la unidad de captura de CO₂.

Como alternativa o adicionalmente, la reacción se puede realizar con un exceso de CO₂ sobre agua. En algunas realizaciones, esto amplía el intervalo de temperaturas a las que es factible la reacción de producción del gas de síntesis.

Condiciones para producir gas de síntesis a partir de agua y dióxido de carbono

Una reacción de metal con agua proporciona hidrógeno (y óxido metálico); una reacción de metal con CO₂ proporciona CO (y óxido metálico), y la mezcla de hidrógeno y CO es gas de síntesis.

La producción de gas de síntesis a partir de CO₂ y agua se puede realizar haciendo reaccionar CO₂ y agua con un metal. Por ejemplo, se pueden hacer reaccionar agua y CO₂ con el metal en una sola cámara de reacción. Como alternativa, se hace reaccionar agua con un metal en una cámara de reacción, y se hace reaccionar CO₂ con un metal en otra cámara de reacción. Opcionalmente, se introducen agua y CO₂ en la unidad de producción de gas de síntesis en una proporción de modo que CO e hidrógeno resultantes estén en cantidades adecuadas para producir metanol, por ejemplo, en una relación molar de 1 CO : 2 H₂.

Generalmente, estas condiciones comprenden una temperatura de aproximadamente 200 °C y una presión de aproximadamente 50 Atmósferas (5000 kPa). Por lo tanto, agua y CO₂ se pueden hacer reaccionar con un metal para obtener hidrógeno y CO a aproximadamente 50 Atm. El gas de síntesis se puede producir aproximadamente 800 °C y enfriar a aproximadamente 200 °C antes de su introducción en la unidad de producción de combustible.

Condiciones para producir gas de síntesis a partir de agua, dióxido de carbono, y metano

En la presente invención, se introduce metano en la unidad de producción de gas de síntesis. Es opcional hacer funcionar la unidad con relaciones molares de dióxido de carbono : metano : agua de 1:1:2, que no deja exceso de ninguno de los reactivos. Además aquí, la temperatura de trabajo preferente es de aproximadamente 800 °C, y el exceso de fuentes de carbono sobre la fuente de hidrógeno, permite el trabajo a un intervalo de temperatura más amplio.

Dado que la reacción entre metano y óxido metálico es endotérmica, ésta consume el calor producido por las reacciones exotérmicas de agua y/o dióxido de carbono con el metal, y disminuye la temperatura en la unidad de producción de gas de síntesis por debajo de la temperatura de trabajo preferente. Se puede aconsejar el suministro de la unidad de producción de gas de síntesis con calor a partir de una fuente externa, por ejemplo, a partir de la unidad de producción de combustible.

Reacciones de producción de gas de síntesis

Preferentemente, el metal se introduce en la cámara de reacción en gotitas pequeñas, para permitir que los gases reaccionen con el metal de forma más rápida. La introducción del metal en forma de gotitas se puede realizar con cualquier pulverizador de metales disponible en el mercado, tales como, por ejemplo, los usados para pulverizar revestimientos resistentes a la corrosión, tales como cinc o aluminio.

El metal de la presente invención es Zn.

El óxido metálico producido en la cámara de reacción se puede hundir en el suelo de la cámara de reacción debido a su densidad relativamente elevada. Este óxido metálico se retira opcionalmente de la cámara de reacción a través de una salida en el suelo de la cámara de reacción.

Opcionalmente, el óxido metálico retirado se enfría a continuación, y se hace reaccionar con un ácido para proporcionar una solución acuosa. Opcionalmente, la solución acuosa producida se somete a electrolisis para obtener el metal que se usa opcionalmente de nuevo para que reaccione con agua dulce y CO₂.

Parte o todo el óxido metálico se puede crear como un polvo hecho con partículas muy pequeñas, y en lugar de que se hunda en el suelo de la cámara de reacción, este polvo flota y crea un aerosol junto con el gas producido. En ese caso, el óxido metálico se retira de la cámara de reacción junto con los gases producidos. El aerosol producido se puede enfriar, y burbujear en una solución de electrolisis, en la que el óxido metálico reacciona para producir metal y los gases contenidos en el aerosol abandonan la solución de electrolisis sin polvo de óxido metálico.

Ahorro de calor

El calor producido en uno o más de los procesos exotérmicos (que producen calor) se puede suministrar a los procesos endotérmicos (que consumen calor).

Tal como se ha descrito anteriormente, los procesos endotérmicos de calor incluyen opcionalmente la liberación de CO₂ desde la solución, y los procesos exotérmicos incluyen opcionalmente:

- Condensar el vapor que se evaporó de la solución cuando se liberó el CO₂;
- Hacer reaccionar un metal con agua, CO₂ y/o metano;
- Enfriar el óxido metálico antes de su hidrólisis; y
- Producir combustible a partir de gas de síntesis.

Opcionalmente, el calor producido en uno o más de los procesos exotérmicos se usa para hacer funcionar una máquina térmica, por ejemplo, una turbina.

El gas de síntesis puede salir de la unidad de producción de gas de síntesis a aproximadamente 800 ° y se puede enfriar o calentar a una temperatura seleccionada para producir el combustible en la unidad de producción de combustible.

Opcionalmente, el gas de síntesis sale de la unidad de producción de gas de síntesis a una presión adecuada para producir el combustible a la temperatura seleccionada.

Opcionalmente, el enfriamiento del gas de síntesis comprende su expansión a través de una turbina de gas, usando de este modo el calor transportado por el gas de síntesis para producir trabajo. Además o como alternativa, el exceso de calor de cualquiera de las unidades se puede usar para hacer funcionar una o más turbinas de vapor.

En los aparatos de producción de energía independientes, es posible usar el exceso de calor para calentar casas, agua en sistemas de agua domésticos, etc.

Fuentes de CO₂

El aire puede servir como una fuente de CO₂.

El aire tiene una concentración relativamente baja de CO₂, y el sistema que se describe en el presente documento para capturar el CO₂ del aire también puede ser adecuado para capturarlo de otras fuentes.

Como alternativa o adicionalmente, el CO₂ se captura a partir de mezclas de gases que están enriquecidas con CO₂. Un ejemplo de dicha mezcla de gases es el gas natural. En muchos pozos de gas natural, el CO₂ está presente junto con el gas natural (metano). Normalmente, el CO₂ se trata como un contaminante, se separa del metano, y se libera a la atmósfera. De acuerdo con una realización de la presente invención, en lugar de separar el CO₂ del metano, los dos gases se hacen reaccionar en conjunto, en presencia de agua y un metal, para formar gas de síntesis, que se usa preferentemente para producir un combustible líquido, tal como metanol. El combustible líquido es ventajoso sobre el gas natural porque se puede transferir fácilmente; no tiene fugas tan fácilmente como las tiene el gas; es biodegradable, y su manipulación es menos peligrosa.

