

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 684 446**

51 Int. Cl.:

C10J 3/00 (2006.01)

C10K 1/02 (2006.01)

C10K 1/08 (2006.01)

C10K 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.12.2008 PCT/EP2008/067010**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.06.2010 WO10066281**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2008 E 08875424 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.05.2018 EP 2373765**

54 Título: **Sistema modular flexible para la producción de hidrógeno por gasificación de plasma**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.10.2018

73 Titular/es:
PLAGAZI AB (100.0%)
P.O. Box 1006
269 21 Båstad, SE

72 Inventor/es:
RINGHEIM, DANIEL y
GRANBERG, TORSTEN

74 Agente/Representante:
ARIAS SANZ, Juan

ES 2 684 446 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema modular flexible para la producción de hidrógeno por gasificación de plasma

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere generalmente a un sistema modular flexible para la producción de hidrógeno que comprende módulos de contenedor conectados entre sí por medio de una interfaz.

10 **Técnica anterior**

El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo; sin embargo, no existe hidrógeno en su forma pura en la tierra. El hidrógeno puede usarse como portador de energía para la producción de energía eléctrica en celdas de combustible o como un producto básico altamente valioso como material de partida en industrias de proceso. El hidrógeno es muy volátil y difícil de almacenar y transportar. Por tanto, está limitado el uso de hidrógeno a mayor escala. Por tanto, existe una gran necesidad de eliminar o al menos disminuir la necesidad de transportar hidrógeno desde el sitio de producción hasta el sitio de uso. También hay necesidades diferentes en diferentes industrias con respecto al nivel de pureza del hidrógeno. En algunas industrias no se necesita hidrógeno altamente puro y, por tanto, estas industrias no están dispuestas a pagar una cantidad adicional para la purificación. Al revés, en algunas industrias es esencial un alto nivel de pureza del hidrógeno.

Hay varias industrias que usan hidrógeno, por ejemplo, vidrio, acero, petróleo, industria de los vehículos y química. Puede usarse hidrógeno en la producción de vidrio para ventanas planas en las que se usa un baño de estaño para hacer el plano de vidrio. Durante este proceso se usa hidrógeno para crear una atmósfera reductora. En la producción de acero a partir de hierro es posible usar hidrógeno como elemento reductor, tal como para reducir las superficies del acero. Si se usa hidrógeno en este proceso no hay emisiones de gases de efecto invernadero. En la industria del petróleo se usa una gran cantidad de hidrógeno para el reformado de cadenas de hidrocarburo. Con una nueva demanda y cada vez mayor de diésel, las refinerías están buscando convertir más del petróleo en diésel en lugar de gasolina. Durante ese proceso se usa hidrógeno. Cuando se usa hidrógeno y celdas de combustible en los coches aumenta la eficiencia global. Cuando se produce amoníaco, se hace reaccionar hidrógeno con nitrógeno en un convertidor catalítico. Puede usarse amoníaco, por ejemplo, en la producción de fertilizantes.

Como los procesos industriales se desarrollan continuamente, también existe una necesidad de ser capaces de ajustar el nivel de pureza del hidrógeno en consecuencia. Al mismo tiempo, dependiendo de la localización de una industria, pueden estar disponibles diferentes fuentes de energía, es decir, una materia prima, para el proceso o el sistema para la producción de hidrógeno. Por consiguiente, es importante que el sistema pueda utilizar varios tipos de materia prima y preferentemente en todas las formas, es decir, en forma gaseosa, líquida y/o sólida. Por tanto, existe una necesidad de proporcionar un sistema que sea altamente flexible y fácilmente ajustable a las necesidades de diferentes industrias. También existe una necesidad de producir hidrógeno con mayor eficiencia que mediante la electrólisis que se usa comúnmente en los procesos industriales hoy en día.

Se conoce la gasificación de plasma como un medio eficaz para producir energía e hidrógeno a partir de material orgánico convirtiendo la energía en el material orgánico en otro estado de energía en el hidrógeno para uso posterior como se describe, por ejemplo, en el documento US 7.163.758. En el estado de la técnica, la mayor parte de los generadores de plasma usan corriente continua (CC) para crear una descarga eléctrica. Los generadores de plasma que usan corriente alterna son conocidos en el estado de la técnica, pero son frecuentemente inestables y frecuentemente requieren el uso de un material conductor, tal como una piscina de metal fundido para permitir el inicio de un arco. El uso de CC o los requisitos de material conductor para iniciar un arco hace que los sistemas sean inflexibles y caros de rediseñar y ajustar a las nuevas exigencias. El documento US 6.215.678 describe un método y aparato para tratar residuos que comprende un horno de plasma de arco y un crisol calentado por Joule como sistema integrado con una turbina de gas, motor de combustión interna o equipo que genera celda de combustible que puede ser utilizado en unidades modulares y que puede ser aumentados de escala para manipular grandes volúmenes de residuos sólidos municipales. Sin embargo, el sistema requiere el uso de material conductor para iniciar el arco y es principalmente adecuado para usar residuo sólido como materia prima.

El documento US2008/0202028 A1 desvela un sistema de gasificación de plasma con un sistema de control integrado. El documento US20060272559 desvela un sistema de procesamiento de residuos por arco de plasma transportable dispuesto en contenedor de tamaño para carga. Existe una gran necesidad de sistemas fácilmente transportables que puedan ser fácilmente ajustados o personalizados según las necesidades de los usuarios. También el sistema debe ser fácil de ajustar a diferentes localizaciones industriales y, por tanto, al uso de CA como fuente de energía y la posibilidad de usar material orgánico de diferentes fuentes es importante. Por tanto, existe una necesidad de mejorar el estado de los sistemas de la técnica de tal forma que los sistemas sean más fácilmente transportables y ajustables y que también se permita el uso de material orgánico en diferentes formas de sólido, líquido y gas.

El objeto de la presente invención es proporcionar un sistema respetuoso con el medioambiente para producir

energía a partir de residuos. Otro objeto es proporcionar un sistema que sea flexible, fácil de ajustar a diferentes necesidades y fácil de transportar y rediseñar. Es todavía otro fin facilitar el uso de hidrógeno en la producción de energía o como material de partida en procesos industriales.

5 Sumario de la invención

Las deficiencias y problemas anteriormente establecidos de los sistemas del estado de la técnica son al menos parcialmente eliminados con la presente invención en la que material orgánico de, por ejemplo, biomasa y residuos es gasificado en un sistema modular según la reivindicación 1. Teniendo en cuenta el uso, la mejor forma de abrir la expansión de uso del hidrógeno es eliminar la necesidad de transportar hidrógeno. Especialmente, la solución según la presente invención es adecuada para satisfacer las necesidades de diferentes clientes en lo que se refiere a diferente pureza de hidrógeno. Disponiendo las etapas de separación de hidrógeno en uno o varios módulos que comprenden filtros de separación, puede extraerse hidrógeno con diferentes niveles de pureza. Esto es una propiedad única.

