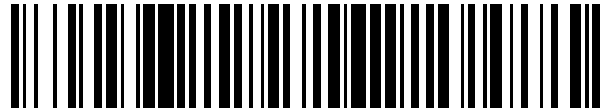


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 148**

51 Int. Cl.:

F24S 20/20 (2008.01)

F24S 10/70 (2008.01)

B01J 19/12 (2006.01)

B01J 12/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.04.2012 PCT/EP2012/056129**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.10.2012 WO12136689**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.04.2012 E 12711670 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019 EP 2694884**

54 Título: **Sistema solar que permite reproducir el efecto de una llama de combustión**

30 Prioridad:

04.04.2011 FR 1152862

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.02.2020

73 Titular/es:

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.) (100.0%)
3, rue Michel-Ange
75016 Paris , FR**

72 Inventor/es:

**RODAT, SYLVAIN;
ABANADES, STÉPHANE y
FLAMANT, GILLES**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 745 148 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 solar que permite reproducir el efecto de una llama de combustión

Campo técnico general

El presente invento se refiere al campo de los sistemas solares térmicos y termoquímicos a alta temperatura.

- 5 De una manera más precisa, se refiere a un sistema solar que permite un aporte de energía volumétrica que reproduce con la ayuda de un fluido de transferencia el efecto de una llama de combustión para un proceso industrial a alta temperatura.

Estado de la técnica

- 10 Numerosos procesos industriales, por ejemplo, el procedimiento de un horno para la producción del negro de carbono, necesitan un fuerte aporte de energía térmica en un volumen del material a tratar. Las temperaturas requeridas alcanzan los 2000°C.

- 15 Actualmente, estas altas temperaturas están producidas casi exclusivamente por la combustión de recursos fósiles, en particular, de los hidrocarburos. En efecto, la "llama de combustión" es, con el procedimiento del plasma, una de las únicas maneras de obtener un aporte térmico en un volumen a nivel industrial. Se designan, por otra parte, bajo el nombre de "temperaturas de llama" las temperaturas a las cuales están sometidos estos procesos.

Estas técnicas clásicas tienen hechas sus pruebas, pero necesitan en el mejor de los casos un fuerte consumo eléctrico, o bien el consumo de recursos fósiles, y provocan la emisión de gases de efecto invernadero y/o contaminantes (NOx, SOx, partículas).

- 20 Sería deseable disponer de una alternativa a la llama de combustión que se pudiese obtener únicamente a partir de una energía renovable, y en particular, de la energía solar.

En efecto, los sistemas llamados de concentración permiten la conversión de la radiación solar en energía térmica, la cual es utilizada generalmente para la producción de electricidad.

- 25 Uno de estos sistemas de concentración es la central de torre. Tal sistema está constituido por una torre y por un campo de espejos móviles llamados heliostatos que concentran la radiación solar sobre una zona reducida en la cima de la torre.

- 30 Esta zona iluminada por la radiación concentrada recibe varios centenares de veces la radiación solar directa, y está equipada con un dispositivo llamado receptor solar que tiene como función transmitir esta energía a un fluido (un líquido o un gas) que circula por allí, generalmente vapor de agua pasado por una turbina para producir electricidad. De esta manera, se ha representado en la figura 1 una central termodinámica de torre que incluye una torre 3, un campo de heliostatos 2, y el receptor solar 10.

- 35 El receptor solar descrito en la solicitud de patente US 2010/0237291 está constituido por una cavidad atravesada por una pluralidad de tubos por los cuales circulan unos compuestos químicos que pueden reaccionar mediante unas reacciones llamadas endotérmicas, es decir que necesitan de las altas temperaturas utilizadas habitualmente bajo el efecto de una llama de combustión (craqueo del metano, por ejemplo). La pared externa de los tubos recibe la radiación solar concentrada, lo que la lleva a alcanzar una temperatura alta: los tubos juegan el papel de pared de transferencia. Sin embargo, el aporte térmico no es volumétrico sino superficial: el calor es transferido a los reactivos químicos por contacto con la pared interna de los tubos. Este aporte térmico superficial reproduce mal el efecto de una llama de combustión, puesto que la reacción química tiene lugar principalmente al nivel de las paredes. Este disminuye el rendimiento y provoca la aparición a continuación de un aumento de los depósitos de residuos sólidos sobre las paredes (en este caso, de carbono puro en el caso de un procedimiento de craqueo), lo que hace inutilizable rápidamente al receptor: los depósitos hacen caer el aporte térmico y obstruyen los tubos.

