(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 988 324**

(51) Int. Cl.:

***F01N 3/10*** (2006.01)
***F01N 3/20*** (2006.01)
***F01N 3/28*** (2006.01)
***F01N 3/30*** (2006.01)
***F01N 3/36*** (2006.01)
***F01N 5/02*** (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.07.2020 PCT/EP2020/070015**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **21.01.2021 WO21009238**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.07.2020 E 20743106 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2024 EP 3999725**

(54) Título: **Tratamiento posterior de gases de escape**

(30) Prioridad:

**15.07.2019 DE 102019210415**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
**20.11.2024**

(73) Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. (100.0%)**
**Hansastr. 27c**
**80686 München, DE**

(72) Inventor/es:

**SZOLAK, ROBERT;**
**SUSDORF, ALEXANDER y**
**RÜMMELE, FLORIAN**

(74) Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

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

Tratamiento posterior de gases de escape

La invención se refiere a un procedimiento para el tratamiento posterior de gases de escape, el uso de un vaporizador catalítico en un procedimiento de este tipo, un agente reductor para el tratamiento de gases de escape que se puede obtener según este procedimiento, un dispositivo para producir un agente reductor para el tratamiento posterior de gases de escape y el uso de este dispositivo para el tratamiento posterior de gases de escape.

Se denomina tratamiento posterior de gases de escape a los procedimientos en los que los gases de combustión se limpian mecánica, catalítica o químicamente después de salir de la cavidad de combustión o de la cámara de combustión de un motor de combustión interna. Para reducir los óxidos de nitrógeno (NOx) mediante la tecnología de reducción catalítica selectiva (Selective Catalytic Reduction, SCR) se usan convertidores catalíticos y agentes reductores tales como el amoníaco. Para ello, se inyecta una solución acuosa de urea, a partir de la cual se produce amoníaco por termólisis e hidrólisis mientras se transporta por el tubo de escape. Los catalizadores de tres vías se pueden usar para la reducción de hidrocarburos y monóxido de carbono.

La eficacia del tratamiento posterior catalítico de los gases de escape, es decir, el índice de conversión, depende, entre otros factores, de manera crucial de la temperatura de funcionamiento. Prácticamente no se producen reacciones por debajo de unos 250 °C. Esta es la razón por la que incluso los vehículos modernos emiten altos niveles de contaminantes tras un arranque en frío. En este estado de funcionamiento, el catalizador aún no está a la temperatura de funcionamiento y, por lo tanto, convierte los contaminantes emitidos de forma insuficiente.

Existen varias estrategias para aumentar rápidamente la temperatura de los gases de escape. Por ejemplo, el catalizador puede colocarse cerca del motor en el tubo de escape. Sin embargo, al menos en el caso de los motores de gasolina, existe el riesgo de que las temperaturas sean demasiado elevadas en otros estados de funcionamiento, por ejemplo, cerca de la potencia nominal. Esto se debe a que las temperaturas de 1000 °C destruyen el catalizador. Se consiguen buenos índices de conversión y una larga vida útil entre 400 °C y 800 °C. Alternativamente, la temperatura de los gases de escape puede ser elevada mediante dispositivos eléctricos de calentamiento o mediante inyección posterior, tanto en el motor como en el trayecto de escape. Las publicaciones EP 2 388 451 A1 o US 2011/061374 A1 muestran procedimientos y dispositivos para proporcionar agentes reductores mediante vaporizadores catalíticos.

Sin embargo, estas medidas tienen el efecto de aumentar aún más el consumo tras el arranque en frío y generar emisiones adicionales.

Basándose en la técnica anterior, la invención tiene como objetivo proporcionar un agente reductor para el tratamiento posterior de gases de escape, posiblemente incluyendo la reducción catalítica selectiva, que permita la conversión catalítica a temperaturas más bajas.

Según la invención, el objetivo se consigue mediante un procedimiento para el tratamiento posterior de gases de escape según la reivindicación 1, el uso de un vaporizador catalítico en dicho procedimiento según la reivindicación 9, un agente reductor según la reivindicación 10 y un dispositivo para producir un agente reductor para el tratamiento posterior de gases de escape según la reivindicación 11. Perfeccionamientos ventajosos de la invención se pueden encontrar en las reivindicaciones dependientes.

El procedimiento se usa en particular cuando los gases de escape contienen óxidos de nitrógeno. En este sentido, se prevé un sistema regulado. Se enciende en los puntos del mapa del motor donde los gases de escape contienen más óxidos de nitrógeno. El sistema no está activo en otros puntos del mapa del motor en los que la combustión produce cantidades pequeñas o tolerables de óxido de nitrógeno. Si no está activo, se interrumpe el suministro de aire y gases de combustión.