La invención se refiere a un sistema flexible modular según la reivindicación 1 que consiste en módulos de contenedor, en lo sucesivo también llamados módulos, donde cada módulo tiene una tarea específica. La construcción modular basada en contenedores estándar del sistema facilita el transporte y ensamblaje del sistema y el proceso puede ser adaptado a las necesidades individuales de cada cliente. El sistema con construcción modular facilita la sustitución de módulos durante las actualizaciones de producto. La distribución convencional de tecnologías de competencia es normalmente grandes proyectos ejecutados durante largos periodos de tiempo. El beneficio con una construcción modular es que el sistema puede ser movido y desmantelado después de uso en una localización y ser relocalizado para producir hidrógeno en otra localización. El concepto modular también facilita el rediseño de la instalación cuando cambian las exigencias. La invención es fácil de instalar cerca del cliente, eliminándose así la necesidad de transportar el hidrógeno. Solo la materia prima, es decir, el material orgánico, debe ser transportado al proceso que es mucho más fácil, ya que especialmente cerca de áreas pobladas hay sistemas de transporte y almacenamiento existentes para residuos.

La presente invención se refiere a un sistema modular flexible para la producción de hidrógeno a partir de material orgánico, sistema que comprende:

- (i) al menos un dispositivo de carga o módulo de carga;
- (ii) al menos un módulo de gasificación que comprende al menos un generador de plasma, que es alimentado con una corriente alterna;
- (iii) al menos un módulo de enfriamiento de gas;
- (iv) al menos un módulo de limpieza de gas que comprende al menos un dispositivo de limpieza de gas;
- (v) al menos un módulo de desplazamiento de agua-gas y de separación de hidrógeno,

en el que cada uno

de los módulos se construye como un contenedor estándar que tiene un tamaño estándar. Los módulos están conectados entre sí por medio de una interfaz que comprende medios de acoplamiento y conexiones para un gas, energía eléctrica y comunicación. Los módulos tienen un tamaño de un contenedor ISO estándar y están adaptados de manera que sean transportados en un vehículo de transporte. Los módulos pueden tener un tamaño de contenedores estándar y pueden tener, por ejemplo, una longitud de las cinco longitudes estándar comunes, es decir, 20 ft (6,1 m), 40 ft (12,2 m), 45 ft (13,7 m), 48 ft (14,6 m) y 53 ft (16,2 m). Por tanto, los módulos pueden ser transportados como contenedores estándar por cualquier vehículo adecuado, tal como camión, tren o barco. Los módulos se ensamblan juntos en combinación preferida en el sitio para formar una planta de gasificación y formación de hidrógeno personalizada.

Los módulos están conectados entre sí por medio de una interfaz. La interfaz en módulos adyacentes tiene las mismas especificaciones y es conectable a la interfaz del módulo adyacente. La interfaz puede comprender medios de acoplamiento, conexiones para agua, energía eléctrica, gases (aire comprimido, gas de síntesis o hidrógeno) y comunicación. Éstos son todos acoplamientos estándar para facilitar la instalación y actualización del sistema.

Según una realización de la invención, se usan dos o más módulos de limpieza para purificar el gas de manera que se obtenga el nivel requerido de pureza de hidrógeno. En toda esta disposición, el sistema puede ajustarse a la necesidad de cada cliente.

Según la invención, el gas de plasma es dirigido desde el compartimento de descarga del generador que comprende electrodos a través de un orificio a una cámara fuera del compartimento de descarga en cuya cámara el gas de plasma interacciona con un material orgánico. A través de esta disposición, el gas de plasma puede disponerse para interaccionar con cualquier forma de material orgánico, es decir, líquido, sólido o gas. El material orgánico puede ser residuos o combustibles carbonáceos, tales como gas natural, petróleo, carbón, biomasa, metano, hidrocarburos C₁ a C₄, metanol, gasolina y combustible diésel. Sin embargo, según una realización preferida de la invención, el material orgánico es residuos, ya sea domésticos o industriales, también pueden usarse residuos peligrosos. El

residuo está frecuentemente fácilmente disponible y los sistemas de transporte están fácilmente disponibles cerca de las plantas industriales, al menos si la industria está situada cerca de un centro de población.

5 Según una realización adicional de la invención, el generador de plasma es un generador de plasma trifásico. En toda esta disposición es posible obtener un flujo de gas altamente turbulento, que permite una interacción completa entre el gas y el material orgánico.

10 Según una realización adicional de la invención, el sistema puede comprender además uno o más módulos adicionales seleccionados del grupo que consiste en un módulo de carga, módulo de gasificación, módulo de limpieza y módulo de desplazamiento de agua-gas y de separación de hidrógeno. En toda esta disposición es posible personalizar además el sistema según las necesidades del cliente.

15 Debido al hecho de que los módulos pueden ser fácilmente conectados entre sí, el sistema se vuelve flexible. El sistema puede colocarse y conectarse a una planta industrial que requiere hidrógeno en sus procesos y así puede eliminarse el transporte del hidrógeno.

Breve descripción de los dibujos

20 La Figura 1 es un diagrama de flujo que muestra diferentes etapas del proceso según una realización de la invención.

La Figura 2 es un dibujo esquemático que muestra un ejemplo de una planta de gasificación según la presente invención.

25 La Figura 3 es un dibujo esquemático de una interfaz entre los módulos de contenedor según una realización de la invención.

30 La Figura 4 es una vista a escala ampliada de la conexión entre el módulo de residuos y el módulo de gasificación según una realización de la invención.

La Figura 5 es un dibujo esquemático de un generador de plasma según una realización de la invención.

La Figura 6 muestra esquemáticamente una reacción de desplazamiento de agua-gas.

35 Descripción detallada

40 El proceso de la presente invención se representa en el diagrama de flujo en la Figura 1. Residuo u otro material orgánico es transportado a la instalación o planta industrial y cargado al sistema. Si el material consiste en trozos grandes, puede ser opcionalmente machacado usando una machacadora para aumentar la homogeneidad del material que va a tratarse. Con homogeneidad mayor en el material orgánico, la entrada de los gases atmosféricos en el sistema puede controlarse más fácilmente. Si el material orgánico tiene alta humedad, puede secarse en una secadora mediante recirculación del calor generado en la secuencia de enfriamiento de gas a través de un intercambiador de calor.

45 Cuando el material orgánico ha sido tratado, se conduce a la unidad de gasificación donde las sustancias orgánicas son gasificadas y forman hidrógeno, monóxido de carbono y algunas trazas de dióxido de carbono. La gasificación se hace usando al menos un generador de plasma de corriente alterna (CA) que se suministra con un gas de trabajo formador de plasma, que puede ser aire, dióxido de carbono, argón, vapor u otros gases adecuados. Un sistema de alimentación está conectado al generador de plasma.