- 45 De una manera alternativa, la solicitud de patente internacional WO 03/049853 propone un receptor solar estanco (un ojo de buey permite dejar entrar la radiación solar concentrada), por el que circulan directamente los compuestos químicos a calentar. Una nube de micropartículas sólidas absorbentes (del humo del negro de carbono, por ejemplo) se pone en suspensión en el receptor. Son estas partículas las que son irradiadas por la radiación solar concentrada, y difunden la energía térmica que reciben para poner en marcha la reacción endotérmica. El aporte térmico es, esta vez, volumétrico (rigurosamente, el intercambio térmico tiene lugar sobre la superficie de las partículas, pero por la difusión relativamente uniforme de las partículas en el volumen, es asimilable a un aporte térmico volumétrico), y reproduce mejor el efecto de una llama de combustión. Sin embargo, las prestaciones de este tipo de receptor solar permanecen muy limitadas: en efecto, las partículas tienen la tendencia muy rápidamente a depositarse sobre el ojo de buey y a hacerlo opaco. Recuperar los productos de la reacción es, además, muy complejo pues es necesario filtrar los gases obtenidos para aislar y recuperar las micropartículas sin contaminar a los productos. El interés industrial es, por lo tanto, muy pequeño.

Las tecnologías actuales no ofrecen así todavía ninguna alternativa solar industrial viable con la llama de combustión para los procesos industriales a alta temperatura.

Presentación del invento

- 5 Según un primer aspecto, el presente invento se refiere, por lo tanto, a un sistema solar que permite el aporte de energía volumétrica que reproduzca el efecto de una llama de combustión para un proceso industrial a alta temperatura, que incluye un receptor solar expuesto a una radiación solar concentrada, caracterizado por que incluye a su vez un fluido (líquido o gaseoso) portador de calor llevado a alta temperatura;
- al menos una cámara de alta temperatura en la cual se pone en marcha el citado proceso industrial a alta temperatura;
- 10 unos medios de inyección del fluido portador del calor desde el receptor solar hacia la cámara de alta temperatura, estando situados los medios de inyección y configurados para inyectar el fluido portador de calor bajo la forma de un chorro gaseoso que reproduce el efecto de una llama de combustión en la al menos una cámara de alta temperatura.
- Según otras características ventajosas y no limitativas:
- 15 • el receptor solar incluye una cavidad, estando provista la cavidad de una abertura transparente a la radiación solar concentrada, y de al menos un elemento de absorción solar irradiada por la radiación solar concentrada a través de la abertura;
- el o los elementos de absorción solar son unos tubos y/o unos canales que tapizan al menos una pared de la cavidad;
- 20 • el fluido portador del calor circula en el o en los elementos de absorción solar, siendo transportado el fluido portador del calor a alta temperatura para la transferencia térmica por el contacto con la superficie interna de los elementos de absorción solar;
- el fluido portador del calor circula por la cavidad, estando recubierta la abertura por un ojo de buey transparente a la radiación solar concentrada y estanco, y siendo transportado el fluido portador del calor a alta temperatura para la transferencia térmica por el contacto con la superficie externa del o de los elementos de absorción solar;
- 25 • el receptor solar está atravesado por un canal el en cual el fluido portador del calor está en movimiento, siendo transportador el fluido portador del calor a alta temperatura para la transferencia térmica por el contacto de la superficie interna de una pared del canal cuya superficie externa está irradiada por la radiación solar concentrada;
- el fluido portador del calor es inyectado a presión en el receptor solar;
- 30 • los medios de inyección del fluido portador del calor en la cámara de alta temperatura consisten en un conducto a través del cual se escapa el fluido portador del calor a alta temperatura del receptor solar hacia la cámara de alta temperatura bajo los efectos de la presión interna en el receptor solar;
- la presión en la cámara de alta temperatura es inferior a la presión en el receptor solar, estando provocada la forma del chorro gaseoso por la expansión del fluido portador del calor a la salida de los medios de inyección;
- 35 • la cámara de alta temperatura es un horno, y el proceso industrial a alta temperatura es un procedimiento de obtención de un material metálico o cerámico;
- la cámara de alta temperatura es un reactor químico, y el proceso industrial a alta temperatura es una reacción química endotérmica;
- 40 • el fluido portador del calor incluye un gas químicamente inerte y/o un reactivo de la citada reacción química endotérmica y/o un producto de la citada reacción química endotérmica;
- al menos un reactivo de la citada reacción química endotérmica es inyectado en el reactor de alta temperatura al nivel de una zona de inyección del fluido portador del calor a alta temperatura;
- el sistema incluye una pluralidad de cámaras de alta temperatura siendo cada una de ellas un reactor químico, siendo inyectados los productos del enésimo reactor en el reactor enésimo +1,
- 45 Según otros ejemplos:
- la cavidad y el o los elementos de absorción solar son de cerámica o de grafito;
- la temperatura del fluido portador del calor a alta temperatura está comprendida entre 1000°C y 2500°C;
- la reacción química endotérmica es un craqueo del metano;