El gas de escape bruto que contiene óxido de nitrógeno puede ser un gas de escape bruto sin tratar. También puede ser un gas de escape bruto tratado, por ejemplo, tratado con un filtro de partículas y/o un catalizador de oxidación diésel.

Los pasos b) y c) se pueden llevar a cabo simultáneamente. En el paso d), se puede introducir el agente reductor directamente en el sistema de tratamiento posterior de gases de escape o introducirlo en el tubo de escape que va del motor al sistema de tratamiento posterior de gases de escape.

El proceso según la invención se desarrolló sobre la base de la tecnología de vaporización catalítica, conocida *per se*, en la que se usan gases de escape brutos que contienen óxido de nitrógeno procedentes de un motor, de un combustible líquido y de una solución de urea. La conversión catalítica del combustible en el vaporizador catalítico genera calor dentro del sistema. Esto hace que el sistema dependa mucho menos del funcionamiento del motor. Esto permite producir agentes reductores a partir de la solución acuosa de urea independientemente del funcionamiento del motor, en particular de la temperatura de los gases de escape y del caudal másico de los gases de escape. Además,

el proceso según la invención produce hidrógeno e hidrocarburos, por ejemplo etileno, a partir del combustible añadido, que sirven como reactante adicional, es decir, como agente reductor, para el sistema SCR del EGN.

Las cantidades de solución de urea y de combustible suministradas son las cantidades habituales usadas en el modo de funcionamiento conocido de los vaporizadores catalíticos.

Los gases de escape brutos que contienen óxido de nitrógeno añadidos al vaporizador catalítico pueden ser una parte de los gases de escape habituales del motor, es decir, se puede derivar una parte de la corriente de gases de escape del motor y suministrarla en la etapa a) como gases de escape brutos que contienen óxido de nitrógeno, que se introducen en el vaporizador catalítico. Esto puede lograrse mediante aletas o válvulas en el conducto de gases de combustión, que pueden ser controladas de manera consecuente. Los gases de escape brutos también pueden ser descargados directamente del motor e introducirse en el vaporizador catalítico.

Con el procedimiento según la invención se consigue ventajosamente que, a diferencia del calentamiento de toda la corriente de gases de escape según la técnica anterior, sólo tenga que calentarse una pequeña corriente parcial de los gases de escape brutos que contienen óxido de nitrógeno. La conversión del combustible también genera calor adicional que no es necesario introducir eléctricamente. Para una conversión catalítica, sólo es necesario calentar el catalizador. Las reacciones se pueden controlar variando los flujos de reactivos.

En el proceso según la invención, se pueden usar vaporizadores catalíticos, como se conocen per se en la técnica anterior. El especialista también sabe cómo pueden funcionar en principio. Un ejemplo de vaporizador catalítico que se puede usar en el procedimiento según la invención se describe en el documento DE 10 2015 120 106 A1 al que se hace referencia completa en relación con los detalles de construcción y el modo de funcionamiento.

El vaporizador catalítico usado en el procedimiento según la invención puede tener un catalizador que se puede colocar en un soporte, por ejemplo. El soporte con el catalizador se puede colocar en un recipiente de reacción de tal manera que se forme un hueco entre la superficie interior del recipiente de reacción y la superficie del catalizador.

Durante el funcionamiento de un evaporador catalítico, por ejemplo, el combustible líquido puede ser añadido al interior de la pared del reactor de un evaporador catalítico, mientras que un agente oxidante, por ejemplo aire, es suministrado en el lado del catalizador. Una pequeña parte del combustible se oxida en el catalizador y el calor generado se usa para vaporizar completamente el combustible. La transferencia de calor se produce principalmente a través de la radiación de calor de la superficie caliente del catalizador a la superficie del combustible. La pared del reactor sobre la que se alimenta el combustible está más fría que el propio combustible. No se forma ningún tipo de depósitos o incrustaciones.

El gas de escape bruto que contiene óxido de nitrógeno suministrado en el paso a) puede contener oxígeno residual. Si la concentración de oxígeno residual en el gas de escape bruto es suficiente, éste puede ser suficiente como agente oxidante para el funcionamiento del vaporizador catalítico. Si la concentración de oxígeno residual en los gases de escape brutos que contienen óxido de nitrógeno es demasiado baja, en una forma de realización se puede seguir introduciendo un agente oxidante en el vaporizador catalítico en el paso c). Este agente oxidante es un oxidante adicional al oxígeno residual de los gases de escape sin tratar. Dicho agente oxidante puede ser oxígeno o un medio que contenga oxígeno, en particular aire. La cantidad de agente oxidante puede ser seleccionada de forma que se alcancen las cantidades habituales de agente oxidante en un vaporizador catalítico. El aire puede proceder del ambiente y dado el caso puede ser cargado por medio de un turbocompresor.