50 Cuando el material orgánico ha sido gasificado, el gas se conduce a una torre de pulverización para un enfriamiento controlado del gas. Se conecta agua recirculada a la torre de pulverización y se añaden diferentes aditivos al agua para limpiar el gas. Dependiendo de los diferentes tipos de residuo, se usan diferentes aditivos.

55 Después de enfriarse el gas, el calor generado de este proceso de enfriamiento se extrae a través de un intercambiador de calor que está conectado a un módulo de pre-tratamiento que comprende medios para precalentar o secar el material orgánico. De esta forma se aumenta la eficiencia total del sistema.

60 Cuando se termina el enfriamiento y limpieza del gas, dependiendo de las propiedades del material orgánico y la composición de los productos químicos, se conduce a través de una serie de filtros para incluso asegurar más la pureza del gas.

65 El gas limpio se conduce a un desplazamiento de agua-gas donde el monóxido de carbono reacciona con agua sobre un material catalítico para producir hidrógeno y dióxido de carbono. Entonces se separa el hidrógeno a través de al menos una etapa de filtración en membrana y/o con el uso de adsorción por cambio de presión donde el gas se hace circular para garantizar un alto rendimiento y eficiente de hidrógeno. Mediante la separación puede

extraerse dióxido de carbono y usarse en aplicaciones o, si las condiciones de infraestructura lo permiten, ser aprovechado y depositado. Mediante el depósito de dióxido de carbono la invención reduce activamente la cantidad de dióxido de carbono atmosférico.

5 Finalmente, se comprime el hidrógeno para almacenarse en un tampón. El producto final consiste en hidrógeno puro, adecuado para las industrias de proceso, producido a partir de material orgánico, tal como residuo. La eficiencia puede ser muy alta y aproximadamente el 95 % de la energía contenida en el residuo puede convertirse en energía utilizable en el gas sintético.

10 El sistema descrito anteriormente comprende módulos de contenedor, en lo sucesivo también llamados módulos, en el que cada módulo tiene su propia tarea técnica, como se describe después en la solicitud. Los módulos están formados como contenedores ISO (Organización Internacional de Normalización) estándar y tienen las mismas especificaciones que los contenedores ISO estándar, también llamados contenedores de transporte, que pueden cargarse, ajustarse y acoplarse con acoplamientos de contenedores estándar en cargueros, vagones, aviones y camiones. Los contenedores están disponibles en varias longitudes en las que las longitudes más comunes son
15 aproximadamente 6,06 m (20 ft.), 12,19 m (40 ft.) y 13,72 m (45 ft.), pero también pueden usarse otras longitudes estándar. Los contenedores tienen preferentemente una anchura estándar de aproximadamente 2,44 m (8 ft.) y una altura de aproximadamente 2,59 m a aproximadamente 2,90 m. Los contenedores comprenden una esquina de contenedor estándar, un bastidor de esquina, que permite el apilado y aseguramiento de los contenedores sobre una
20 plataforma.

En la ubicación y sitio industrial para el uso del sistema, los módulos de contenedor pueden ser directamente dispuestos sobre el suelo que ha sido preparado para el sistema. Como los módulos se construyen en tamaños y formas estándar, están adaptados para la fácil manipulación y transportación y así pueden ser elevados,
25 manipulados y transportados de la misma forma que cualquier contenedor estándar. El sistema puede ensamblarse en el sitio y puede estar en operación en poco tiempo. La longitud, anchura y altura de los módulos pueden variarse dentro de cualquier longitud estándar.

Entre los módulos se usa una interfaz normalizada para electricidad, gas y comunicación. La interfaz permite, por
30 ejemplo, el cambio de componentes en el plazo de horas en lugar de días y semanas. Esto es un aspecto muy importante debido a las exigencias del cliente.

El sistema se basa en la gasificación de plasma de material orgánico, especialmente residuo y biomasa. Se obtiene un gas sintético de las sustancias orgánicas en el residuo. El gas sintético obtenido de la gasificación de plasma del
35 material orgánico contiene principalmente hidrógeno, monóxido de carbono, y algunas cantidades de dióxido de carbono y agua. Si se usa aire como gas de trabajo, que es el gas que es inicialmente inyectado en el reactor de gasificación de plasma, el nitrógeno seguirá en la corriente de gas.

La Figura 2 muestra esquemáticamente un sistema de gasificación de plasma 1 según una realización de la invención. El sistema comprende los módulos de contenedor 2, 7, 11, 12, 14, 33 y 34, cada uno de aquellos módulos
40 tiene una tarea específica.

El sistema incluye preferentemente equipo para la carga de material orgánico. Por tanto, el sistema 1 comprende preferentemente un módulo de carga 2 o un dispositivo de carga en el que el material orgánico se manipula antes de
45 entrar en el módulo de gasificación. El material orgánico puede ser, por ejemplo, residuo residencial o municipal. Tal residuo es incinerado en grandes plantas como método de reducción de volumen. En muchos casos, el calor se produce para calefacción urbana y en algunos casos se produce energía eléctrica a partir de la incineración de estos residuos.

El sistema en la Figura 2 comprende un módulo de carga 2 para material orgánico. El módulo de carga 2 puede comprender opcionalmente un dispositivo para machacar el material orgánico en un tamaño de partícula más
50 pequeño que es más adecuado para el proceso (no mostrado).

El módulo de carga 2 también puede comprender un sistema opcional para secar el material orgánico antes de
55 entrar en el módulo de gasificación 7. El sistema puede usar, por ejemplo, calor que se obtiene de un intercambiador de calor conectado a una transferencia de calor de un módulo de enfriamiento de gas. El módulo comprende una tapa superior 3 que puede ser abierta para permitir la alimentación del material en el sistema. El módulo de carga comprende preferentemente un sistema de compartimento de esclusa 4, 5 que permite una alimentación discontinua del material orgánico en el sistema y también previene al menos parcialmente que gases atmosféricos entren en el
60 sistema. Por supuesto, pueden usarse otras disposiciones técnicas que permiten el control de la cantidad de material orgánico y la entrada de aire en el sistema. En el sistema de compartimento de esclusa mostrado en la Figura 2, el cierre inferior 5 se mantiene cerrado mientras que el cierre superior 4 está abierto y el material se carga en el sistema. Cuando ha entrado una cantidad predefinida de material en el sistema de compartimento de esclusa, se cierra el cierre superior 4 y se abre el cierre inferior 5 para permitir que el material orgánico entre en el módulo de gasificación 7 mediante un eje 6. Mediante esta disposición es posible controlar la cantidad de material orgánico y la
65 entrada de aire en el sistema. Como los gases atmosféricos en el aire pueden afectar el proceso de gasificación y

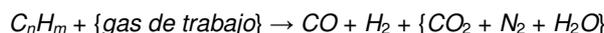
así la composición del gas sintético obtenido, es importante que pueda controlarse la cantidad de aire que entra en el sistema. Por ejemplo, un equilibrio del grado de oxidación, es decir, la relación CO:CO₂, puede ser rebajado si entra demasiado aire en el sistema. Puede controlarse la disposición de compartimento de esclusa por cualquier medio adecuado, tal como por medios hidráulicos, eléctricos o neumáticos.