- el fluido portador del calor es el di-hidrógeno, siendo inyectado el metano en el reactor de alta temperatura.

Un segundo aspecto del invento se refiere a un procedimiento de aporte de energía volumétrica que reproduce el efecto de una llama de combustión para un proceso industrial a alta temperatura, caracterizado por que incluye las etapas de:

- 5 - irradiación de un receptor solar en el cual circula un fluido portador del calor por una radiación solar concentrada, de tal manera que lleve al fluido portador del calor a una alta temperatura;
- inyección del fluido portador del calor desde un receptor solar en la cámara de alta temperatura bajo la forma de un chorro gaseoso que reproduce el efecto de una llama de combustión;
- 10 - puesta en marcha del citado proceso industrial a alta temperatura en la cámara de alta temperatura bajo el efecto de la llama de combustión producida.

Presentación de las figuras

Otras características y ventajas del presente invento aparecerán con la lectura de la descripción que viene a continuación de un modo de realización preferente. Esta descripción será dada haciendo referencia a los dibujos anexos en los cuales:

- 15 - la figura 1 precedentemente descrita es un esquema de una central solar termodinámica de torre ya conocida;
- la figura 2 es un esquema de realización del sistema solar según el invento;
- la figura 3a es una vista en perspectiva de un receptor solar utilizado por el sistema según el invento, y las figuras 3b y 3c son dos vistas en corte de dos modos de realización de este receptor solar,
- la figura 4 es un esquema de otro modo de realización del sistema solar según el invento;
- 20 - la figura 5 es un esquema de un modo de realización particularmente ventajoso de un receptor solar del sistema solar según el invento;
- la figura 6 es un esquema de realización de un colector del sistema solar según el invento;
- la figura 7 es un plano de la circulación de los fluidos (software Prosim®) en un modo de realización particularmente ventajoso del sistema según el invento.

25 Descripción detallada

Arquitectura general y principios

Haciendo referencia a los dibujos y especialmente en primer lugar a la figura 2, el sistema solar 1 según el invento incluye tres partes principales: un receptor solar 10, una cámara de alta temperatura 30, y unos medios 20 de inyección del fluido desde el receptor solar 10 hacia la cámara de alta temperatura 30.

- 30 Las "altas temperaturas" de las que se hablará en el presente invento corresponden a unas temperaturas que no pueden apenas ser alcanzadas nada más que gracias a una llama de combustión o al plasma, y no gracias a simples resistencias eléctricas. Estas altas temperaturas están típicamente por encima de 1000°C, y pueden, llegado el caso, alcanzar 2000°C e incluso 2500°C.

- 35 Como se ve en la figura 2, el receptor solar está expuesto a una radiación solar concentrada. Como ya se ha explicado precedentemente, por concentración de la radiación solar se entiende la focalización sobre una superficie pequeña de la radiación solar recibido por una amplia superficie utilizando unos sistemas ópticos: campos de espejos (heliostatos), un gran espejo parabólico, lentes, etc. La energía recibida por el receptor 10 es entonces igual a la energía solar incidente menos unas pérdidas ópticas, por ejemplo, la energía captada por la superficie total del campo de heliostatos 2 en la figura 1.

- 40 Un fluido portador del calor f circula por el receptor 10, siendo llevado este fluido a altas temperaturas bajo los efectos de la radiación solar concentrada. Serán descritos con detalle diferentes tipos de fluidos y diferentes geometrías de receptores más abajo.

- 45 La cámara de alta temperatura 30 es en lo que a ella se refiere el lugar de un proceso industrial a alta temperatura. Como será explicado más adelante, numerosos procesos industriales pueden ser puestos en marcha en el marco del presente invento, en particular cualquier proceso que necesite de un aporte de energía volumétrica, y especialmente, si este aporte se realiza generalmente gracias a una llama de combustión.