En una forma de realización, el agente reductor formado en el paso c) comprende amoníaco ($NH_3$). En otra forma de realización, el agente reductor puede comprender además $H_2$, CO, hidrocarburos, por ejemplo eteno, y mezclas de los mismos.

En una forma de realización, se puede proporcionar un agente reductor individual cambiando las corrientes reactivas de combustible, solución de urea, gas de escape bruto que contiene óxido de nitrógeno y, si es necesario, agente oxidante, dependiendo del punto de funcionamiento en el mapa del motor. El suministro de este agente reductor en el paso c) del proceso según la invención aumenta la actividad del sistema SCR y, por lo tanto, la reducción de óxidos de nitrógeno en los gases de escape del motor. La ventaja es especialmente eficaz durante los arranques en frío y otros puntos de funcionamiento con un sistema de tratamiento posterior de gases de escape en frío.

En algunas formas de realización, la solución de urea usada en el paso c) puede ser una solución acuosa de urea, en particular una solución de urea al 32,5 por ciento. Esto ha demostrado ser especialmente adecuado para los sistemas de tratamiento posterior de gases de escape.

En una forma de realización, el tratamiento posterior de gases de escape comprende una termólisis y una hidrólisis conocidas *per se* y una reducción catalítica selectiva también conocida *per se*.

El agente reductor obtenido del vaporizador catalítico puede someterse primero a hidrólisis y después a reducción catalítica selectiva. En otra forma de realización, el tratamiento posterior de gases de escape, incluida posiblemente

la reducción catalítica selectiva, puede funcionar a una temperatura de ya 170 °C (y posiblemente superior, por ejemplo 180 °C, 190 °C o 200 °C). Esto significa, por lo tanto, que el procedimiento según la invención se puede usar para iniciar y llevar a cabo el tratamiento posterior de gases de escape a temperaturas significativamente más bajas que las conocidas en la técnica anterior.

El procedimiento según la invención se puede usar para la conversión de óxidos de nitrógeno para sistemas SCR de cualquier tipo de motores de combustión interna que funcionen con un sistema SCR para la reducción de las emisiones de NOx.

Otro objetivo de la invención es el uso de un vaporizador catalítico, tal como se describe en detalle en el presente documento, en un procedimiento según la invención, como también se describe en detalle anteriormente.

Se proporciona además un agente reductor obtenible según el procedimiento de la invención. En cuanto al procedimiento de producción y la composición, se remite a las explicaciones anteriores. En particular, el agente reductor contiene hidrógeno, hidrocarburos, especialmente etileno, amoníaco y/o monóxido de carbono.

Los términos "adaptados a los mismos" usados anteriormente indican que los conductos correspondientes están configurados de tal manera que los materiales que se les van a suministrar pueden ser conducidos sin efectos negativos, es decir, que, por ejemplo, son inertes con respecto a los materiales que van a ser conducidos. Además, el término "adaptado" también indica que las tuberías correspondientes están conectadas a depósitos que contienen los materiales que se van a suministrar.

Las características c1) y c2) anteriores dejan claro que, o bien la urea en la solución correspondiente se añade al vaporizador catalítico por separado del combustible (característica c1)), o bien que alternativamente (característica c2)) se introduce en el vaporizador catalítico una mezcla de solución de urea y combustible. Se puede introducir una mezcla en particular si el combustible es miscible con la solución de urea. Esto se aplica, por ejemplo, a alcoholes tales como el etanol como combustible.

En una forma de realización del dispositivo según la invención, el dispositivo puede comprender además un conducto de suministro de agente oxidante al vaporizador catalítico, que está adaptado para introducir agente oxidante en el vaporizador catalítico. Este suministro de agente oxidante, por ejemplo, oxígeno o aire, puede ser necesario si el gas de escape bruto no tiene la concentración necesaria de oxígeno residual.

En una forma de realización, el tratamiento posterior de gases de escape comprende un dispositivo de hidrólisis y un dispositivo de reducción catalítica selectiva conocido *per se*. Un dispositivo de hidrólisis puede, por ejemplo, comprender un catalizador de hidrólisis. Un dispositivo para la reducción catalítica selectiva puede, por ejemplo, tener un catalizador para la reducción catalítica selectiva. El dispositivo para la hidrólisis y el dispositivo para la reducción catalítica selectiva pueden proporcionarse en carcasas diferentes. Esto permite instalar estos dispositivos independientemente unos de otros en diferentes puntos del dispositivo según la invención.