5 El material orgánico se conduce al módulo de gasificación mediante un eje 6 al módulo de gasificación 7. Los módulos están conectados entre sí por medio de una interfaz, que se muestra esquemáticamente en la Figura 3. La interfaz comprende medios de conexión 19a, 19b, 19c y 19d que conectan los módulos entre sí. Los módulos también comprenden acoplamientos de contenedores estándar que no se muestran en la figura. Existe preferentemente al menos un medio de conexión en cada esquina del módulo de contenedor. Sin embargo, puede variarse la cantidad de medios de conexión y, por ejemplo, pueden ponerse medios de conexión adicionales en los bordes entre los medios de conexión en las esquinas del contenedor. Los medios de conexión son preferentemente conectores rebordeados elásticos que permiten pequeños movimientos y desviaciones radiales entre los módulos. Debido a los medios de conexión, no existe necesidad de soldar los módulos juntos. Así se simplifica el montaje y desmontaje de los módulos. La interfaz comprende además una abertura 15 para un canal de gas a través del cual se conduce el material a gasificar y/o que ha sido gasificado. Además, se proporciona una conexión 16 para cables eléctricos, y cables de datos y de red, y un espacio 17, donde los cables pueden ser asegurados cuando los módulos se ensamblan juntos. Los módulos pueden incluir sistemas de control para una manipulación automática de material orgánico y comunicación con el usuario y los siguientes módulos. Estos sistemas están comercialmente disponibles y no se describen detenidamente en el presente documento. Pueden proporcionarse canales adicionales para, por ejemplo, agua y comunicación. La interfaz comprende además un reborde 18 de material elástico que constituye una protección contra la intemperie para la interfaz. El reborde rodea preferentemente la abertura de gas 15, conexión de cable 16 y el espacio de almacenamiento de cables 17 para proteger estas conexiones de la suciedad y lluvia y/o nieve. Todos los módulos de contenedor comprenden al menos una interfaz hacia al menos un módulo de contenedor adyacente. La interfaz tiene preferentemente las mismas especificaciones, que es, por ejemplo, tamaño y estructura de medios de conexión, en todos los módulos. Esto permite una construcción más fácil del sistema y también personalización según las necesidades del cliente.

30 La Figura 4 representa una vista esquemática detallada de una conexión entre el módulo de carga y el módulo de gasificación. Según la realización mostrada en la Figura 4, se proporciona un medio de conexión flexible 19 entre el módulo de carga 2 y el módulo de gasificación 7. El medio de conexión flexible comprende un miembro interno elástico 20 que permite pequeños movimientos radiales y permite una conexión más simple de los módulos de contenedor entre sí y así también permite un montaje más fácil del sistema completo. Un ejemplo de un miembro de conexión se representa por 22.

35 El módulo de gasificación comprende al menos un generador de plasma alimentado con corriente alterna. El módulo de contenedor de gasificación de plasma está aislado con materiales resistentes al calor y está adaptado para resistir temperaturas que alcanzan aproximadamente 1200-1700 °C. Debido a la alta temperatura, el proceso no produce dioxinas.

40 La reacción primaria en el módulo de gasificación de plasma es:



45 El módulo de gasificación 7 comprende al menos un generador de plasma de corriente alterna 8 como se muestra en la Figura 5. El gas de trabajo que forma plasma se inyecta a través de una conexión 9 a los electrodos 23a y 23b. El gas de trabajo puede consistir en, pero no se limita a, aire, nitrógeno, argón, dióxido de carbono y gas natural. El gas de trabajo se ioniza por medio de los electrodos en un compartimento de descarga 24 y se alimenta a través de un orificio 25 a una cámara 26 fuera del compartimento de descarga 24 en cuya cámara 26 el gas de plasma interacciona con el material orgánico. El material orgánico que va a tratarse cae hacia abajo en el módulo de gasificación, como se representa por la flecha en la Figura 5.

55 El material orgánico es así convertido en hidrocarburos gaseosos y partículas. El módulo de gasificación de plasma 7 está aislado para mantener las propiedades de temperatura correcta dentro del módulo. El material orgánico es entonces empujado a través del módulo y el gas producto es conducido a la siguiente etapa del proceso, es decir, enfriamiento y limpieza y el material de desecho y metales son conducidos a un contenedor 10 en el fondo del módulo de gasificación. Pueden incorporarse generadores de plasma adicionales en el sistema si se requiere, de manera que pueda garantizarse la gasificación y disociación total de los productos químicos restantes.

60 Una conexión de alimentación para corriente alterna (CA) está conectada a los electrodos donde tiene lugar la descarga. Existen preferentemente tres electrodos primarios, pero la cantidad de electrodos no se limita a tres. La cantidad de electrodos puede variarse dependiendo de los requisitos que el proceso tenga sobre la eficiencia del generador de plasma. Se usa preferentemente un generador de plasma con tres electrodos ya que la conexión de alimentación puede entonces conectarse a una fuente de alimentación trifásica que se usa comúnmente como fuente de alimentación industrial. El voltaje usado para iniciar un arco dentro del generador puede ser relativamente bajo, de aproximadamente 220-480 VAC, y preferentemente 400 VAC a una frecuencia de 50 a 60 Hz. La descarga

se produce a una frecuencia de 200-500 Hz entre los electrodos. Mediante el uso del generador de plasma de CA, se crea turbulencia. Un generador de plasma útil en la presente invención se muestra esquemáticamente en la Figura 5. El gas de trabajo, por ejemplo aire, se inyecta a través de un canal 9 en una cámara donde se localizan los electrodos 23a y 23b (el tercer electrodo no se muestra en la figura). El gas de trabajo reacciona entre los electrodos y el gas ionizado caliente, altamente turbulento, abandona el compartimento 24 e interacciona con el material orgánico. El material orgánico cae verticalmente y el gas de plasma se alimenta aproximadamente perpendicularmente contra el material orgánico como se muestra en la Figura 5. El gas se conduce del módulo de gasificación 7 a un módulo de refrigeración 11 que aprovecha el enfriamiento y limpieza con disolvente de agua parcial, y como se muestra en la Figura 2.