De forma análoga, el metano y el dióxido de carbono están presentes en vertederos, pero normalmente sólo se usa el metano. Además el dióxido de carbono se puede usar para producir con el metano un hidrocarburo líquido, tal como metanol.

Las instalaciones de fermentación, usadas para producir etanol como un sustituto de la gasolina, son otra fuente opcional de CO₂. Las instalaciones de fermentación producen etanol a partir de la fermentación de material biológico. En la mayoría de los casos, la producción de etanol por fermentación va acompañada de la producción de CO₂. El uso de métodos y sistemas que se describen en el presente documento para formar metanol a partir de este CO₂ puede duplicar la energía producida por estas instalaciones, y salvar el medio ambiente de cantidades considerables de CO₂.

Otros muchos procesos producen dióxido de carbono como un producto secundario, y lo liberan al aire, agravando de este modo el efecto invernadero. Se puede usar el dióxido de carbono de cualquiera de dichos procesos, y se usa para formar gas de síntesis, y opcionalmente, a partir del gas de síntesis, un combustible basado en hidrocarburos, preferentemente un combustible líquido.

Fuentes de energía

Algunos de los métodos y sistemas anteriores consumen energía. Opcionalmente, esta energía se obtiene a partir de fuentes renovables, tales como la energía solar, energía nuclear, energía hidroeléctrica, energía geotérmica, y/o eólica.

Además, el calor producido en algunas etapas de los procesos se puede usar para reemplazar la fuente de energía externa.

El metal se puede producir a partir de óxido metálico. Esto se realiza opcionalmente por electrolisis por la noche, cuando la electricidad es relativamente barata.

A continuación se hace referencia a las figuras.

La Figura 1A es un diagrama de bloques simplificado de un aparato 100 para producir gas de síntesis a partir de aire y agua. En la figura, el bloque 120 es una unidad de producción de gas de síntesis. La unidad de producción de gas de síntesis 120 tiene una entrada 125, para recibir CO₂. Opcionalmente, el CO₂ se recibe a partir de una unidad de separación de dióxido de carbono, por ejemplo, la unidad 105 de la Figura 1B. Opcionalmente, la entrada 125 también recibe vapor de agua de la unidad de separación de CO₂ (105). Opcionalmente, la unidad de producción de gas de síntesis 120 tiene una entrada de agua separada 130, pero esto se puede omitir si el CO₂ se suministra con cantidades de agua suficientes. Opcionalmente, la unidad de producción de gas de síntesis 120 tiene una entrada de metano (131). En algunas realizaciones, metano y CO₂ provienen de una sola fuente, y a continuación, una entrada separada para el metano se puede omitir. Opcionalmente, la unidad de producción de gas de síntesis 120 tiene solamente una entrada, para recibir todos los reactivos no metálicos.

El metal se introduce en la unidad de producción de gas de síntesis a través de una entrada de metal, 135.

La unidad de producción de gas de síntesis 120 comprende una salida de gas de síntesis 140. Opcionalmente, el gas de síntesis abandonó la unidad 120 a una presión, que es la más adecuada para la producción de metanol, es decir, a aproximadamente 5000 kPa, aunque se pueden usar otras presiones. La temperatura y/o la presión se pueden ajustar a la temperatura y/o presión necesarias en la unidad de producción de combustible 150 después de que el gas de síntesis abandone la unidad 120.

Opcionalmente, la salida de gas de síntesis 140 suministra el gas de síntesis a una unidad de producción de combustible 150, que produce combustible, por ejemplo, metanol a partir del gas de síntesis mediante un método conocido en la técnica *per se*. La producción de metanol a partir del gas de síntesis se describe, por ejemplo en Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology publicada por Wiley Interscience.

La unidad de gas de síntesis 120 también comprende una salida de óxido metálico 145, que se dirige a una unidad de regeneración de metal, 160.

Opcionalmente, la unidad de regeneración de metal 160 comprende un baño de electrólisis, en que el óxido metálico se somete a electrólisis para producir un metal. Opcionalmente, el baño de electrólisis recibe energía eléctrica de la fuente de energía 170. La fuente de energía 170 es opcionalmente una planta de energía nacional o regional, y preferentemente, una fuente de energía local, que produce energía de fuentes renovables, tales como energía solar, eólica, energía hidroeléctrica, etc.

Opcionalmente, el metal producido en la unidad de regeneración 160 se introduce en la unidad de producción de gas de síntesis, por ejemplo, a través de la entrada 135.

La unidad de producción de gas de síntesis 120 puede ser independiente de la unidad de regeneración de metal 160, de modo que el gas de síntesis se produce independientemente de la regeneración del metal. Esto permite la regeneración del metal solamente cuando está disponible el suministro de electricidad barata, a la vez que se produce gas de síntesis durante todo el día. La regeneración de metal o la producción de combustible se puede limitar, por ejemplo, al día, cuando la energía solar está disponible, a la noche, cuando las plantas de energía central proporcionan energía eléctrica barata, o siempre que haya viento que sea capaz de hacer funcionar una planta de energía impulsada por el viento, todo de acuerdo con el tipo específico de fuente de energía 170 que se está usando.

Durante el funcionamiento, el agua reacciona con un metal para formar hidrógeno y óxido metálico y el CO_2 reacciona con un metal para formar CO y óxido metálico. Estas reacciones pueden necesitar ignición. La ignición se suministra opcionalmente con chispa eléctrica, descarta, y/o un filamento caliente.

El metal se introduce preferentemente en la unidad de producción de gas de síntesis 120 durante el funcionamiento. La introducción del metal está sincronizada opcionalmente con la introducción de los otros reactivos, de modo que no exista un exceso de metal sobre los otros reactivos. El exceso de metal puede llevar la reacción en la dirección opuesta, para producir CO_2 a partir de CO y óxido metálico. El metal se introduce opcionalmente en la unidad de producción de gas de síntesis mediante rociado con un pulverizador de metales, por ejemplo, del tipo usado para pulverizar metales para revestir sustratos.

El gas de síntesis producido por las reacciones entre CO_2 , agua, y metal en la unidad de producción de gas de síntesis (120) sale en la unidad de producción de metanol 150, en la que el combustible se prepara catalíticamente a partir del gas de síntesis usando métodos que son conocidos en la técnica. Opcionalmente, el combustible es un alcohol, tal como metanol o etanol, o cualquier otro hidrocarburo.