Además, es objeto de la invención el uso del dispositivo descrito anteriormente para el tratamiento posterior de gases de escape, incluida la reducción catalítica selectiva.

Con el dispositivo descrito anteriormente, las ventajas conseguidas por medio del procedimiento según la invención pueden lograrse de manera sencilla y favorable.

A continuación, se explicará con más detalle la invención haciendo referencia a las figuras sin limitar la idea general de la invención. Así

Fig. 1 representación esquemática de una forma realización de un dispositivo con un vaporizador catalítico para el tratamiento posterior de gases de escape.

Fig. 2 muestra una representación esquemática de otra forma de realización de un dispositivo según la invención.

Fig. 3 muestra una representación esquemática de otra forma de realización de un dispositivo según la invención.

Fig. 4 muestra una representación esquemática de una forma de realización del dispositivo según la invención.

Fig. 5 muestra una vista de un vaporizador catalítico a modo de ejemplo que puede ser usado.

Fig. 6 muestra el principio de funcionamiento del vaporizador catalítico de la figura 2.

La figura 1 muestra esquemáticamente un dispositivo con un vaporizador catalítico 1, que se explica con más detalle en las figuras 4 y 5 siguientes, para el tratamiento posterior de gases de escape. Un motor 9, por ejemplo un motor diésel, se usa normalmente para hacer funcionar un vehículo de motor, con un suministro de combustible 10 y un suministro de aire 11. Los gases de escape brutos que contienen óxido de nitrógeno se descargan del motor a través

de un tubo 2. Estos gases de escape brutos que contienen óxido de nitrógeno procedentes del motor 9 se conducen a un dispositivo para el tratamiento posterior de gases de escape 8. El sistema de tratamiento posterior de gases de escape 8 tiene un dispositivo de hidrólisis 81, por ejemplo un convertidor catalítico de hidrólisis, y un dispositivo de reducción catalítica selectiva 82. El dispositivo para la hidrólisis 81 y el dispositivo para la reducción catalítica selectiva pueden estar en carcasas separadas. Al menos una parte de los gases de escape brutos que contienen óxido de nitrógeno se desvía a través del conducto 7 y es conducido al vaporizador catalítico 1. El vaporizador catalítico también se alimenta con la solución de urea desde un depósito para una solución de urea 13 a través de un conducto de suministro de urea 4 al vaporizador catalítico 1. Además, se suministra combustible al vaporizador catalítico 1 desde un depósito de combustible 12 a través de un conducto de suministro de combustible 3. Un agente oxidante, tal como el aire, se puede suministrar al vaporizador catalítico 1 a través de un conducto de suministro de agente oxidante 5. El vaporizador catalítico 1 produce el agente reductor, que puede comprender, en particular, $NH_3$, $H_2$, hidrocarburos y CO, que se introducen en el tubo de escape 2 del motor 9 a través de un conducto 6.

La figura 2 muestra esquemáticamente otra forma de realización del dispositivo según la invención, con componentes idénticos a los de la figura 1 que tienen los mismos signos de referencia, de tal modo que se hace referencia a la figura 1 con respecto al diseño y al modo de funcionamiento. Como se muestra en la Fig. 2, se produce una mezcla de urea y combustible en la cámara 131 y, a continuación, esta mezcla se introduce en el vaporizador catalítico 1 a través del conducto de alimentación 41. La mezcla previa de urea y combustible se puede usar para combustibles miscibles con agua, por ejemplo alcoholes tales como el etanol.

La Figura 3 muestra esquemáticamente otra forma de realización del dispositivo según la invención, con componentes idénticos a los de las Figs. 1 y 2 que tienen los mismos signos de referencia, de modo que se hace referencia a las Figs. 1 y 2 con respecto al diseño y al modo de funcionamiento. En el dispositivo mostrado en la Fig. 3, el agente reductor obtenido del vaporizador catalítico 1 se introduce primero en el dispositivo de hidrólisis 81. A continuación, el material obtenido se introduce en el conducto de gases de escape 2 y pasa al dispositivo de reducción catalítica selectiva 82.

La figura 4 muestra otra forma de realización de la presente invención. Corresponde al dispositivo representado en la figura 3, según el cual en la cámara 131 se produce una mezcla de urea y combustible que, a continuación, se introduce en el vaporizador catalítico 1 a través del conducto de alimentación 41.

La figura 5 muestra un vaporizador catalítico 1 tal como se puede usar en el procedimiento según la invención. El vaporizador catalítico 1 tiene un catalizador 112 que se aplica a una malla metálica 113. Como catalizador 112 y como malla metálica 113 se pueden usar materiales conocidos en el estado de la técnica. La malla metálica 113 con el catalizador 112 puede estar presente en un recipiente de reacción 114. En la figura 5, por razones de claridad, el catalizador 112 se muestra con la malla metálica 113 extraída del recipiente de reacción 114. Cuando el catalizador 112 con la malla metálica 113 se introduce en el recipiente de reacción, se forma un hueco entre la superficie interior 115 del recipiente de reacción 114 y la superficie del catalizador 112 en la malla metálica 113.