El módulo de enfriamiento 11 puede comprender un sistema de limpieza que se diseña para limpiar parcialmente el gas de impurezas tales como azufre y cloro. El gas que contiene impurezas se purifica por medio de un reactor de lavador 27 en el que el gas se hace reaccionar con un líquido de lavador que elimina las impurezas del gas a través de una reacción química. Una composición del líquido de lavador depende del tipo de la impureza/impurezas a eliminar. Un principio general para un lavador es que un gas que va ser limpiado se alimenta desde el fondo del reactor lavador 27 hacia arriba a través del reactor lavador. El líquido del lavador se pulveriza por medio de medios de pulverización en el reactor 27 con un tamaño de gotita específico, que también depende del tipo de la impureza que va a eliminarse. Las impurezas, que pueden estar, por ejemplo, en forma de partículas o composiciones químicas, reaccionan con el líquido del lavador y caen al fondo del reactor junto con el líquido del lavador. El líquido del lavador que contiene las impurezas se trata en un sistema de tratamiento de líquido 28 separado o integrado. La salida del módulo es gas frío y parcialmente limpiado, que puede ser conducido del módulo a través de un canal 29 a un módulo de limpieza 12 que comprende filtros.

Para una limpieza completa del gas producido, pueden acoplarse uno o más módulos de limpieza de gas 12 adicionales que comprenden un dispositivo de limpieza que comprende al menos un filtro o una serie de filtros 13a, 13b, 13c y 13d al sistema. Los filtros que pueden usarse pueden ser, por ejemplo, filtros textiles y/o eléctricos. La composición de los filtros usados está gobernada por la composición del material orgánico cargada en el sistema y los diferentes compuestos que necesitan ser separados. Para la gasificación de biomasa pura, un filtro textil podría demostrar ser suficiente, pero cuando se tratan tipos de residuos más agresivos, tales como por ejemplo PCB-aceites, compuestos orgánicos aromáticos, gas de guerra, neumáticos y CFC:s, la limpieza necesita ser más elaborada. La limpieza se divide en diferentes módulos que garantizan que, independientemente del residuo que va a tratarse, puede realizarse limpieza suficiente del gas.

Cuando el gas producto obtenido de los módulos de limpieza tiene una calidad deseada de pureza, el gas se alimenta a un módulo de desplazamiento de agua-gas y de separación de hidrógeno 14 que comprende un reactor de desplazamiento de agua-gas 30. El módulo puede comprender además un dispositivo de cambio de presión 31 y un dispositivo de separación de membrana 32, como se muestra esquemáticamente en la Figura 2. El gas producto que entra en el desplazamiento de agua-gas y separación de hidrógeno es gas limpio que comprende monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H₂), dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N₂). La Figura 6 representa esquemáticamente cómo se genera más hidrógeno a través de una reacción de desplazamiento de agua-gas donde se hace reaccionar monóxido de carbono con agua sobre un material catalítico. Los reactores de desplazamiento de agua-gas basados en la reacción anteriormente definida y adecuados para su uso en la presente invención son muy conocidos en la técnica y, por tanto, no son estrechamente definidos en el presente documento.

Después de la reacción de desplazamiento, el hidrógeno se separa, por ejemplo, usando una membrana, una tecnología que es muy conocida en la técnica, y los gases mixtos se recirculan para potenciar la salida de hidrógeno. También pueden usarse otras tecnologías convencionales conocidas en la técnica para separar el hidrógeno. Durante la separación pueden obtenerse productos hidrogénicos con diferentes purezas. El gas hidrógeno obtenido puede contener trazas de otros gases, tales como dióxido de carbono, o puede ser altamente puro conteniendo trazas de otros gases al nivel de ppm. El gas que no es completamente puro puede usarse en algunas aplicaciones de celdas de combustible o como una reducción en los procesos que no son sensibles para dióxido de carbono. El gas hidrógeno altamente puro puede usarse, por ejemplo, en la industria del acero que requiere una pureza muy alta de hidrógeno. Mediante la presente invención es fácil ajustar el proceso para diferentes requisitos, ya que puede disponerse una cantidad deseable de módulos de limpieza en el proceso debido a la estructura modular del sistema.

El hidrógeno purificado puede almacenarse durante cortos periodos de tiempo por medio de compresor y equipo de tampón, que están preferentemente contenidos en un módulo de compresor 33 separado, como se muestra esquemáticamente en la Figura 2. Dependiendo de las fluctuaciones de los clientes en la demanda de hidrógeno, se usa un sistema de tampón para garantizar que el cliente siempre tenga hidrógeno disponible. Este módulo consiste en al menos un compresor de hidrógeno de baja presión. El hidrógeno puede entonces ser guardado en un almacenamiento de tampón 34, como se muestra esquemáticamente en la Figura 2, que comprende al menos un recipiente a presión como tampón temporal para gas hidrógeno. El recipiente a presión también puede tener las dimensiones de un contenedor estándar.

Cuando se gasifica, por ejemplo, biomasa o residuo orgánico en hidrógeno, puede separarse dióxido de carbono en el proceso como un producto secundario. El dióxido de carbono obtenido puede comprimirse y usarse, por ejemplo,

5 en la industria del papel para aplicaciones de regulación del pH. También puede usarse dióxido de carbono en la industria de las bebidas para bebidas carbonatadas. El dióxido de carbono también se usa como un gas importante para equipo de extinción de incendios y para llenar chalecos salvavidas automatizados. Esta separación hace posible aprovechar el dióxido de carbono y depositarlo, ya sea presurizado en cilindros o, si la infraestructura apropiada está disponible, en lechos de roca que rodean los pozos de petróleo o uniéndolo, por ejemplo, a cemento. Por tanto, la invención puede reducir activamente la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera.

10 El sistema según la presente invención puede comprender más de un generador de plasma que es alimentado con una corriente alterna y más de un módulo de gasificación. Sin embargo, el sistema comprende al menos un módulo de gasificación como se ha descrito anteriormente. El sistema comprende además al menos un módulo de limpieza de gas, pero dependiendo de la calidad deseada de hidrógeno, puede incorporarse más de un módulo de limpieza al sistema. Además, el sistema comprende al menos un módulo de desplazamiento de agua-gas y de separación de hidrógeno. El sistema puede comprender varios módulos del mismo tipo o diferente. Los módulos adicionales pueden seleccionarse del grupo que consiste en un módulo de carga, módulo de gasificación, módulo de limpieza, 15 módulo de desplazamiento de agua-gas y de separación de hidrógeno, módulo de tampón de hidrógeno, módulo de aprovechamiento de dióxido de carbono y un módulo de control, en los que se proporciona el sistema de datos requerido para controlar el sistema, todo dependiendo de las necesidades individuales del sistema.