El corazón del invento reside en la inyección, a través de unos medios 20 de inyección, del fluido portador del calor f bajo la forma de un chorro gaseoso g en al menos una cámara de combustión de alta temperatura 30. En efecto, una llama no está constituida nada más que por un gas a alta temperatura de los productos finales o de los

productos intermediarios de la reacción de combustión que se ha engendrado (generalmente, CO₂, H₂O), siendo debido el aspecto luminoso de la llama a la excitación de los electrones de estos gases. Un chorro de gas a alta temperatura puede ser equivalente, por lo tanto, a una llama de combustión. De esta manera, inyectando el fluido portador del calor f caliente al nivel de una fina abertura de la cámara 30 con un caudal suficiente, se simula un quemador y se reproduce perfectamente una llama de combustión.

Arquitectura del receptor solar

Son conocidos ya numerosos tipos de receptores solares 10 por el experto. Se observará que el invento no está limitado a ningún tipo de receptor en particular, pero puede aplicarse a cualquier tipo de receptor que sea apto para transportar el fluido portador de calor f a alta temperatura bajo los efectos de la radiación solar concentrada.

Se van a citar tres modelos de realización ventajosa y particularmente adaptados.

En el primer, de acuerdo con la figura 3a, por ejemplo, y en el segundo, el receptor solar 10 incluye una cavidad 11, estando provista la cavidad 11 de una abertura transparente 12 a la radiación solar concentrada, y con al menos un elemento de absorción solar 13 irradiado por la radiación solar concentrada a través de la abertura 12. Por abertura, se entiende cualquier "ventana" que deje pasar la radiación solar, que sea de cristal o un simple orificio en la pared del receptor 10. La abertura 12 puede estar rodeada de un cono colector 16 (concentrador secundario) de un material reflectante, como se ve en la figura 2, permitiendo este cono concentrar de una manera más precisa todavía la radiación solar concentrada hacia la abertura 12.

Los elementos de absorción solar 13 son unos elementos refractarios que van a calentarse bajo los efectos de la radiación solar concentrada. Es al nivel de su pared donde la energía solar es transformada de una manera efectiva en calor. El primero y el segundo modo de realización mencionados del receptor 10 se diferencian en la forma de estos elementos 13 y en el esquema de circulación del fluido portador del calor f.

En este primer modo de realización, como se ve en la figura 3b y respectivamente en la figura 3c, el o los elementos de absorción solar 13 son de una manera ventajosa unos canales y/o unos tubos que tapizan al menos una pared de la cavidad 11, en particular, la pared opuesta a la abertura 12, es decir, la pared expuesta a la radiación solar concentrada. De esta manera, el fluido portador del calor f circula por los elementos de absorción solar 13, y es transportado a alta temperatura por la transferencia térmica en contacto con la superficie interna de los elementos de absorción solar 13. Alternativamente, los canales y/o los tubos pueden no estar colocados contra una pared de la cavidad 11, esto con el fin de recibir indirectamente la radiación por reflexión sobre las paredes de la cavidad 11.

El calor aparece sobre la pared externa de estos tubos o canales y se transmite por conducción hasta la pared interna, enfriada por el paso del fluido portador del calor. En la configuración "canales", que están situados en el material que constituye el fondo de la cavidad 11, se observa que hay una pared externa común a todos los canales, la cual es precisamente el fondo de la cavidad 11. En el caso de receptores solares 10 paralelepípicos o semi-cilíndricos, caso que es el más frecuente, esta pared es sensiblemente ortogonal con el eje de incidencia de la radiación solar, y sufre, por lo tanto, una elevación máxima de la temperatura. En la configuración "tubos" (en esta configuración los elementos de absorción 13 están formados por tubos diferentes de los de la cavidad 11), múltiples reflexiones sobre el fondo de la cavidad 11 hacen que esté expuesta toda la periferia de la pared externa de los tubos.

La superficie de intercambio interna entre los tubos/canales y el fluido portador de calor en cuanto a lo que a ella se refiere, interesa que esté lo más alta posible pues los coeficientes de intercambios conducto/convectivos en un interfaz sólido-gas son pequeños. Además, es inútil tener grandes diámetros de los tubos/canales, pues los intercambios solo se hacen sobre la pared. De una manera ventajosa, se multiplican, por lo tanto, los tubos/canales de pequeño diámetro (véase más adelante la descripción de un modo de realización particularmente preferido).