La Figura 6 muestra esquemáticamente el modo de funcionamiento del evaporador catalítico mostrado en la Figura 2. El combustible se añade a la superficie inferior del recipiente 114 del reactor, mientras que los gases de escape brutos que contienen óxido de nitrógeno y, si es necesario, otro agente oxidante, se añaden en el lado del catalizador. Una pequeña parte del combustible se oxida en el catalizador 112 y el calor generado se usa para vaporizar completamente el combustible. El calor se transfiere principalmente por radiación térmica desde la superficie caliente del catalizador 112 a la superficie de la película de combustible. La pared de la vasija del reactor 114 sobre la que se coloca el combustible puede estar más fría que el propio combustible. De este modo se evitan depósitos e incrustaciones.

Por supuesto, la invención no se limita a la forma realización mostrada en las figuras. Por lo tanto, la descripción anterior debe considerarse más explicativa que restrictiva. Las siguientes reivindicaciones deben entenderse en el sentido de que dicha característica está presente en al menos una forma de realización de la invención. Esto no excluye la presencia de otras características. Si la descripción o las reivindicaciones definen características "primeras" y "segundas", esto sirve para diferenciar entre características similares sin establecer un orden de prioridad.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el tratamiento posterior de gases de escape, que comprende al menos las etapas:
a) Suministro de un gas de escape bruto que contiene óxido de nitrógeno,
b) Introducción en un vaporizador catalítico (1) del gas de escape bruto que contiene óxido de nitrógeno,
c) Introducción simultánea de una solución de urea y un combustible en el vaporizador catalítico (1), con lo cual se obtiene un agente reductor, y
d) Introducción del agente reductor en un sistema de tratamiento posterior de gases de escape (8),
**caracterizado porque**
se suministra un agente reductor individual cambiando los flujos de reactivos de gas de escape bruto, combustible y solución de urea en función del punto de funcionamiento en el mapa del motor.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** en el paso c) se introduce adicionalmente un agente oxidante en el vaporizador catalítico (1).

3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** el agente reductor contiene amoníaco.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** el agente reductor contiene hidrógeno, monóxido de carbono y/o hidrocarburos.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** la solución de urea es una solución de urea al 32,5 %.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 5, **caracterizado porque** la composición del agente reductor se ajusta introduciendo la solución de urea, el combustible, los gases de escape brutos que contienen óxido de nitrógeno y/o el agente oxidante.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** el tratamiento posterior de gases de escape comprende termólisis e hidrólisis, así como una reducción catalítica selectiva.

8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** el sistema de tratamiento posterior de gases de escape funciona a una temperatura de unos 170 °C o superior.

9. Uso de un vaporizador catalítico (1) en un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

10. Agente reductor obtenible por un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

11. Dispositivo para la producción de un agente reductor para el tratamiento posterior de gases de escape, que contiene:
a) un vaporizador catalítico (1),
b) un conducto de alimentación de gas de escape bruto (7) al vaporizador catalítico (1), adaptado para alimentar el vaporizador catalítico (1) con gas de escape bruto que contiene óxido de nitrógeno,
c1) un conducto de alimentación de combustible (3) al vaporizador catalítico (1) adaptado para introducir combustible en el vaporizador catalítico (1) y un conducto de alimentación de urea (4) al vaporizador catalítico (1) adaptado para introducir simultáneamente una solución de urea en el vaporizador catalítico (1), o bien
c2) un conducto de alimentación (41) adaptado para introducir en el vaporizador catalítico (1) una mezcla que comprenda urea y combustible, y
d) un conducto (6) destinado a introducir el agente reductor resultante en el tubo de escape (2) de un motor (9) o en un sistema de tratamiento posterior de gases de escape (8),
caracterizado porque el dispositivo está configurado para proporcionar un agente reductor individual cambiando los flujos de reactivos de gas de escape bruto, combustible y solución de urea en función del punto de funcionamiento en el mapa del motor.

12. Dispositivo según la reivindicación 11, **caracterizado porque** comprende además un conducto de suministro de oxidante (5) al vaporizador catalítico (1), que está adaptado para introducir oxidante en el vaporizador catalítico (1).

13. Dispositivo según las reivindicaciones 11 o 12, **caracterizado porque** el sistema de tratamiento posterior de gases de escape (8) comprende un dispositivo de hidrólisis (81) y un dispositivo de reducción catalítica selectiva (82).