El óxido metálico producido por las reacciones que se producen en la unidad de producción de gas de síntesis sale en la unidad de regeneración de metal, 160, en la que se hace reaccionar para regenerar el metal. El metal regenerado se devuelve opcionalmente a la unidad de producción de gas de síntesis 120, para reaccionar con cantidades recién preparadas de agua y CO_2 .

La Figura 1B es un diagrama de bloques simplificado de una unidad 105 para separar CO_2 a partir de una mezcla de gases. La unidad 105 tiene una salida de gas 110, para introducir aire en la unidad 105, o cualquier otra mezcla gaseosa, a partir de la que se va a separar el CO_2 . La unidad 105 comprende una unidad de captura de CO_2 102 para poner en contacto la mezcla de gases con una solución básica. Las Figuras 2A-2E y las Figuras 3A-3B describen diversas realizaciones de la unidad de captura 102. La unidad de captura 102 comprende opcionalmente una solución básica que comprende una base que forma una sal con CO_2 , cuya sal se disocia térmicamente para liberar el CO_2 , preferentemente, en condiciones suaves. Un ejemplo de dicha solución básica es una solución acuosa de carbonato potásico (K_2CO_3) que forma, cuando reacciona con CO_2 , bicarbonato potásico (KHCO_3).

A partir de la unidad de captura de CO_2 102, a una solución que contiene la sal, por ejemplo, KHCO_3 , se transfiere a la zona de calentamiento 103. En la zona de calentamiento 103 la solución se calienta con el fin de liberar el CO_2 . Los expertos en la materia pueden determinar estas condiciones, por ejemplo, a partir de cálculos termodinámicos. El CO_2 se libera a través de la salida 115, opcionalmente, en la unidad de producción de gas de síntesis 120 (véase la Figura 1A). Opcionalmente, los vapores de agua de la solución básica salen junto con el CO_2 a través de la salida 115. Opcionalmente, algunos de los vapores de agua se condensan y además opcionalmente se enfrían y se devuelven a la unidad de captura 102.

El refrigerador 104 enfría opcionalmente porciones de la solución que no salen a través de la salida 115. Como alternativa o adicionalmente, el refrigerador 104 enfría el agua evaporada a través de la salida 115 y la condensa.

Opcionalmente, calor para calentar la solución salina en la zona de calentamiento 103 se proporciona con las reacciones exotérmicas llevadas a cabo en el sistema 100, por ejemplo, en la unidad de producción de gas de síntesis (120 de la Figura 1A).

Cuando está en funcionamiento, la unidad de separación de dióxido de carbono 105 recibe una mezcla de gases que comprende dióxido de carbono, y separa el dióxido de carbono de otros gases. Opcionalmente, no todos los gases en la mezcla se separan a partir del dióxido de carbono. En una realización a modo de ejemplo, la separación

del dióxido de carbono a partir de la mezcla de gases comprende poner en contacto la mezcla de gases con una solución que contiene carbonato potásico para formar bicarbonato potásico en la solución, y liberar el CO₂ de la solución por calentamiento del bicarbonato potásico.

5 Opcionalmente, la solución que contiene bicarbonato potásico se calienta a aproximadamente 200 °C, para liberar el CO₂. Después de la liberación del CO₂, la solución básica se enfría opcionalmente y se vuelve a usar para capturar el CO₂ de otro lote de la mezcla de gases.

10 En esta disposición, el CO₂ se libera en mezcla con vapor de agua. Parte o la totalidad de dicho vapor de agua se condensa opcionalmente, se enfría, y se vuelve a usar para capturar el CO₂ de otro lote de mezcla de gases.

El dióxido de carbono (y, opcionalmente vapor de agua) sale de la unidad de separación 105 a la unidad de producción de gas de síntesis 120. Dos ejemplos de unidades de producción de gas de síntesis se describen con relación a las Figuras 4A y 4B.

15 Las Figuras 2A - 3B son ilustraciones esquemáticas de unidades de captura de CO₂. En lo sucesivo, se describen con referencia a la captura del CO₂ del aire, pero además se pueden usar para capturar el CO₂ de otras mezclas gaseosas, que incluyen mezclas que tienen un contenido en CO₂ más elevado que el aire.

20 La Figura 2A es una ilustración esquemática de una unidad 102 para capturar el CO₂ del aire de acuerdo con una realización de burbujeo de la invención. Una cubeta 205 contiene una solución básica 210. El aire se burbujea en la solución básica 210 a través de un conducto 215 mediante una bomba 220. El conducto 215 libera preferentemente el aire a una profundidad de solo aproximadamente 10-30 cm desde la superficie más elevada de la solución básica. El aire abandona la cubeta en forma de burbujas 225, que son más pobres en CO₂ que el aire burbujeado en la
25 solución básica, ya que parte del CO₂ se captura en la solución.

La Figura 2B es una ilustración esquemática de una unidad 102' para capturar el CO₂. Una cubeta 205 forma un depósito de agua que contiene una solución básica 210. El aire 203 fluye por encima de la cubeta 205, por ejemplo, cuando el tiempo climatológico es ventoso, y crea ondas 207 en la solución. El viento continúa soplando lejos de la cubeta llevando con él el aire que es más pobre en CO₂, ya que parte del CO₂ fue capturado por la solución.

30 La Figura 2C muestra una disposición similar, pero aquí, se fuerza al aire 203 a que fluya por encima de la cubeta 205 con un ventilador 209.

35 La Figura 2D es una ilustración esquemática de una unidad 102" para capturar el CO₂ del aire. La solución 210 se rocía en el aire a través de rociadores 212. Las gotas 214 capturan el CO₂ del aire, y vuelven a la cubeta 205 por gravedad. Las gotas son más ricas en CO₂ cuando vuelven a caer y a continuación cuando se envían en sentido ascendente. Preferentemente, el aire sopla (de forma natural, o posee fuerza más que supe) a través de la pulverización de gotitas, del mismo modo que las gotitas 214 se rocían en aire constantemente renovado.

40 La Figura 2E es una ilustración esquemática de una unidad similar a la 102", pero aquí, los rociadores 212 se conservan en un conducto 216, que, por ejemplo, está a 10 m por encima de la superficie más elevada de la solución en la cubeta 205. De este modo, la solución se pulveriza en sentido descendente, que requiere menos energía que la necesaria para pulverizar la solución con la disposición de la Figura 2D.

45 Opcionalmente, se usa un sistema de disipación para poner en contacto la mezcla gaseosa con la solución básica. El sistema de disipación disipa la solución desde la cubeta hasta un flujo de aire. Cuando el CO₂ se absorbe, la sal vuelve en sentido descendente a la cubeta debido a la difusión y a la gravedad.

