

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 999 609**

51 Int. Cl.:

**C10L 3/08** (2006.01)

**C10L 3/10** (2006.01)

**B01D 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.11.2021 E 21206402 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2024 EP 4001381**

54 Título: **Procedimiento para la producción de biometano de alta pureza**

30 Prioridad:

**17.11.2020 IT 202000027474**

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

**26.02.2025**

73 Titular/es:

**K-INN TECH S.R.L. (100.00%)  
Viale della Navigazione Interna 52  
35129 Padova, IT**

72 Inventor/es:

**CANU, PAOLO y  
PAGIN, MATTIA**

74 Agente/Representante:

**CURELL SUÑOL, S.L.P.**

ES 2 999 609 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

Procedimiento para la producción de biometano de alta pureza

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la producción de biometano de alta pureza a partir de biogás.

10 La expresión "biometano de alta pureza" se entiende que significa biometano con menos del 1 % hidrógeno ( $H_2$ ) en volumen con menos de un 2.5 % molar de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y menos del 0.1 % molar de monóxido de carbono (CO).

15 La invención puede utilizarse en el campo industrial/químico en el sector industrial de las energías renovables. Se divulgan procesos para la producción de biometano en el documento DE102014001933, "A review on the state of the art of physical/chemical and biological technologies for biogas upgrading" (XP03593033), "Technologies for biogas upgrading to biomethane: A review" (XP055644058), "Evaluation of process performance, energy consumption and microbiota characterization in a ceramic membrane bioreactor for ex-situ biomethanation of  $H_2$  and  $CO_2$ " (XP055701493), "Renewable based biogas upgrading" (XP085670709) y el documento WO2021/234073.

20 La norma UNI EN 16723 titulada "*Gas natural y biometano para su utilización en transporte y biometano para su inyección en la red de gas natural*" se publicó en diciembre de 2016.

El decreto ministerial con fecha del 2 de marzo de 2018, que define los procedimientos e incentivos para la inyección de biometano en la red de gas natural nacional y para su utilización en transporte, se publicó en 2018.

25 Como resultado, la producción de biometano y su inyección en la red de gas natural ha aumentado significativamente en Italia.

El biogás es una fuente de energía renovable obtenida de:

- 30
- biomasa agrícola, tal como cultivos dedicados y/o subproductos agrícolas y residuos y/o estiércol animal,
  - y/o biomasa agroindustrial, tal como residuos de procesamiento de la cadena de suministro de alimentos,
  - 35 - y/o la fracción orgánica de residuos sólidos municipales (OFMSW).

El biometano se obtiene a partir de biogás por medio de dos etapas sucesivas:

- 40
- producción de biogás sin procesar, una mezcla compuesta principalmente por metano ( $CH_4$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ), por medio de la digestión anaerobia de biomasa y la posterior purificación de compuestos no deseados tales como sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), amoníaco ( $NH_3$ ), agua ( $H_2O$ ), siloxanos y compuestos de cloro (Cl);
  - separación selectiva de  $CO_2$  de  $CH_4$  a través de un proceso conocido como mejora del biogás.

45 La expresión "digestión anaerobia" se entiende que significa la degradación de biomasa por bacterias en ausencia de oxígeno molecular.

La mejora del biogás es un proceso adecuado para aumentar el contenido de metano en el biogás inicial, obteniendo biometano que puede asimilarse al gas natural.

50 Las técnicas utilizadas industrialmente para realizar la mejora del biogás son esencialmente tres:

- "lavado" con agua, disolventes orgánicos o aminas;
- 55 - "adsorción por oscilación de presión" con carbonos activados o tamices moleculares (zeolitas);
- separación con membranas.

60 Con cada una de estas tres técnicas, es posible obtener biometano con una concentración de  $CH_4$  superior al 95 % en volumen.

Estas técnicas conocidas, sin embargo, presentan inconvenientes.

65 De hecho, además de obtener metano de alta pureza, se obtiene una cantidad significativa de  $CO_2$  residual como consecuencia de la separación y debe utilizarse o desecharse de algún modo con costes adicionales.

Tal CO<sub>2</sub> se vende generalmente a otras plantas/empresas y/o se almacena, por ejemplo bajo tierra, con la técnica conocida como captura y almacenamiento de carbono (CCS).