Los materiales elegidos son materiales ultra-resistentes a las altas temperaturas (capaces de soportar durante varias horas 2000°C), pero relativamente conductores del calor. Los elementos de absorción solar 13 y más particularmente la cavidad 11 son elegidos, por lo tanto, de cerámica o de grafito (punto de sublimación a 3652°C). Se pueden considerar igualmente unos tubos de materiales metálicos de alta temperatura de fusión, aunque el preferido es el grafito.

Puesto que el fluido portador del calor f está separado de una manera estanca de la cavidad 11 por la pared de los tubos, la cavidad 11 no es necesario con frecuencia que sea hermética. Se puede contentar con ser un simple orificio como abertura 12, pero de una manera más ventajosa, se la dota por lo menos con un vidrio con el fin de aislar la cavidad 11 de la atmósfera oxidante, nociva, en particular, del grafito. La cavidad puede estar llena entonces con una atmósfera neutra (nitrógeno o argón, por ejemplo).

Alternativamente, se puede hacer circular el fluido portador del calor f directamente por la cavidad 11. La abertura 12 está cerrada entonces obligatoriamente por un ojo de buey 14 transparente a la radiación solar concentrada, estanca y resistente a la presión. En este segundo modo de realización, el fluido f circula alrededor de los elementos de absorción térmica 13, y no por el interior de éstos. El fluido es, entonces, transportado a alta temperatura para la

transferencia térmica por el contacto con la superficie externa de los elementos de absorción solar 13, irradiados siempre por la radiación solar concentrada a través de la abertura 12. Este receptor solar 10 es visible en la figura 4.

5 Hay, por lo tanto, una gran libertad en las formas para los elementos de absorción 13, y de una manera ventajosa se eligen estructuras en forma de nido de abejas, espuma porosa, o aerosoles que ofrecen una superficie de intercambio mayor con el fluido f. Estas estructuras ocupan típicamente toda la sección de la cavidad, de tal manera que fuercen al fluido portador del calor f a atravesarlas.

Los materiales y las dimensiones preferidas son sensiblemente las mismas que para el primer modo de realización.

10 Según el tercer modo de realización ventajoso, se puede pasar de la cavidad 11 y de la abertura 12. El receptor solar 10 es atravesado, en efecto, por un canal en el cual el fluido portador del calor f está en movimiento, siendo transportado el fluido portador del calor f a alta directamente para la transferencia térmica por el contacto con la superficie interna de una pared del canal cuya superficie externa está irradiada por la radiación solar concentrada. Con el fin de aumentar la transferencia térmica, se puede recurrir a elementos que generen turbulencias en este canal. Esta solución se aproxima mucho a la primera con los canales integrados en la cavidad, es necesario saber que a temperaturas más altas será necesaria una cavidad con el fin de disminuir las pérdidas térmicas por las radiaciones infrarrojas hacia el exterior.

15 Tal receptor solar superficial con un canal está descrito, especialmente, en la solicitud de patente francesa FR0957204.

Modo de realización particularmente preferido del receptor

20 Un receptor solar 10 particularmente ventajoso desarrollado por los laboratorios PROMES (Unidad CNRS 8521), de acuerdo con el primer modo de realización del receptor descrito precedentemente, está representado en la figura 5, Este receptor multi-tubular experimental ha podido calentar a un fluido portador del calor f a una temperatura de 2073° K.

25 Este receptor 10 está constituido por una envoltura de aluminio u una cavidad receptora 11 de grafito sensiblemente cúbica (alrededor de 40 cm de lado). La abertura 12 que deja entrar el flujo solar concentrado presenta un diámetro de 13 cm. Los tubos 13, en número de siete, tienen 800 mm de longitud para un diámetro interior de 18 mm y un diámetro exterior de 26 mm. Están situados al trespelillo horizontalmente. Un ojo de buey hemisférico 14 de cuarzo de 360 mm de diámetro y 5 mm de espesor permite aislar la cavidad 11 de la atmósfera oxidante. La zona 15 (globalmente paralelepípedica, con un lado del orden de 800 mm) que rodea a la cavidad 11 está llena de unas capas de materiales aislantes (por ejemplo, de materiales fibrosos de aluminio-silicato o de fieltro de grafito) que ayudan a mantener el calor en la cavidad 11.