50 La Figura 3A es una ilustración esquemática simplificada de la unidad de captura de CO₂ 300, que está configurada para capturar el CO₂ del aire. La unidad 300 comprende una cubeta 205 que contiene la solución básica 210. Por encima de la cubeta, se muestra una torre 305. La torre 305 tiene una entrada de aire 306. La torre 305 tiene en su interior rociadores 312, que rocían gotitas de la solución básica frente a la pared interna (310) de la torre 305. Opcionalmente, la pared interna 310 se forma con un área de mayor superficie. Por ejemplo, la pared interna 310
55 puede ser rugosa, y tener una pluralidad de depresiones. Además o como alternativa, la torre se puede llenar con partículas, por ejemplo, piedras u otras estructuras internas, para aumentar su área superficial.

En la cabeza de la torre 305, existe un ventilador 320, para succionar el aire en la torre a través de la entrada 306. Cuando está en funcionamiento, el aire fluye en sentido ascendente a lo largo de la pared de la torre 310, y de este modo pone en contacto en la parte gotea a lo largo de la pared interna 310 por detrás de la cubeta 205.

Opcionalmente, en el lado superior de la torre 305 existe una corona 325. Las gotitas de agua que se transportan con el aire en sentido ascendente hacia el ventilador 320 se soplan radialmente desde el ventilador, y quedan atrapadas en la corona 325, y vuelven a gotear en la cubeta 205.

65

La Figura 3B es una ilustración esquemática simplificada de una unidad de captura de CO₂ (300'), que es similar a la unidad 300, pero provista con entrada de aire 306 está configurada para recibir viento en la misma, con el fin de ahorrar algo de la energía necesaria para el funcionamiento del ventilador 320.

5 Además, la unidad 300' estar equipada con una salida de aire 330, colocada en oposición a la entrada de aire 306.

La entrada de aire 306 se configura preferentemente para que siga al viento. Por ejemplo, la entrada de aire 306 puede ser una apertura en un anillo que gira alrededor del eje longitudinal de la torre 305, de modo que la apertura se enfrenta constantemente al viento.

10 Las Figuras 4A aquí 4B son ilustraciones esquemáticas simplificadas de las unidades de producción de gas de síntesis 400 y 400' para la oxidación de metales con agua para formar hidrógeno y óxido metálico y/o para la oxidación de metales con CO₂ para formar CO y óxido metálico. Otra unidad de producción de gas de síntesis adecuada se describen la solicitud de patente WO2006/123330. Además, se pueden usar otros métodos conocidos en la técnica para producir gas de síntesis a partir de CO₂ y agua.

Los dispositivos 400 y 400' comprenden dos recipientes. Un recipiente (405) es una cámara de reacción, y el otro recipiente (410) contiene el metal (420) en forma líquida.

20 La cámara de reacción 405 comprende un rociador o boquilla (415), configurado para suministrar metal líquido 420 desde el recipiente 410 a la cámara de reacción.

Opcionalmente, el metal 420 se suministra al recipiente 410 en estado sólido, por ejemplo, en forma de polvo, una varilla o un alambre, y se calienta para licuar y/o para permanecer en estado líquido mediante el calor producido en la cámara de reacción 405 durante el funcionamiento.

Cuando el metal 420 se suministra como una varilla o alambre, la presión se usa opcionalmente para forzar el metal en el recipiente a través de la entrada 422. Opcionalmente, la entrada 422 comprende cierres herméticos elásticos, tal como se describe, por ejemplo, en la solicitud de patente de los Solicitantes N° WO2006/123330.

Opcionalmente, la presión usada para forzar el metal en el recipiente 405 se usa para empujar el metal líquido 420 en la cámara de reacción 405. Además o como alternativa, una bomba 425 se usa para dicho empuje.

En la Figura 4A, un intercambiador de calor 430 se usa para transferir el calor desde la cámara de reacción 405 al recipiente 410.

En la Figura 4B, los dos recipientes 405 y 410 se estructuran en una estructura concéntrica, que permite la ausencia de un intercambiador de calor entre ellos.

40 Opcionalmente, la cámara de reacción 405 tiene en ella un intercambiador de calor 432 para enfriar la atmósfera en la cámara de reacción, para permitir la evacuación del calor desde la cámara de reacción con el fin de pulsar las reacciones exotérmicas que se producen en la cámara de reacción.

Un intercambiador de calor externo 435 se usa opcionalmente para suministrar calor desde la cámara de reacción 405 (o recipiente de metal 410) a otras aplicaciones, por ejemplo, para una unidad de separación de CO₂.

La cámara de reacción 405 está equipada con al menos una entrada 440, configurada para dejar entrar al menos uno de agua, dióxido de carbono, y metano. Opcionalmente, la cámara de reacción 405 tiene una, dos, o más entradas adicionales, cada una configurada para dejar entrar al menos uno de agua, dióxido de carbono y metano.

En un aparato a modo de ejemplo, la entrada 440 es para dejar entrar metano y dióxido de carbono en conjunto, opcionalmente, desde una fuente que los contiene en conjunto, por ejemplo, gas natural.

En un aparato a modo de ejemplo, la entrada 440 es para dejar entrar agua y dióxido de carbono en conjunto, opcionalmente, desde una fuente que los contiene en conjunto, por ejemplo, carbonato potásico húmedo, que después del calentamiento suministra CO₂ y agua vapor.

Opcionalmente, la presión en la cámara de reacción 405 está diseñada para que se adapte a la presión bajo la cual el gas de síntesis tiene que reaccionar en la unidad de producción de combustible para dar el combustible. Por ejemplo, si se va a producir metanol a aproximadamente 50 Atm (5000 kPa), la unidad de producción de gas de síntesis funciona opcionalmente a 5000 kPa.

Opcionalmente, la entrada está configurada para dejar entrar simultáneamente agua, CO₂ y metano.

65 Además, la cámara de reacción 405 tiene una salida de gas de síntesis 450 y opcionalmente una salida de óxido metálico 455. A continuación, se describe una salida de óxido de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de

la invención con relación a la FIG. 5. En algunas realizaciones, el óxido metálico sale junto con el gas de síntesis, y opcionalmente se omite una salida separada tal como la 455.

5 Un sistema de control (460) controla la composición del gas de síntesis mediante el control de la velocidad de introducción de los reactivos (incluyendo metal, y al menos uno de agua, dióxido de carbono, y metano) en la cámara de reacción (405). Además, el sistema de control 460 controla opcionalmente la salida del gas de síntesis 450, y/o la salida del óxido 455.