5 El reciente aumento de las plantas de producción de biometano conlleva el riesgo de conducir, a corto plazo, a la saturación del mercado de CO<sub>2</sub>, haciendo necesario encontrar soluciones alternativas a su reutilización y/o eliminación.

Además, el CO<sub>2</sub> contiene carbono (C) que podría convertirse de manera útil en metano.

10 Por tanto, se siente la necesidad de idear un procedimiento para la producción de biometano que haga posible obtener biometano al tiempo que se elimina la producción de CO<sub>2</sub> que va a desecharse.

Por tanto, la finalidad de la presente invención es proporcionar un procedimiento para producir biometano que sea capaz de mejorar la técnica anterior en uno o más de los aspectos mencionados anteriormente.

15 Dentro de esta finalidad, un objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento para la producción de biometano que permita la utilización completa del carbono contenido en el biogás inicial tal cual.

20 Otro objetivo de la invención es idear un procedimiento para la producción de biometano en el que no se produzca CO<sub>2</sub>, que podría no encontrar utilización comercial y entonces tendría que desecharse.

Un objetivo adicional de la presente invención es superar los inconvenientes de la técnica anterior de una manera que sea alternativa a cualquier solución existente.

25 No es el menor objetivo de la invención proporcionar un procedimiento para la producción de biometano que sea altamente fiable, relativamente fácil de proporcionar y tenga costes competitivos.

30 Esta finalidad y estos y otros objetivos que se pondrán de manifiesto a continuación en la presente memoria se logran mediante un procedimiento para la producción de biometano a partir de biogás tal como se define en reivindicación 1.

Características y ventajas adicionales de la invención se pondrán de manifiesto a partir de la descripción de una forma de realización preferida pero no exclusiva del procedimiento para la producción de biometano, según la invención, ilustrado a modo de ejemplo no limitativo en los dibujos adjuntos, en los que:

35 la figura 1 es una vista esquemática de un procedimiento para la producción de biometano a partir de biogás, según la invención;

40 la figura 2 es un diagrama detallado de una primera forma de realización del procedimiento para la producción de biometano a partir de biogás, según la invención;

45 las figuras 3a y 3b son dos diagramas operativos diferentes de una segunda forma de realización del procedimiento para la producción de biometano a partir de biogás, según la invención, con el fin de obtener una mayor integración energética entre las etapas del procedimiento;

la figura 4 es una vista esquemática de una parte del aparato adaptado para proporcionar el procedimiento según la invención.

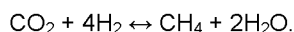
50 Con referencia a las figuras, un procedimiento indicado para la producción de biometano a partir de biogás, según la invención, es el mostrado esquemáticamente en la figura 1.

El biogás 100 se somete a por lo menos una etapa de mejora del biogás, una etapa designada por el número de referencia 2, en la figura 1.

55 En la presente descripción, el término biogás 100 se entiende que hace referencia a biogás purificado de contaminantes, tales como H<sub>2</sub>S (sulfuro de hidrógeno), NH<sub>3</sub> (amoníaco), siloxanos y/u otros agentes de ácido/base y materiales que pueden solidificar y/o afectar a los convertidores catalíticos mencionados a continuación en la presente memoria.

60 La etapa para la producción de biogás 100 tiene lugar produciendo biogás sin procesar según una técnica conocida *per se*, tal como la mostrada previamente, y posteriormente purificándolo de compuestos no deseados tales como sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), amoníaco (NH<sub>3</sub>), agua H<sub>2</sub>O, siloxanos y compuestos de cloro (Cl).

65 Una de las particularidades del procedimiento según la invención reside en el hecho de que la etapa de mejora del biogás consiste en la reacción de metanación (MET):



Deberá observarse que dicha reacción de metanación se produce sin separación previa de  $\text{CO}_2$  del biogás purificado.

En la práctica, el  $\text{CO}_2$  del cual se compone el biogás 100 se convierte a través de una reacción de metanación, que consiste en la hidrogenación catalítica de  $\text{CO}_2$ , obteniendo  $\text{CH}_4$  y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

La figura 2 es un diagrama detallado de una primera forma de realización del procedimiento según la invención.