20 En la descripción anterior se han desvelado realizaciones particulares de la presente invención. Otras modificaciones de la presente invención deben ser evidentes para aquellos expertos en la materia a partir de las enseñanzas en el presente documento dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema modular flexible (1) para la producción de hidrógeno a partir de material orgánico en forma de sólido, líquido o gas, sistema que comprende:
- 5 (i) al menos un dispositivo de carga o módulo de carga (2);
(ii) al menos un módulo de gasificación (7) que comprende al menos un generador de plasma (8), que es alimentado con una corriente alterna;
(iii) al menos un módulo de enfriamiento de gas (11);
- 10 (iv) al menos un módulo de limpieza de gas (12) que comprende al menos un dispositivo de limpieza de gas;
(v) al menos un módulo de desplazamiento de agua-gas y de separación de hidrógeno (14); en el que
- cada uno de los módulos se construye como un contenedor estándar que tiene un tamaño estándar de un contenedor estándar ISO y está adaptado para ser transportado en un vehículo de transporte y cuyos módulos están conectados entre sí por medio de una interfaz que comprende medios de acoplamiento (19a, 19b, 19c, 19d) y conexiones para un gas (15), y energía eléctrica y comunicación (16), y en el que el gas de plasma se dirige del compartimento de descarga (24) del generador (8) que comprende electrodos a través de un orificio (25) a una cámara (26) fuera del compartimento de descarga (24) en cuya cámara (26) el gas de plasma interacciona con el material orgánico.
- 15
- 20
2. El sistema según la reivindicación 1, en el que la interfaz en módulos adyacentes tiene las mismas especificaciones y es conectable a la interfaz del módulo adyacente.
3. El sistema según la reivindicación 1 o 2, en el que se usan dos o más módulos de limpieza (12) para purificar el gas, de manera que se obtenga el nivel requerido de pureza de hidrógeno.
- 25
4. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el generador de plasma (8) es un generador de plasma trifásico.
5. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sistema comprende además uno o más módulos adicionales seleccionados del grupo que consiste en un módulo de carga, módulo de gasificación, módulo de limpieza y módulo de desplazamiento de agua-gas y de separación de hidrógeno.
- 30
6. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los medios de acoplamiento son flexibles.
- 35
7. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la interfaz comprende un reborde (18) de material resiliente que constituye una protección contra la intemperie para la interfaz.
- 40
8. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el módulo de gasificación está aislado con materiales resistentes al calor y está adaptado para resistir temperaturas de hasta aproximadamente 1200-1700 °C.