10 Además o como alternativa, la salida del gas de síntesis 450 se controla con una unidad de producción de combustible (por ejemplo la unidad 150 en la Figura 1) que recibe el gas de síntesis que sale desde la salida. Opcionalmente, la unidad de producción de combustible se comunica con la unidad de producción de gas de síntesis a través del sistema de control 460. Opcionalmente, el sistema de control 460 recibe datos sobre la temperatura y la presión dentro de la cámara de reacción 405 desde un sensor de temperatura 465 y un sensor de presión 470. Preferentemente, el dispositivo 400 o 400' comprende una pluralidad de sensores de temperatura, para detectar la temperatura en una pluralidad de posiciones dentro de la cámara de reacción 405.

La ignición del metal en la cámara de reacción 405 se obtiene, por ejemplo, por chispa eléctrica, descarga, o un filamento caliente.

20 La Figura 5 es una ilustración esquemática de un dispositivo de retirada de óxido 500, para retirar el óxido desde una unidad de producción de gas de síntesis 400. Los detalles de la unidad 400 no se proporcionan, excepto para la salida 455. Opcionalmente, la unidad 400 tiene una superficie inferior cónica con la punta siendo una salida 455, de modo que las partículas de óxido formadas durante el funcionamiento de la unidad 400 se concentran por gravedad en la salida 455. Las partículas de óxido más pequeñas o más ligeras, que no caen, pero sin embargo suben con la corriente del gas de síntesis no se tratan con el dispositivo 500.

25 El dispositivo 500 comprende un conducto 505, que se dirige opcionalmente a un baño electrolítico 510. El conducto 505 tiene una válvula de paso superior 530 y una válvula de paso inferior 535, que define entre ellas una zona intermedia (537). Se proporciona una entrada de ácido 540 para introducir ácido en la zona intermedia 537. un intercambiador de calor 520 se coloca con el fin de enfriar las partículas que van desde la unidad 400 hacia el conducto 505.

30 Cuando está en funcionamiento, las partículas de óxido que entra en el conducto 505 desde la unidad de producción de gas de síntesis 400 se enfrían primero con un intercambiador de calor 520, y a continuación entran en el conducto a través de la válvula de paso superior 530. El ácido, por ejemplo ácido sulfúrico, se introduce en el conducto 505 a través de la entrada de ácido 540 para disolver las partículas de óxido. La válvula de paso inferior 535 se abre para permitir que las partículas de óxido metálico disueltas en el ácido se viertan en el baño 510. Opcionalmente, el óxido metálico se somete a electrólisis en el baño 510.

40 La presión en la unidad de producción de gas de síntesis 400 es preferentemente superior a la presión en el conducto (siendo esta última opcionalmente la presión atmosférica), para facilitar el movimiento de partículas de óxido en sentido descendente en el conducto 505 y para evitar el movimiento de ácido hacia a través del conducto.

45 Cuando la regeneración metal del metal no se produce por electrólisis, se puede omitir el uso de ácido para disolver el óxido metálico y/o el uso de un aparato de electrólisis. En estos ejemplos el óxido metálico se enfría opcionalmente, y se transfiere para regeneración por reacción con metano, por calor, o de cualquier otra forma conocida en la técnica *per se*.

General

50 Se observa que determinadas características, que, por claridad, se describen en el contexto de ejemplos separados, también se pueden proporcionar en combinación en un solo ejemplo. A la inversa, diversas características, que, por brevedad, se describen en el contexto de un solo ejemplo, también se pueden proporcionar separadamente o en cualquier subcombinación adecuada.

55 Aunque la invención se ha descrito en conjunto con realizaciones específicas de la misma, es evidente que muchas alternativas, modificaciones y variaciones de estas realizaciones serán evidentes para los expertos en la materia. Por consiguiente, se pretende incluir todas dichas alternativas, modificaciones y variaciones que entran dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

60 Los términos "reciclar" y "regenerar" se usan indistintamente en la presente descripción y reivindicaciones.

Los términos "rociar" y "pulverizar" se usan indistintamente en la presente descripción y reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método que comprende:

5 hacer reaccionar agua y dióxido de carbono con cinc en una cámara de reacción para obtener hidrógeno, monóxido de carbono y óxido de cinc; y
 regenerar el cinc a partir del óxido de cinc haciendo reaccionar, en la cámara de reacción (405), al menos una
 porción del óxido de cinc con metano,
10 en el que la reacción y la regeneración se llevan a cabo en la misma cámara de reacción (405).

10 2. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente hacer reaccionar el monóxido de carbono y el hidrógeno para obtener un combustible.

15 3. El método de la reivindicación 2, que comprende adicionalmente, antes de producir el combustible, enfriar el gas de síntesis con una turbina de gas que usa el gas de síntesis como fluido de trabajo.

20 4. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente separar al menos una porción del dióxido de carbono a partir de una mezcla de gases recibida desde al menos uno de: gas de vertedero, gas natural y productos gaseosos de fermentación, e introducir en la cámara de reacción (405) el dióxido de carbono separado.

 5. El método de la reivindicación 1, en el que dióxido de carbono y metano se obtienen a partir de al menos uno de: gas de vertedero y gas natural.