Específicamente, el procedimiento consiste en dos etapas, que se producen en dos líneas de aparato sucesivas L1, L2 conectadas fluidicamente entre sí.

Cada una de las líneas de aparato L1, L2 comprende respectivamente un reactor R1, R2 y un condensador C1, C2, tal como se explica a continuación en la presente memoria, que está conectado fluidicamente al anterior.

En la primera forma de realización del procedimiento según la invención, las dos líneas de aparato L1, L2 están dispuestas en serie, tal como se muestra en la figura 2.

El biogás 100, junto con el hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) 101, se introduce en la primera línea de aparato L1, en un primer reactor R1, y la mezcla cruza un convertidor catalítico 12 contenido dentro del primer reactor R1.

La figura 4 muestra el primer reactor R1, pero esta ilustración también ejemplifica el segundo reactor R2, descrito a continuación en la presente memoria, que es similar al primero.

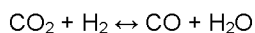
En dicho primer reactor R1, que está aislado térmicamente del entorno circundante, se produce la reacción de metanación (MET) del biogás.

El suministro de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) 101 al primer reactor R1 puede producirse, por ejemplo, utilizando electrolizadores, de un tipo conocido *per se*, y/o líneas que llevan  $\text{H}_2$  de centros de producción industrial.

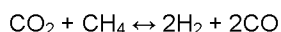
En este caso, el hidrógeno 101 se produce mediante electrolizadores conectados al primer reactor R1.

Además de la reacción de metanación (MET), pueden producirse dos reacciones secundarias no deseadas en el primer reactor R1:

- la reacción de "desplazamiento inverso de gas de agua" (RWGS):



- la reacción de "reformado en seco" (DR):



Estas dos reacciones, RWGS; DR, conllevan una producción de monóxido de carbono (CO), que constituye una impureza para la inyección del biometano en la red de gas natural.

Los requisitos legales prescriben que, para la inyección de biometano en la red de gas natural, dicho biometano debe presentar un porcentaje molar de CO menor de o igual al 0.1 % en moles.

Por este motivo, es necesario limitar el desarrollo de las reacciones de RWGS y DR en virtud de una elección apropiada del convertidor catalítico y de las condiciones de presión y temperatura de funcionamiento.

En particular, el primer reactor R1, así como el segundo reactor R2, es un reactor de lecho fijo, hecho de material metálico, preferentemente de una aleación metálica tal como una de las de la familia de aleaciones a base de níquel y cromo conocidas con el nombre comercial "Inconel" y/o acero inoxidable.

En otras variaciones de construcción, no mostradas en las figuras, los reactores R1, R2 son del tipo de lecho fluidizado.

Los reactores R1, R2 funcionan a una temperatura sustancialmente comprendida entre 200 °C y 350 °C y a una presión sustancialmente comprendida entre 1 bar y 30 bares.

Los correspondientes convertidores catalíticos 12 de los reactores R1, R2 están provistos de una dispersión fina, sobre soportes cerámicos, de material metálico activo, ventajosamente basado en uno o más metales de los grupos 8-10 de la tabla periódica de elementos.

En particular, el convertidor catalítico 12 se basa, por ejemplo, en rutenio (Ru) y/o hierro (Fe) y/o níquel (Ni) y/o cobalto (Co).

5 Dicho convertidor catalítico 12 se basa preferentemente en níquel (Ni).

El convertidor catalítico 12 presenta un soporte cerámico poroso, que es mecánica y térmicamente estable, tal como alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y/o sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y/o dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) y/o carburo de silicio y/u otros materiales cerámicos con una alta superficie específica.

10 La expresión "alta superficie específica" se entiende que significa la superficie total por unidad de masa del convertidor catalítico, con la que el gas puede entrar en contacto, por la porosidad tanto interna como externa.

15 Preferentemente, el convertidor catalítico 12 presenta un soporte catalítico hecho de alúmina-y.

Un convertidor catalítico 12 de este tipo facilita la reacción de MET y limita el desarrollo de las reacciones de RWGS y DR y, por tanto, la producción de CO.

20 Además, el convertidor catalítico 12 se pretrata en un entorno reductor a 600 °C con  $\text{H}_2$ , del orden de 1.9 m<sup>3</sup> por kilogramo de catalizador.