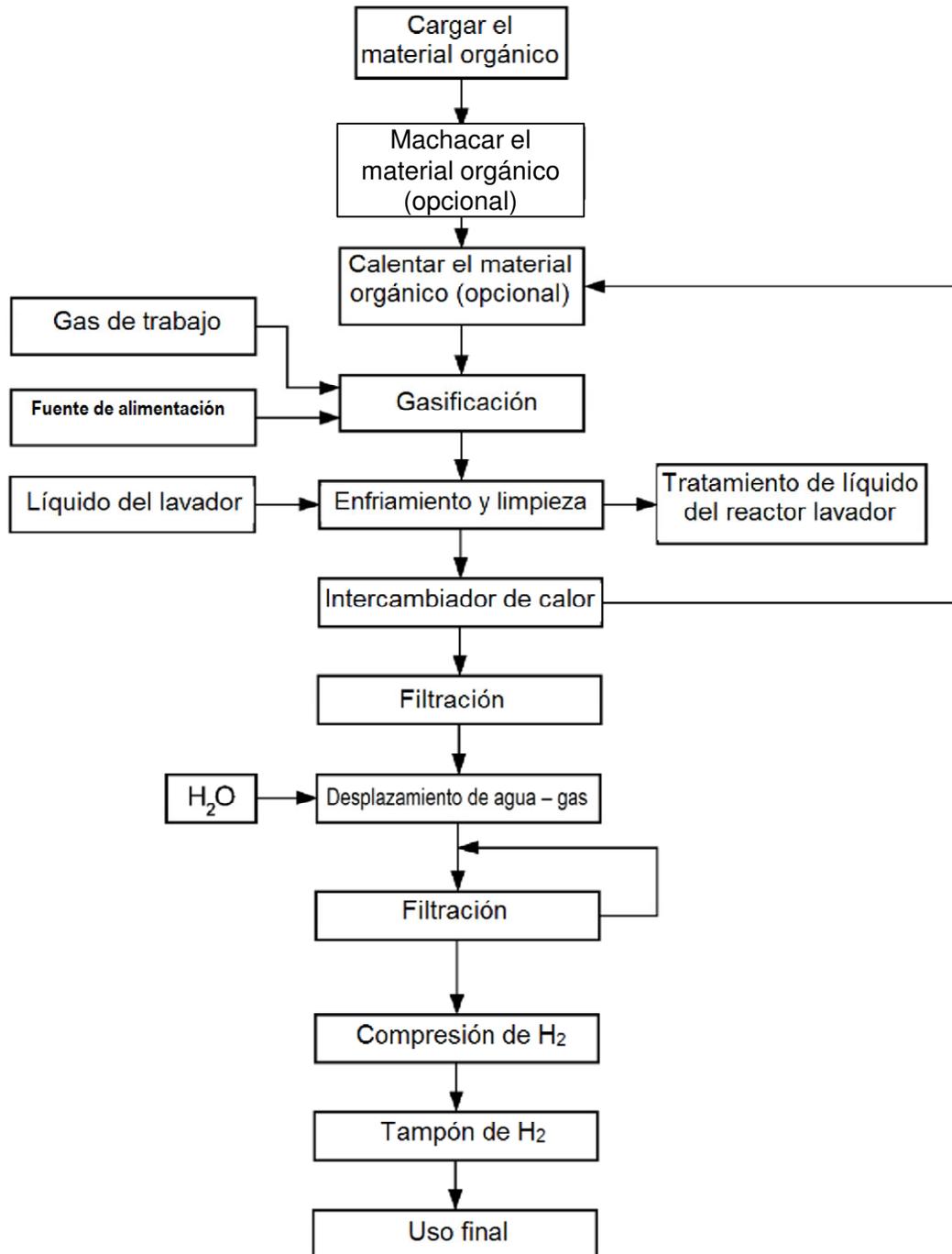


FIG. 1

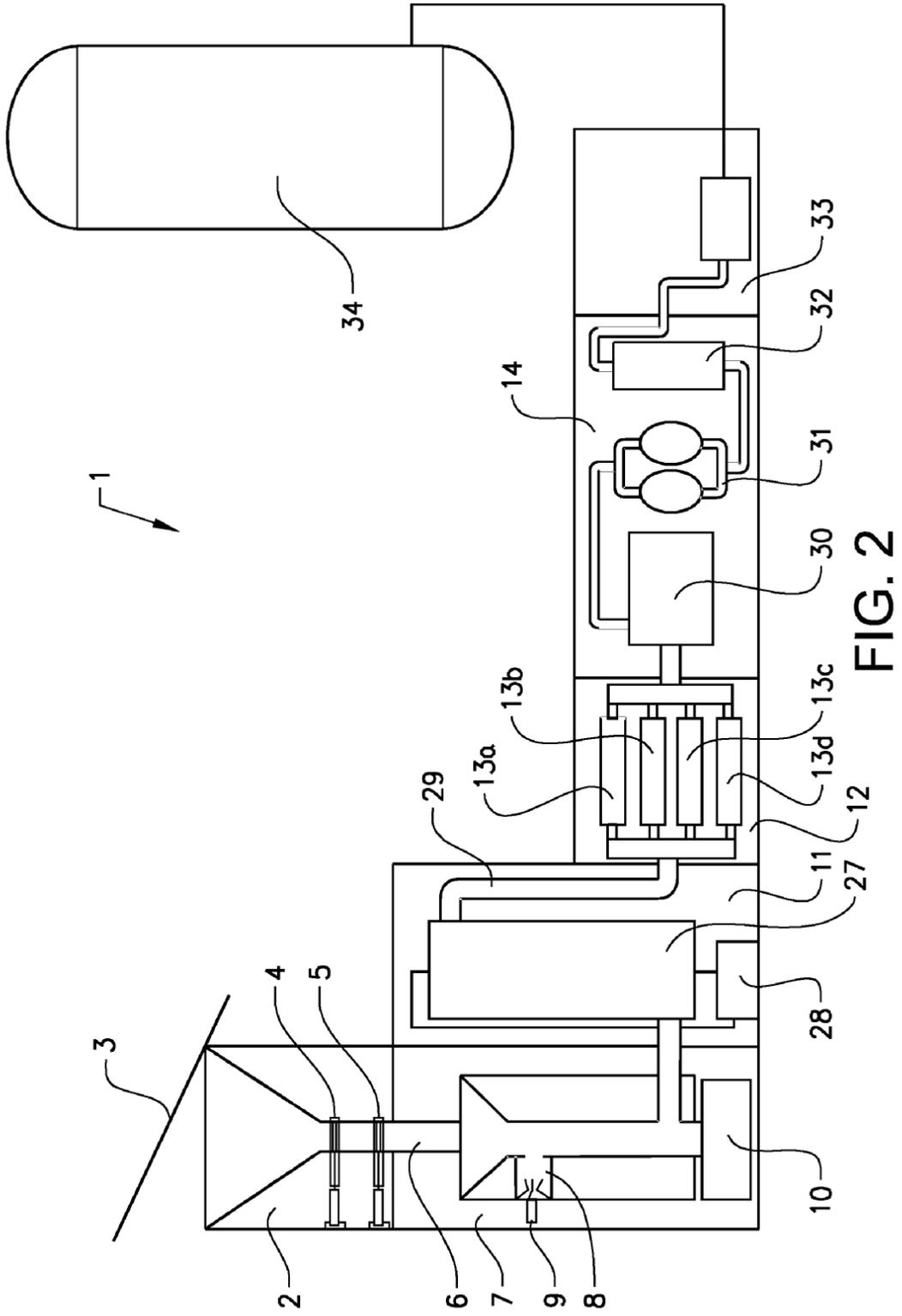


FIG. 2

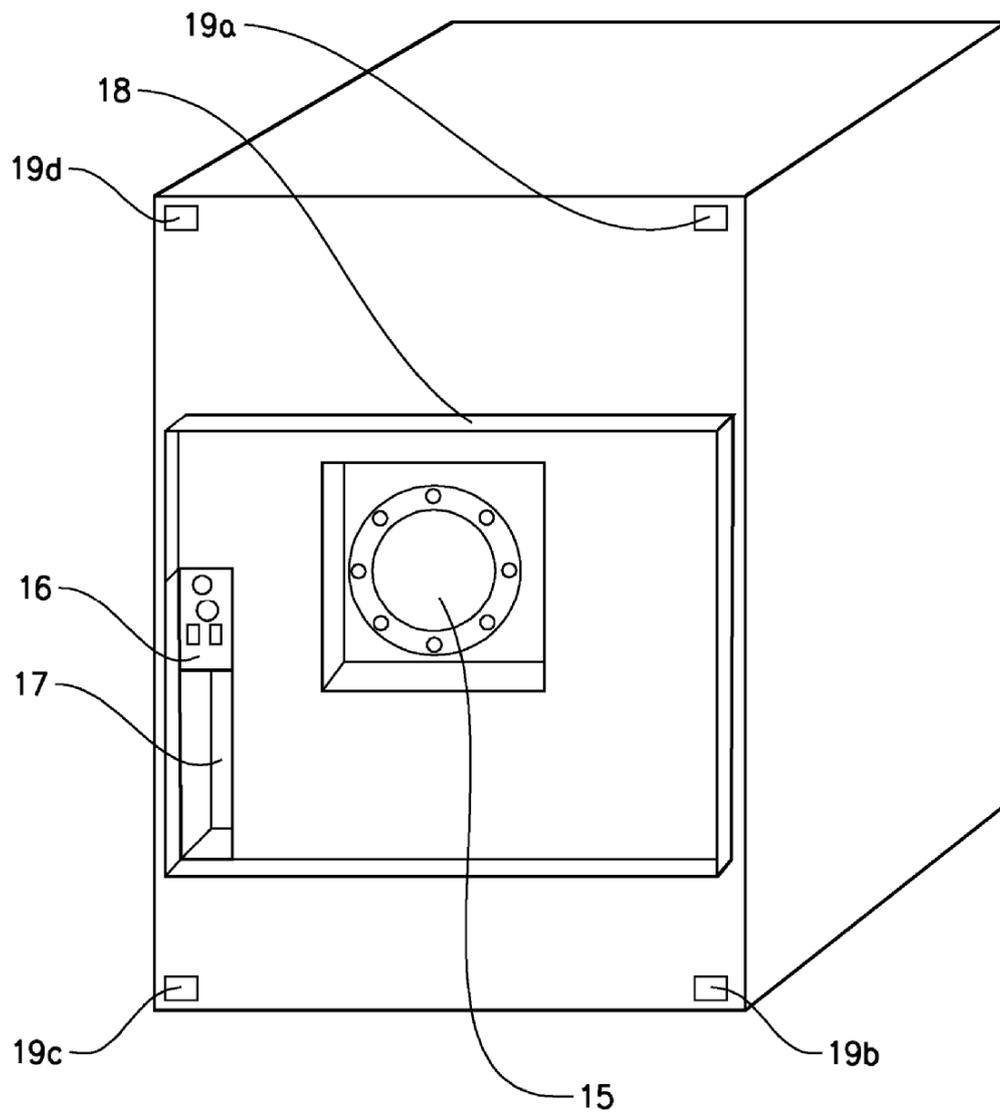