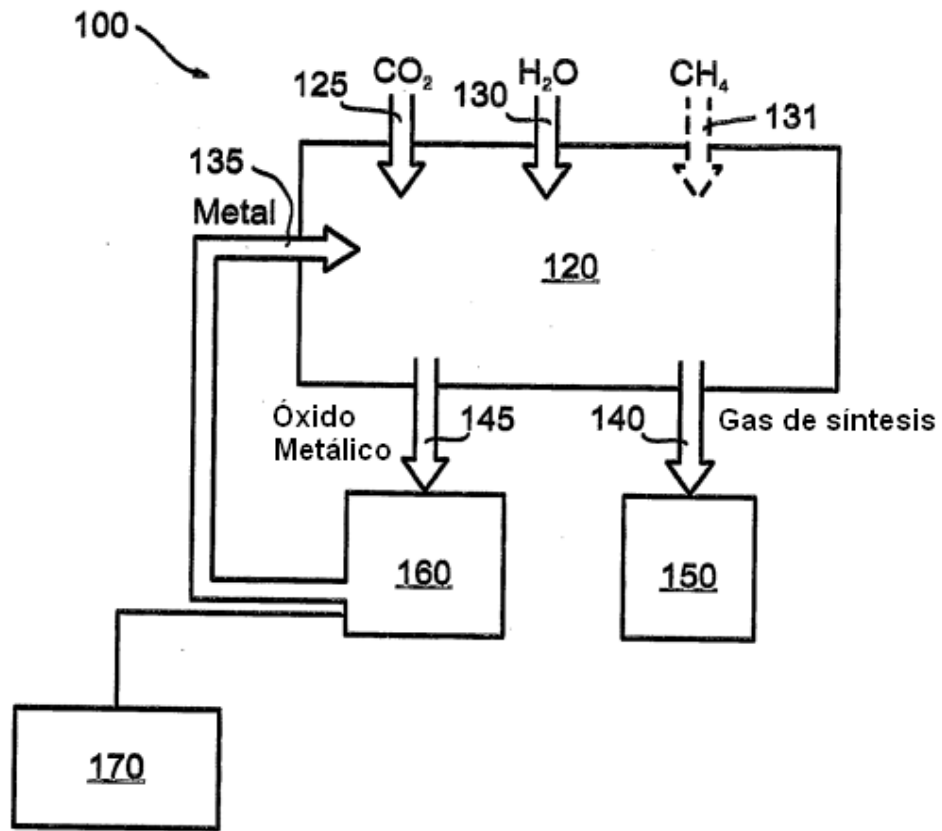


Fig. 1A

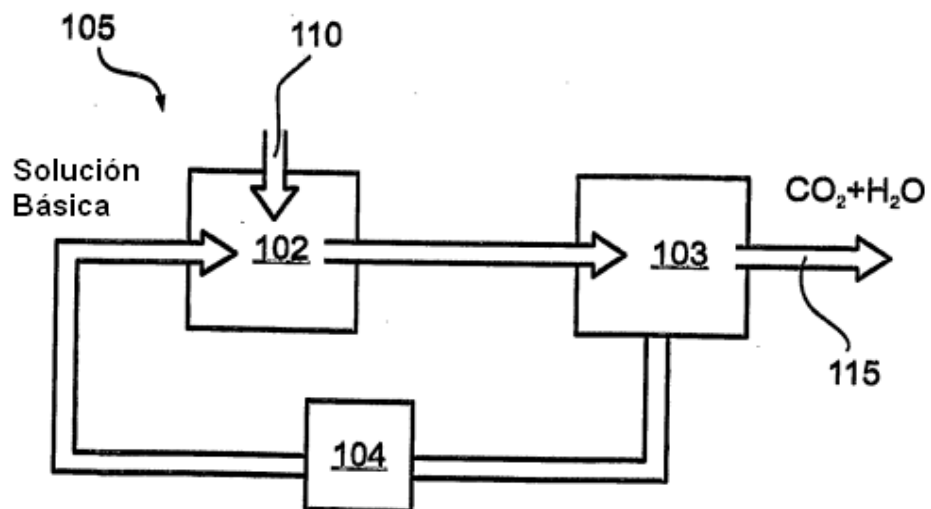


Fig. 1B

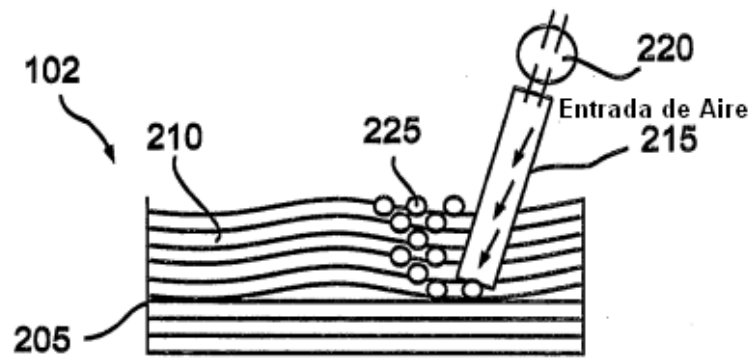


Fig. 2A

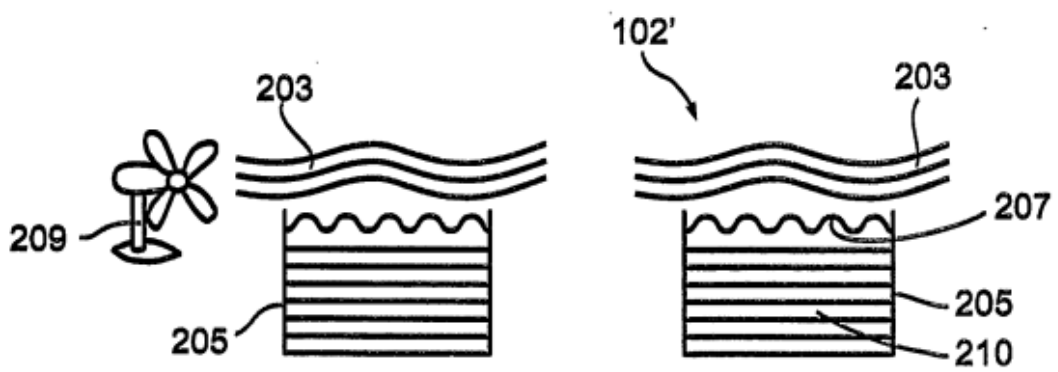