Tal tratamiento es necesario solo una vez antes de iniciar el reactor.

25 Después de la reacción de metanación en el primer reactor R1, la mezcla gaseosa obtenida se condensa en un primer condensador C1, con el fin de eliminar el  $\text{H}_2\text{O}$  que impide el desarrollo adicional de la reacción hacia purezas más altas del biometano.

30 Después de la condensación en el primer reactor C1, la pureza de la mezcla gaseosa es insuficiente para su inyección en la red: de hecho, hay todavía una cantidad de  $\text{H}_2$  mayor del 1 % en volumen y de  $\text{CO}_2$  de aproximadamente el 2.5 % molar, que es el límite dictado por las normas, y esto conlleva la presencia de biometano impuro y la necesidad de una segunda etapa de reacción, similar a la que se acaba de describir.

35 Los valores de porcentaje molar residual de CO cumplen los requisitos dictados por las normas para su inyección en la red, puesto que están muy por debajo del umbral establecido.

En la presente descripción, la expresión "biometano impuro" se entiende que significa biometano que presenta un porcentaje volumétrico de  $\text{H}_2$  mayor del 1 % y/o que no cumple los requisitos legales para su inyección directa en la red de gas natural.

40 Por tanto, la mezcla gaseosa que sale del primer condensador C1, y de la primera línea de aparato L1, se inyecta en la segunda línea de aparato L2, en un segundo reactor R2, sin adiciones adicionales de reactivos, que es similar al primer reactor R1 y en el que se produce una segunda reacción de metanación, obteniendo biometano de alta pureza, es decir, con  $\text{H}_2$  inferior al 1 % en volumen, con  $\text{CO}_2$  inferior al 2.5 % molar y con CO inferior al 0.1 % molar.

45 La mezcla gaseosa que sale del segundo reactor R2 se condensa en un segundo condensador C2 con el fin de eliminar el  $\text{H}_2\text{O}$  que está presente.

50 El biometano 10 que cumple los requisitos de pureza necesarios para su inyección en la red de gas natural sale del segundo condensador C2.

Deberá indicarse que, debido a la alta exotermicidad de la reacción de metanación en el primer reactor R1, el calor Q producido por el primer reactor R1 puede utilizarse para:

- 55 - compensar las disipaciones en el primer reactor R1 y permitir un funcionamiento autotérmico, y en este caso solo es necesario una contribución de calentamiento externo durante el inicio,
- y/o precalentar el segundo reactor R2 y facilitar el inicio de la reacción y la compensación de sus disipaciones térmicas, puesto que la reacción en el segundo reactor R2 produce menos calor.

60 La expresión "funcionamiento autotérmico", en la presente descripción, se entiende que significa que la energía térmica necesaria para el funcionamiento del reactor se obtiene directamente de la reacción que se produce en su interior, incluidas sus dispersiones hacia fuera.

65 Pruebas de laboratorio han mostrado que un procedimiento según la invención produce biometano con una concentración de  $\text{CH}_4$  mayor del 99 % en volumen.

Deberá indicarse que el H<sub>2</sub>O obtenido de la condensación en el primer condensador C1 y en el segundo condensador C2 puede reutilizarlo el electrolizador opcional para el suministro de hidrógeno (H) 101.