14. Uso de un dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13 para el tratamiento posterior de gases de escape, incluida la reducción catalítica selectiva.

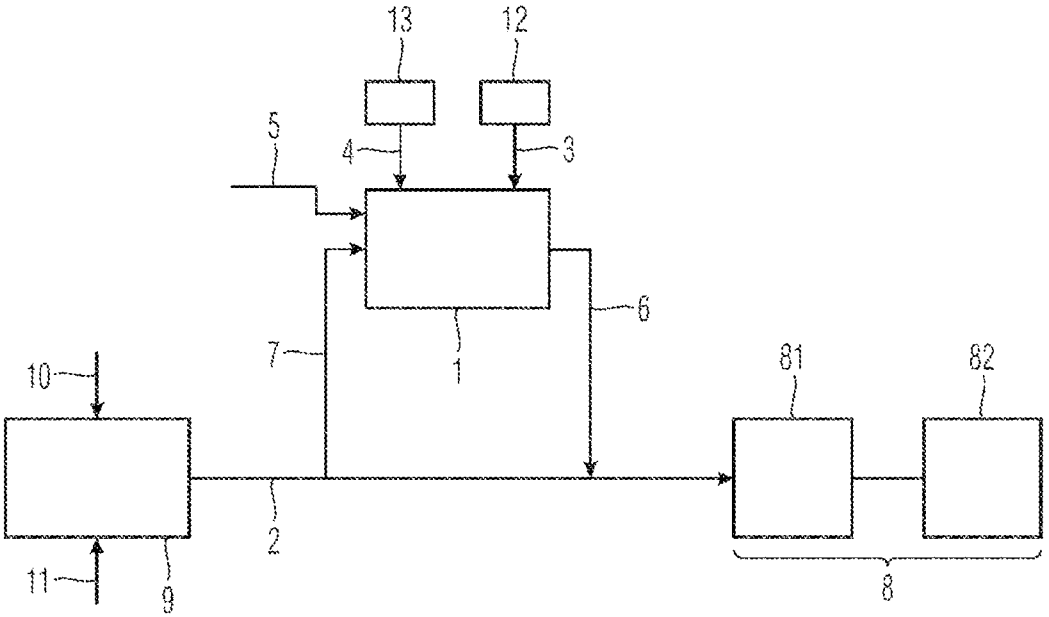


Fig. 1

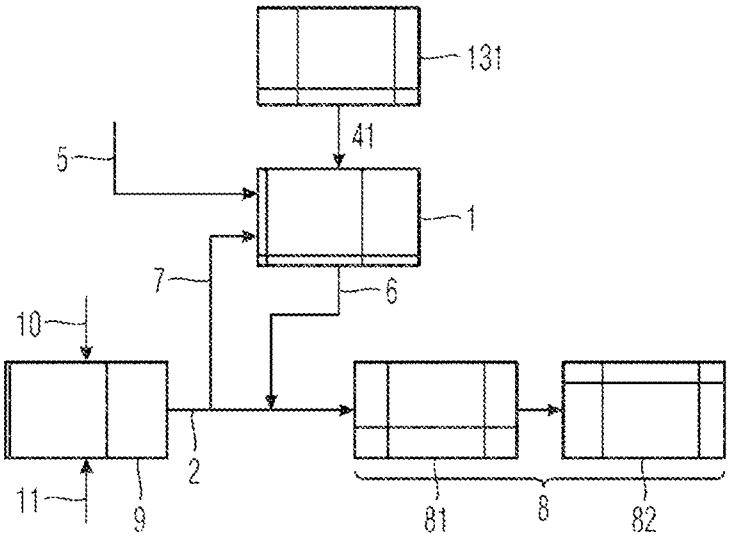


Fig. 2

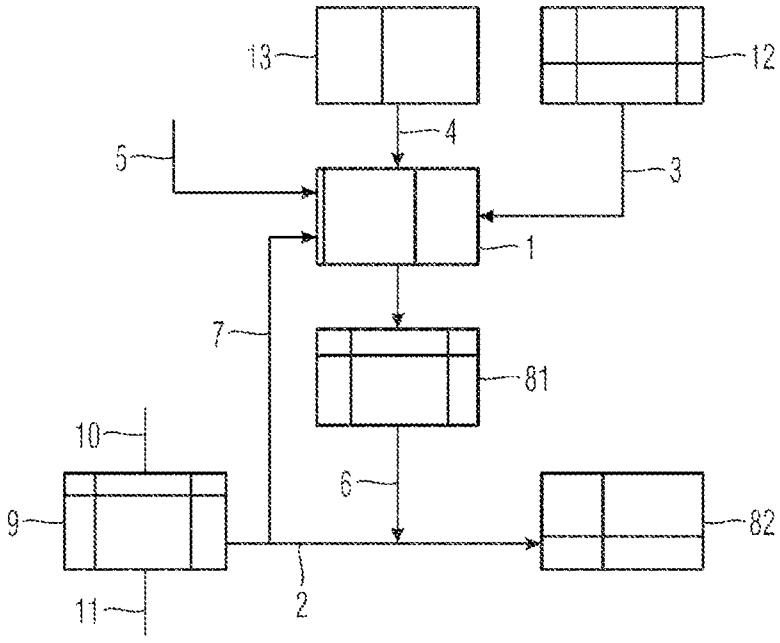


Fig. 3

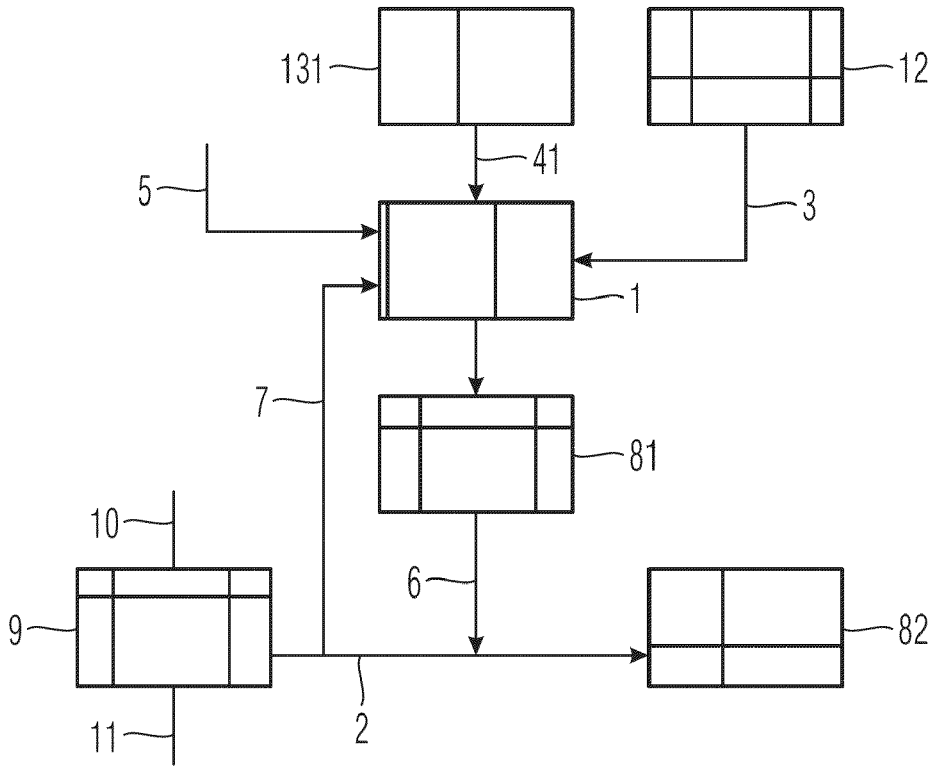