Fig. 2C

Fig. 2B

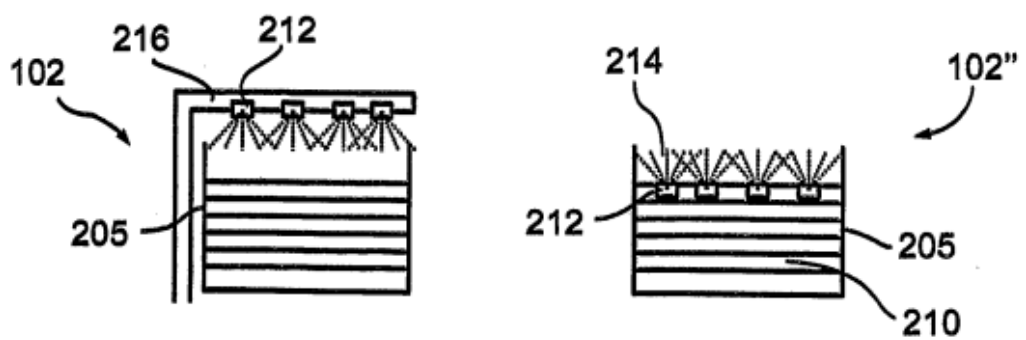


Fig. 2E

Fig. 2D

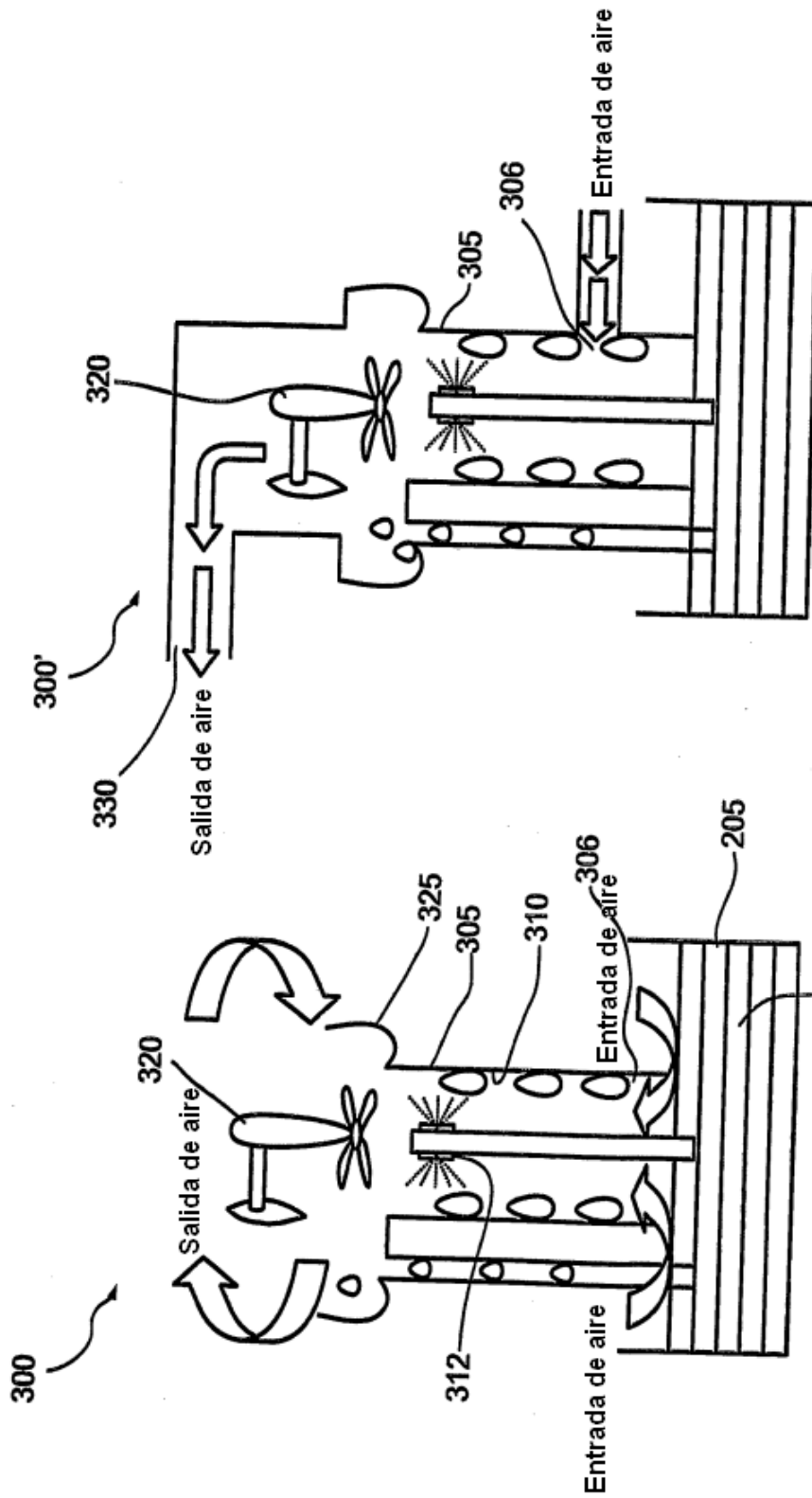
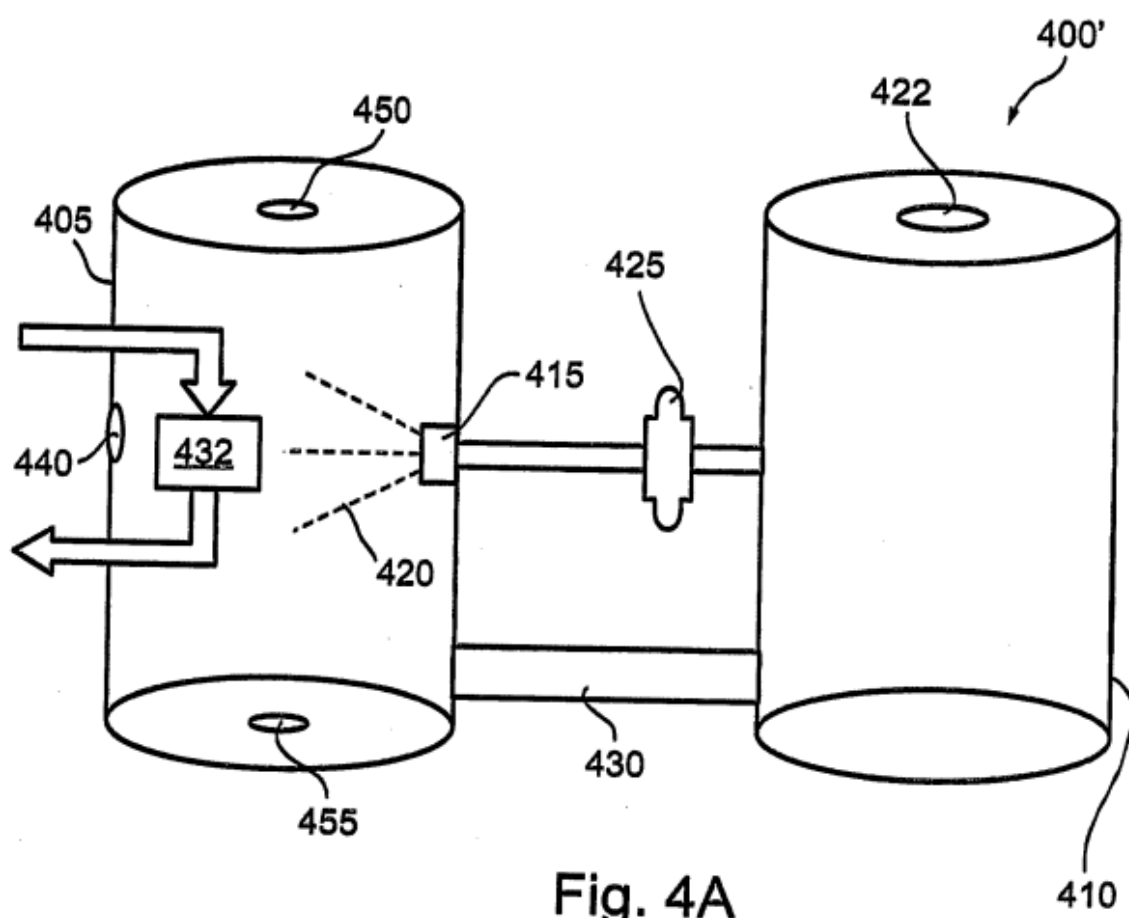