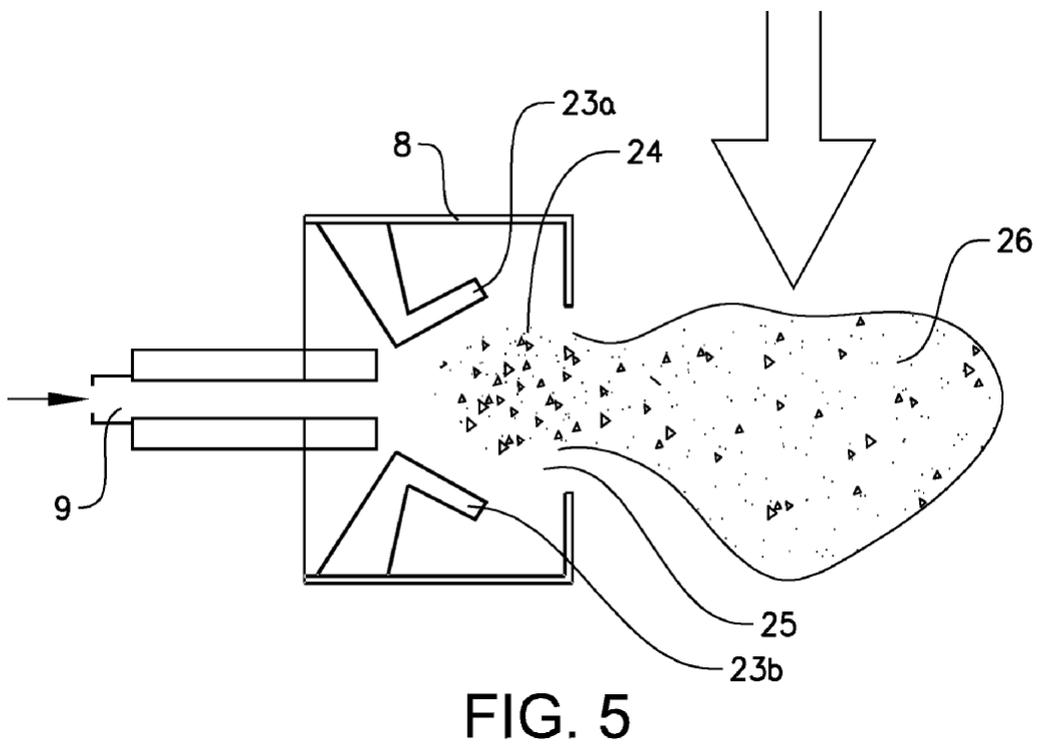
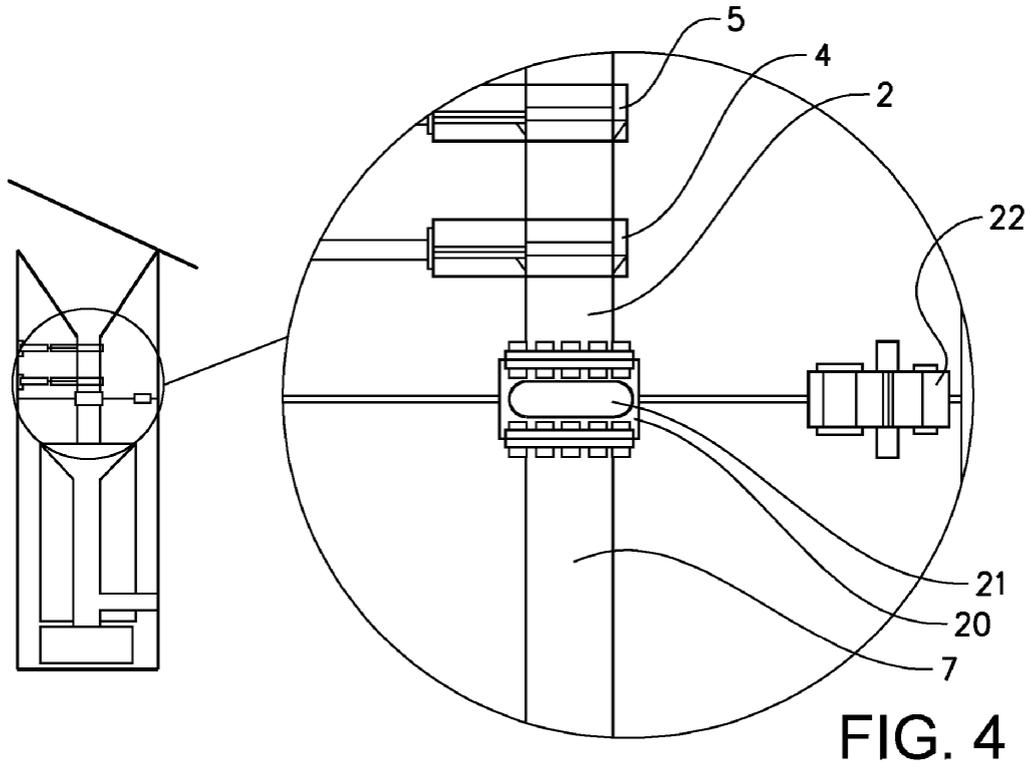


FIG. 3



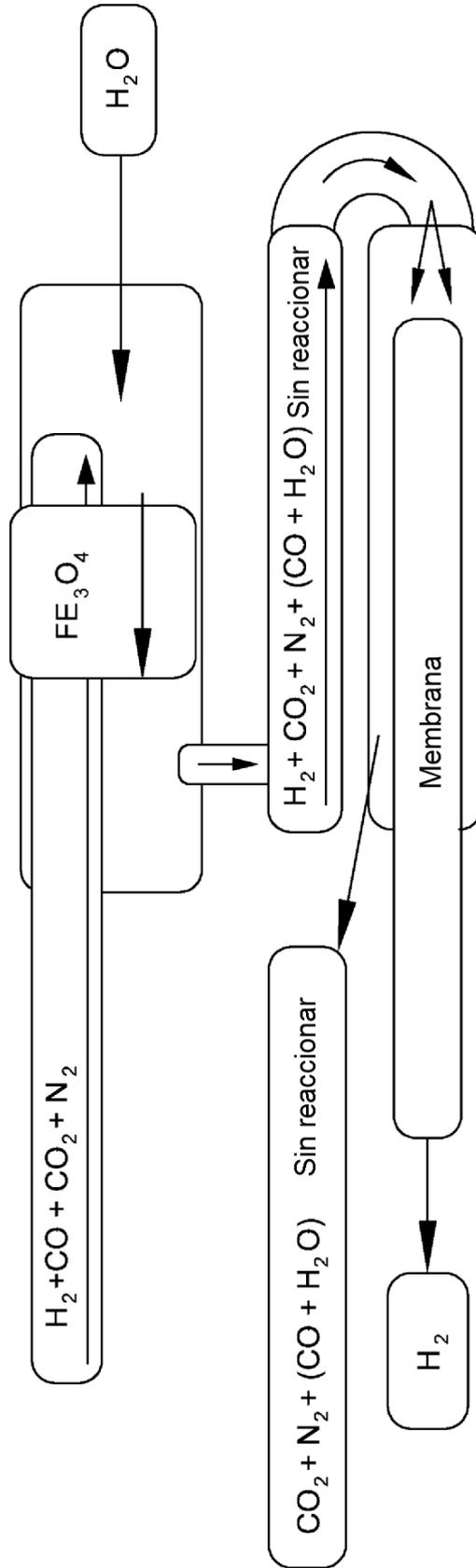


FIG. 6