Fig. 4

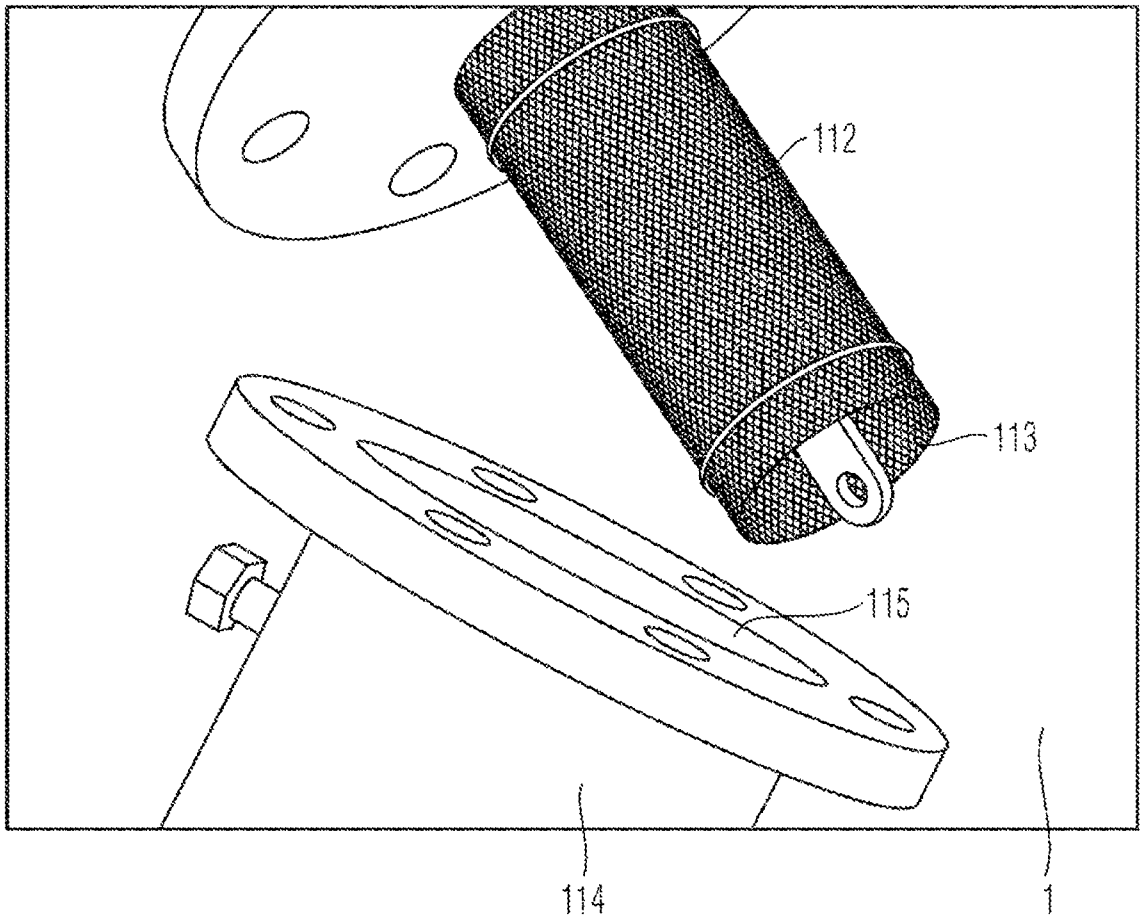


Fig. 5

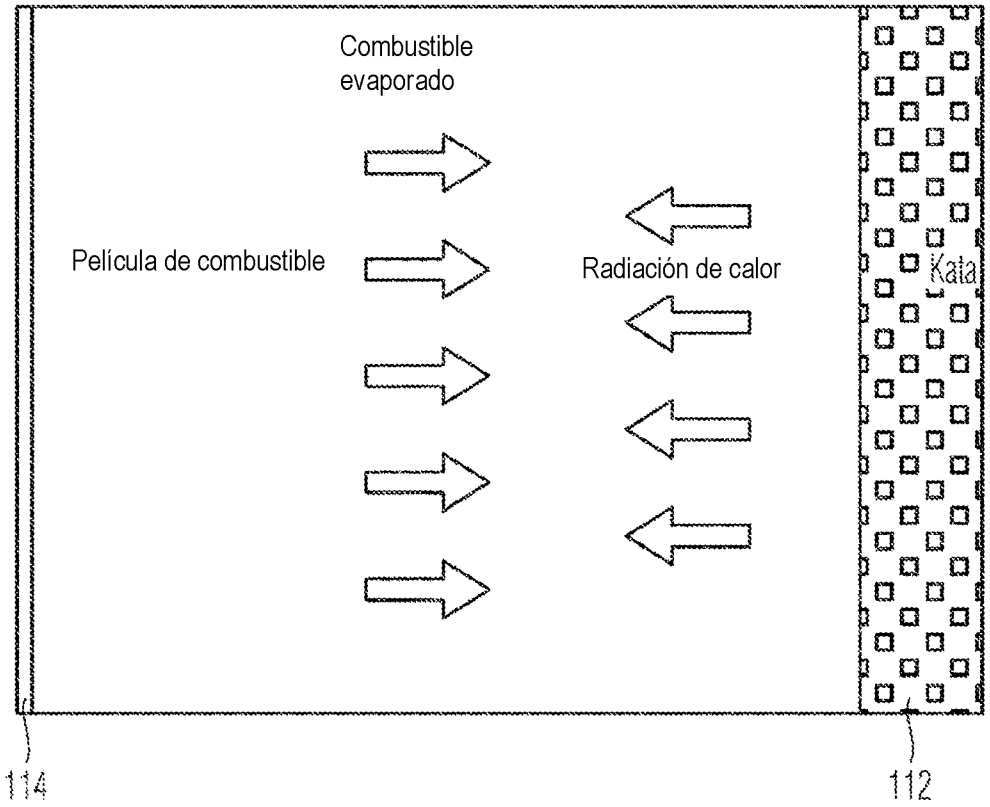
Combustible
evaporado
Película de combustible
Radiación de calor
Kata
114
112

Fig. 6