- 5 En una segunda forma de realización del procedimiento según la invención, mostrada en las figuras 3a y 3b, las dos líneas de aparato L1 y L2 están dispuestas en paralelo y están conectadas fluidicamente, aguas arriba de los respectivos reactores R1 y R2 y aguas abajo de los respectivos condensadores C1 y C2, por medio de dos válvulas de cuatro vías V1, V2, respectivamente:
- 10       - una primera válvula V1, aguas arriba de los dos reactores R1, R2 y conectada fluidicamente a los mismos,
- una segunda válvula V2, aguas abajo de los condensadores C1 y C2 y conectada fluidicamente a los mismos.
- 15 En la segunda forma de realización del procedimiento según la invención, las dos válvulas V1, V2 cambian de posición simultáneamente, pasando de la configuración mostrada en la figura 3a a la mostrada en la figura 3b, y viceversa, dependiendo de la etapa de producción, y de manera secuencial.
- 20 Tal estructura de aparato hace posible intercambiar periódicamente el reactor R1 con el reactor R2, en el que se produce la primera reacción, que es la más exotérmica, con el fin de utilizar el calor sensible acumulado dentro del reactor cambiando la posición de la primera válvula V1 y de la segunda válvula V2.
- 25 Esto hace posible calentar ambos reactores R1, R2, en virtud del calor liberado por la reacción de metanación, acumulado como calor sensible en el material del lecho catalítico, sin presentar unidades de calentamiento adicionales.
- Esta segunda forma de realización del procedimiento permite, por tanto, una reducción de los costes iniciales del aparato y de los costes operativos debido a la utilización de fluidos de servicio.
- 30 Partiendo de la configuración mostrada en la figura 3a, el procedimiento corresponde al de la primera forma de realización descrita anteriormente y se obtiene, en la salida del segundo condensador C2, biometano 10 que cumple los requisitos para su inyección en la red de gas natural.
- 35 Posteriormente, con el cambio simultáneo en la posición de ambas válvulas V1 y V2, el orden de los reactores R1, R2 y de los correspondientes condensadores C1, C2 se invierte.
- El biogás 100 y el hidrógeno 101 se inyectan entonces en la segunda línea de aparato L2, en la que se produce la primera etapa de reacción, y en el segundo reactor R2, en el que se produce la primera reacción de metanación.
- 40 En este caso, el segundo reactor R2 se calienta más, mientras que la segunda etapa de reacción, con la segunda reacción de metanación, aguas abajo del segundo condensador C2, que es menos exotérmica debido a la menor concentración de reactivos, se produce en la primera línea de aparato L1, dentro del primer reactor R1, que ya está caliente como resultado de la configuración previa.
- 45 Aguas abajo del primer reactor R1, la mezcla gaseosa se condensa en el primer condensador C1, obteniendo biometano de alta pureza 10 (figura 3b) que va a inyectarse en la red de gas natural.
- Partiendo del intercambio posterior de las válvulas V1, V2, ambos reactores R1 y R2 están calientes, a una temperatura suficiente, y ya no es necesario suministrar energía al aparato desde el exterior.
- 50 Esta estructura de aparato elimina los intercambios de calor entre los reactores R1, R2 de la primera estructura de aparato y utiliza la inercia térmica de los lechos catalíticos, posiblemente modificados utilizando también cargas inertes con alta capacidad térmica, tal como por ejemplo carburo de silicio.
- 55 En ambas de las formas de realización del procedimiento descrito anteriormente, el reactor R1, R2 está aislado térmicamente con el fin de funcionar en condiciones adiabáticas con tiempos de contacto comprendidos entre 40 m<sup>3</sup>/(Kgcat·h) y 80 m<sup>3</sup>/(Kgcat·h) y una presión comprendida entre 1 bar y 30 bares.
- 60 Deberá observarse que es posible optimizar los parámetros de funcionamiento de los reactores R1, R2 y también proporcionar una recuperación de energía con el fin de maximizar la generación de calor de la reacción de MET y reutilizarlo en otras operaciones/procesos.
- En ambas de las formas de realización descritas anteriormente, el procedimiento se produce sustancialmente por medio de dos etapas sucesivas, consistiendo cada una en una reacción de metanación y una condensación.
- 65 En la práctica, el procedimiento según la invención consiste en:

- introducir biogás 100 e hidrógeno 101 en el primer reactor R1, realizando una primera reacción de metanación, obteniendo una primera mezcla gaseosa,
- 5        - condensar el H<sub>2</sub>O en la primera mezcla gaseosa en el primer condensador C1, separando el H<sub>2</sub>O del resto de la primera mezcla gaseosa, obteniendo biometano impuro,
- introducir el biometano impuro en el segundo reactor R2, realizando una segunda reacción de metanación, obteniendo una segunda mezcla gaseosa,
- 10       - condensar el H<sub>2</sub>O en la segunda mezcla gaseosa en el segundo condensador C2, separando el H<sub>2</sub>O del resto de la segunda mezcla gaseosa, obteniendo un biometano de alta pureza 10.