Fig. 3B

Fig. 3A



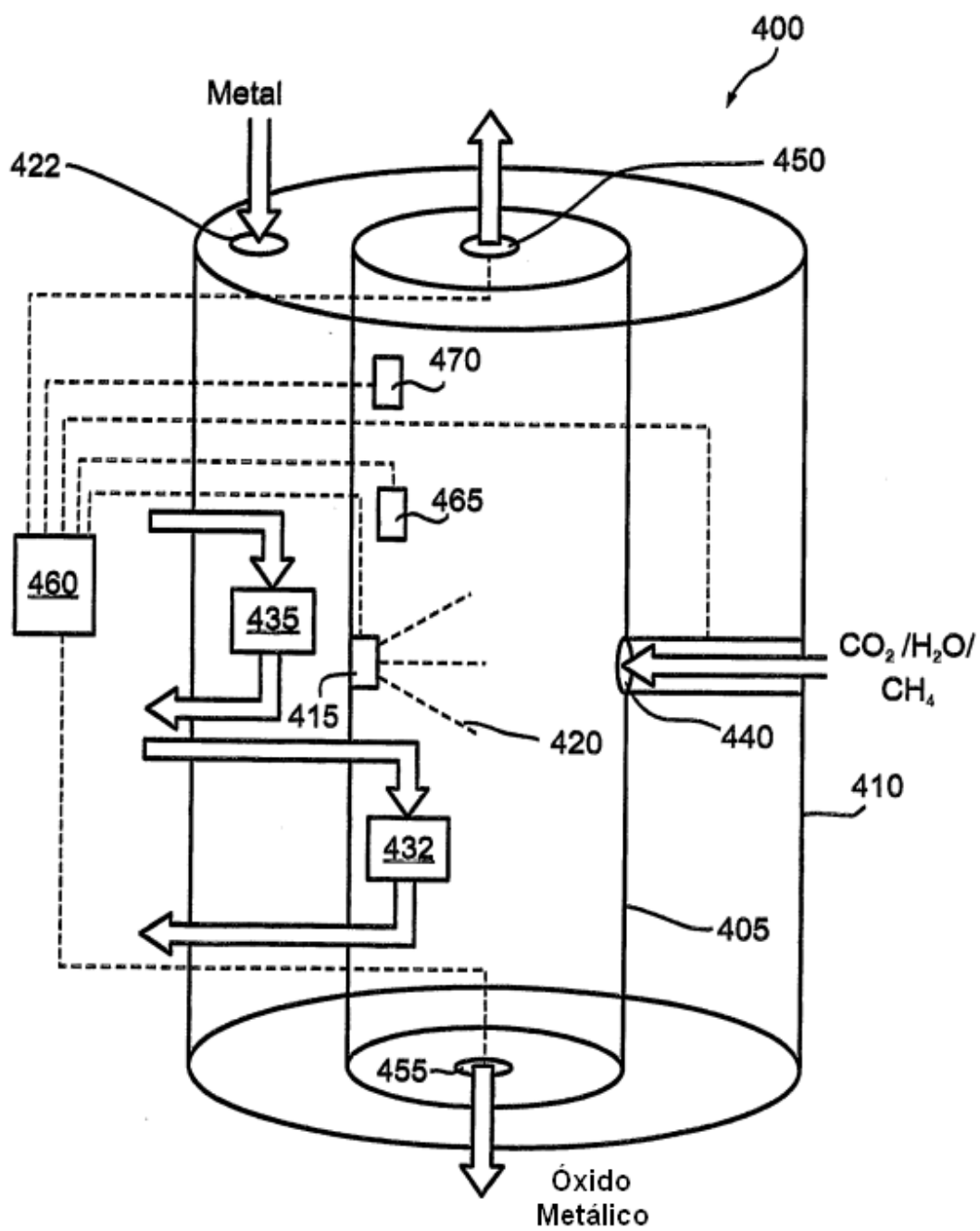


Fig. 4B

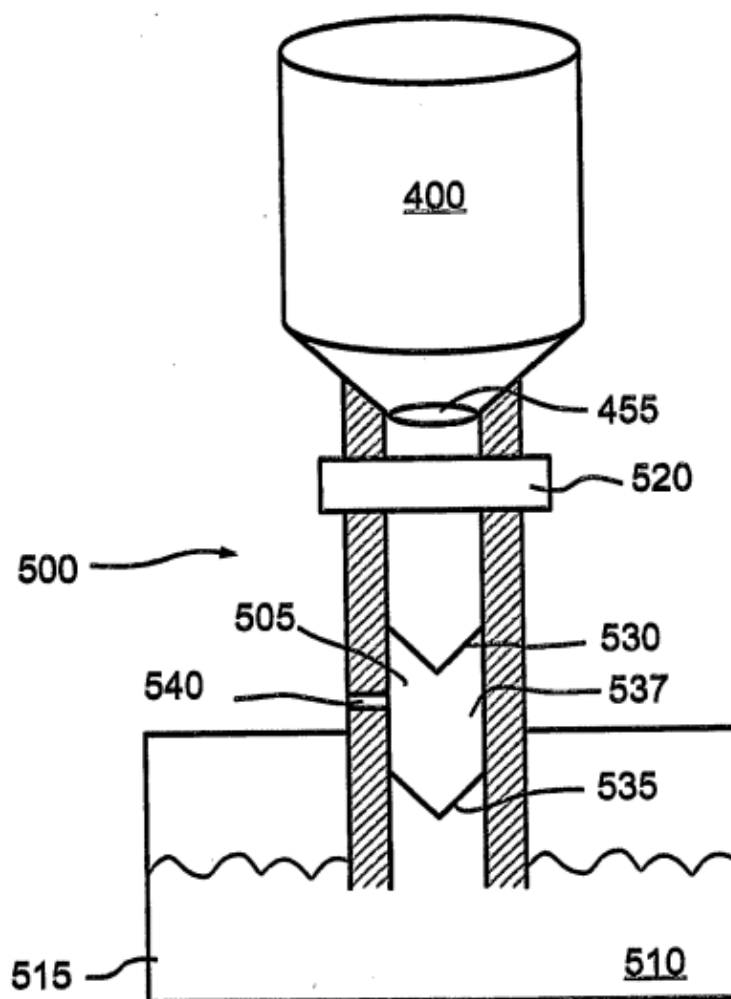


Fig. 5