15       En la práctica, se ha encontrado que la invención logra la finalidad y los objetivos previstos utilizando los principios del equilibrio químico que limita la reacción en una sola etapa, y proporcionando un procedimiento para la producción de biometano que permite la utilización completa del biogás inicial.

20       La invención proporciona un procedimiento para la producción de biometano a partir de biogás en el que no se produce CO<sub>2</sub> que podría no encontrar una utilización comercial.

Deberá observarse que, con el procedimiento con los dos reactores en serie, tanto el CO<sub>2</sub> residual como el H<sub>2</sub> residual después de la reacción de MET están dentro de los límites de inyección prescritos por las normas actualmente aplicables.

25       Además, la invención proporciona un procedimiento para la producción de biometano a partir de biogás en el que todo el carbono C contenido en el CO<sub>2</sub> se convierte en CH<sub>4</sub>.

30       Esto mejora adicionalmente el valor del biometano producido y aumenta el retorno económico proporcionado por la venta de CIC (certificados de liberación para consumo) tal como se requiere por el decreto ministerial del 2 de marzo de 2018. Además, se eliminan los costes debidos a la eliminación de CO<sub>2</sub>, que normalmente suponen una carga para los aparatos tradicionales de producción de biometano a partir de biogás.

35       Además, con el procedimiento según la invención, no hay subproductos y, por tanto, no hay necesidad de etapas de separación posteriores a las etapas de metanación.

También deberá observarse que, con un procedimiento según la invención, hay costes energéticos solo para el inicio del proceso, puesto que la reacción es autosostenida y el reactor es adiabático.

40       La expresión "la reacción es autosostenida" en la presente descripción se entiende que significa que la reacción, una vez desencadenada, libera una cantidad de calor capaz de sostener la demanda de energía de activación de la propia reacción y las dispersiones de calor residual.

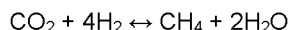
Por tanto, no necesita calor suministrado desde el exterior.

45       En la práctica, los materiales utilizados, siempre que sean compatibles con la utilización específica, así como las formas y dimensiones contingentes, pueden ser cualquiera según los requisitos y el estado de la técnica.

50       Cuando las características técnicas mencionadas en cualquier reivindicación van seguidas de símbolos de referencia, esos símbolos de referencia se han incluido con el único propósito de aumentar la inteligibilidad de las reivindicaciones y, por consiguiente, tales símbolos de referencia no presentan ningún efecto limitativo sobre la interpretación de cada elemento identificado a modo de ejemplo por tales símbolos de referencia.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la producción de biometano (10) a partir de biogás (100), en el que dicho biogás (100) se somete a por lo menos dos etapas de mejora del biogás, con eliminación intermedia de H<sub>2</sub>O, consistiendo cada una de dichas por lo menos dos etapas de mejora del biogás en la reacción de metanación directa del CO<sub>2</sub> que está presente en el biogás:



caracterizado por que el procedimiento comprende las etapas siguientes:

- introducir dicho biogás (100) e hidrógeno (101) en un primer reactor (R1, R2), realizando una primera reacción de metanación, obteniendo una primera mezcla gaseosa,
- condensar el H<sub>2</sub>O en dicha primera mezcla gaseosa en un primer condensador (C1, C2), separando el H<sub>2</sub>O del resto de la primera mezcla gaseosa, obteniendo un biometano impuro,
- introducir dicho biometano impuro en un segundo reactor (R2, R1), realizando una segunda reacción de metanación, obteniendo una segunda mezcla gaseosa,
- condensar el H<sub>2</sub>O en dicha segunda mezcla gaseosa en un segundo condensador (C2, C1), separando el H<sub>2</sub>O del resto de la segunda mezcla gaseosa, obteniendo dicho biometano (10).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que dicho primer reactor (R1) y dicho segundo reactor (R2) comprenden un convertidor catalítico (12).

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que dicho primer reactor (R1) y dicho segundo reactor (R2) funcionan a una temperatura sustancialmente comprendida entre 200 °C y 350 °C y a una presión sustancialmente comprendida entre 1 bar y 30 bares.

4. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dichas por lo menos dos etapas se producen en dos líneas de aparato sucesivas (L1, L2), conectadas fluidicamente entre sí, comprendiendo cada una de dichas líneas de aparato (L1, L2) un reactor (R1, R2) y un condensador (C1, C2).

5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que dichas líneas de aparato (L1, L2) están dispuestas en serie.

6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que el calor (Q) producido por dicho primer reactor (R1) se utiliza para:

- compensar las disipaciones en dicho primer reactor (R1) y permitir un funcionamiento autotérmico,
- y/o precalentar dicho segundo reactor (R2).

7. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que dichas líneas de aparato (L1, L2) están dispuestas en paralelo y están conectadas fluidicamente, aguas arriba de los respectivos reactores (R1, R2) y aguas abajo de los respectivos condensadores (C1, C2), por medio de dos válvulas de cuatro vías (V1, V2), respectivamente:

- una primera válvula (V1), aguas arriba de dichos reactores (R1, R2) y conectada fluidicamente a los mismos,
- una segunda válvula (V2), aguas abajo de los condensadores (C1, C2) y conectada fluidicamente a los mismos.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por que comprende además la etapa de intercambiar periódicamente el reactor (R1, R2) en el que se produce la primera reacción de metanación, por medio de un cambio en la posición de dicha primera válvula (V1) y de dicha segunda válvula (V2).

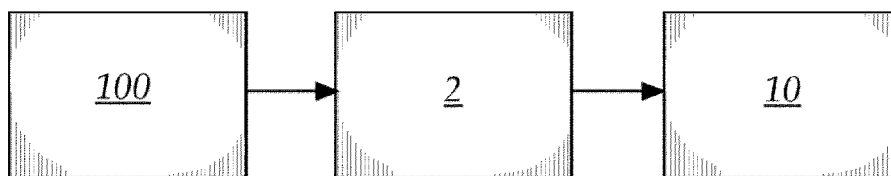


*Fig.1*

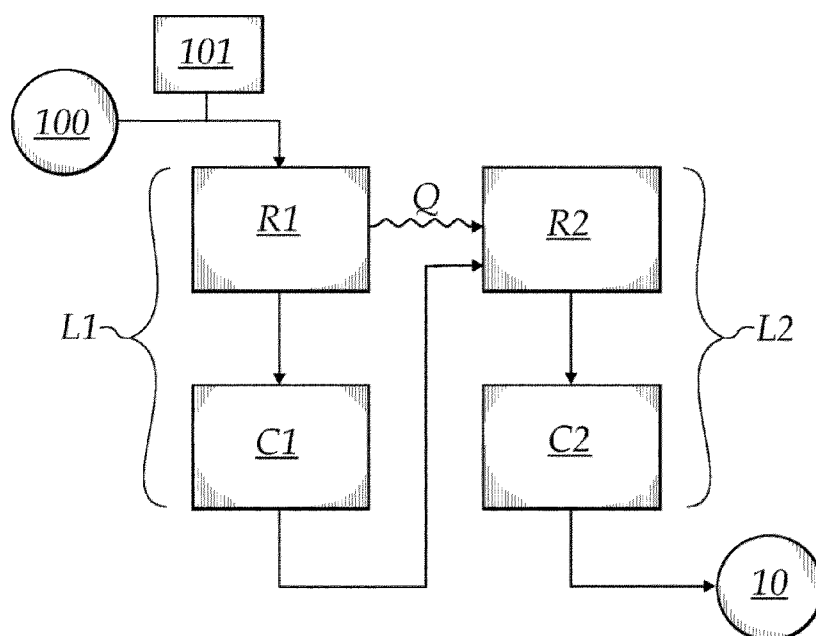
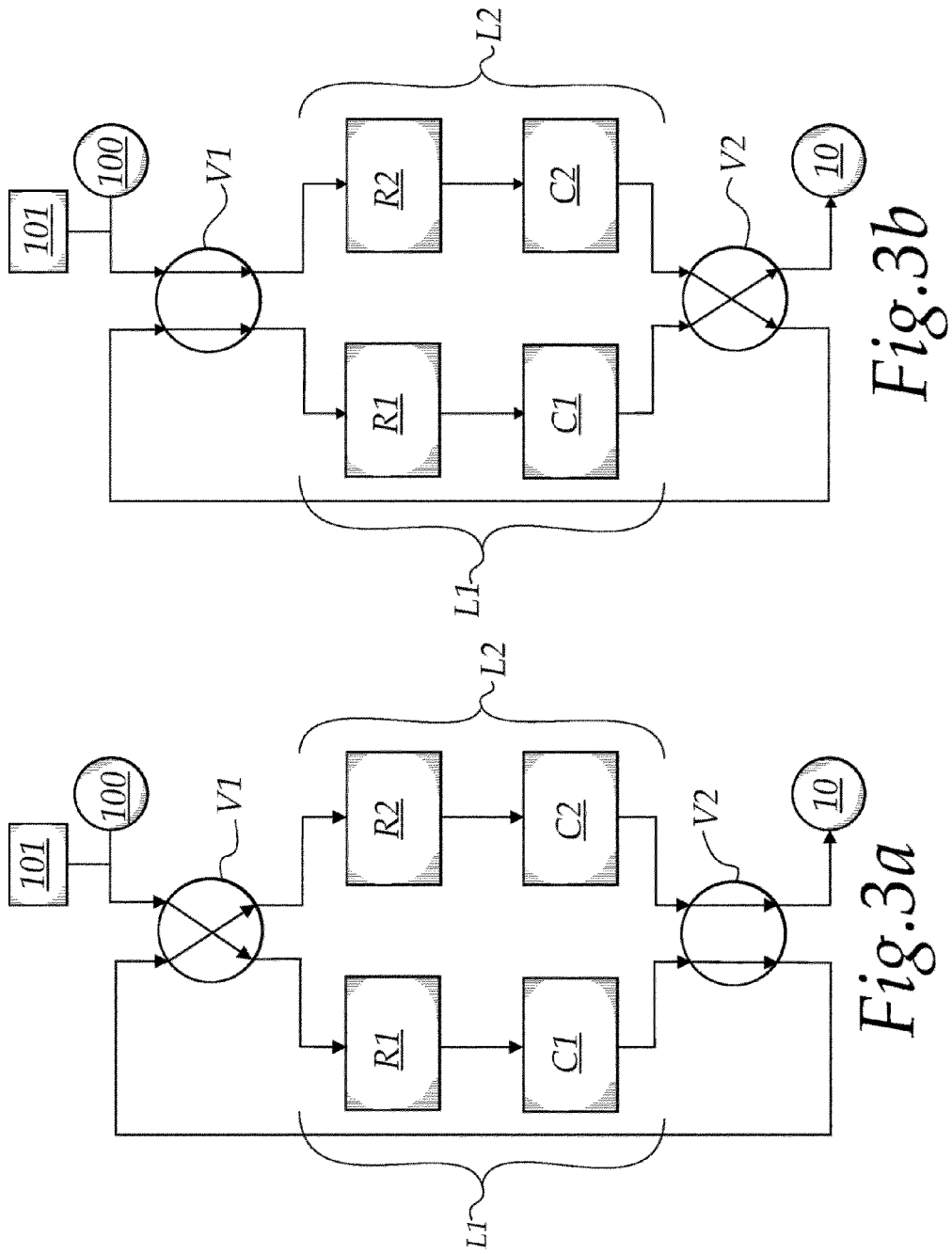


*Fig.2*



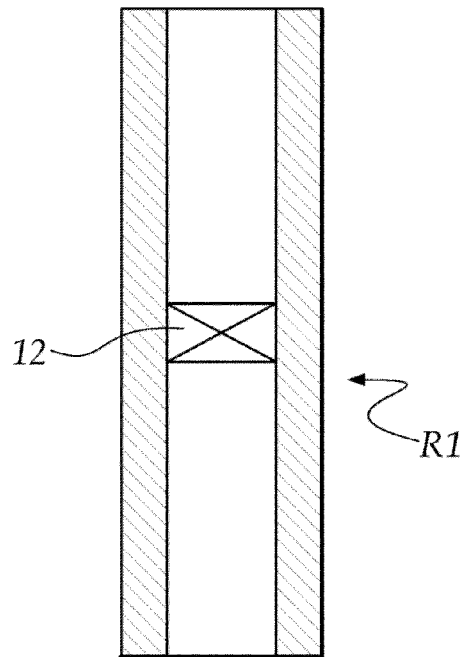


*Fig.4*