Fluido portador del calor e inyección

35 Por fluido, se entiende un líquido o un gas a la entrada del receptor solar 10, a condición, sin embargo, de que los niveles de alta temperatura alcanzados a la salida del receptor solar 10 alcancen la temperatura de vaporización de tal manera que el fluido portador del calor f pueda tomar la forma de un chorro gaseoso g. Se prefiere sin embargo un fluido gaseoso en las CNTP (condiciones normales de presión y de temperaturas) puesto que no hay problemas de cambio de estado (consumo de una entalpia de vaporización).

40 Son utilizables numerosos fluidos y la elección depende esencialmente del proceso industrial para el cual el fluido reproduce una llama de combustión. En efecto, este fluido debe ser estable a las altas temperaturas nominales de inyección en la cámara 30 y de cara a los componentes puestos en juego durante el proceso, a costa de interferir con este proceso, o, bien al contrario, un constituyente activo del proceso cuyo impacto sea el deseado, por ejemplo, un reactivo de una reacción química. Además, el fluido debe presentar de una manera ventajosa una buena conductividad térmica con el fin de almacenar rápidamente la energía térmica y/o una capacidad calorífica Cp elevada con el fin de almacenar mucha energía.

45 De una manera general, el di-hidrógeno (en ausencia de di-oxígeno) y el helio son particularmente ventajosos por sus prestaciones térmicas y su estabilidad. Se puede mencionar igualmente el argón, el di-nitrógeno y considerar igualmente la utilización del aire ambiente por su bajo coste y su disponibilidad.

Para poder inyectar el fluido portador del calor f en la cámara de alta temperatura 30, los medios de inyección 20 pueden incluir unos sistemas de bombas, pero únicamente los sistemas extremadamente caros y perfeccionados pueden resistir las temperaturas que reinan a la salida del receptor solar 10.

50 Es por eso por lo que se resuelve de una manera ventajosa el problema efectuando la subida de la presión antes de la entrada en el receptor solar 10, cuando los niveles de temperatura son todavía bajo: el fluido portador del calor f se inyecta a presión en el receptor solar 10. El nivel de presión debe estar ajustado a la resistencia mecánica de los elementos del receptor, en particular de los tubos 13 o del ojo de buey 14, si lo hubiese. Sin embargo, se puede de una manera ventajosa subir a varios bares.

Los medios de inyección 20 del fluido portador del calor f en la cámara de alta temperatura 30 consisten entonces de una manera ventajosa en un simple conducto a través del cual el fluido portador del calor f a alta temperatura se escapa del receptor solar 10 hacia la cámara de alta temperatura 30 bajo los efectos de la presión interna en el receptor solar 10. El diámetro de este conducto puede ser ajustado en función de la presión y del caudal de fluido en el receptor solar de tal manera que se ajuste la velocidad del gas a alta temperatura a la salida del conducto (en otras palabras, el tamaño de la llama simulada) óptimo para el proceso. De esta manera, si Q es el caudal, v la velocidad de flujo y S la superficie de una sección del conducto, $Q = vS$. Haciendo la hipótesis de que el fluido obedece a la ley de los gases perfectos $PV = nRT$, se tiene $PQ = DRT/M$. con D el caudal másico deseado, y M la masa molar del fluido. Se obtiene $S = DRT/PvM$. Se darán ejemplos experimentales de valores interesantes más adelante, pero de una manera general son interesantes rayos de algunos centímetros, en particular entre 1 cm y 10 cm.

La conexión entre el receptor solar 10 y los medios de inyección 20 puede hacerse de una manera ventajosa por medio de un colector 21 tal como el representado en la figura 6, en particular si el receptor solar 10 es del tipo tubos/canales 13. Se observa que un colector 21 está presente igualmente en el receptor de la figura 5.

El colector 21 permite una zona de mezcla con el fin de homogeneizar la temperatura (la configuración de la cavidad 11 puede hacer que los tubos 13 no reciban todos, la misma cantidad de energía) antes de introducir el fluido a alta temperatura en la cámara de alta temperatura 30 a través de los medios de inyección 20 (en particular, cuando estos consisten en un conducto). El grafito es un material adaptado por su forma fácil y su rigidez a temperatura. Se observa en la figura 6 una forma en punta: la hidrodinámica debe, de una manera particularmente preferida, favorecer unas velocidades de flujo elevadas (entre 0,3 y 0,8 Mach so las deseadas en algunos procesos industriales) con el fin de asegurar un régimen turbulento y un transporte eficaz de las partículas. Por supuesto que el colector 21 debe encontrarse lo más cerca posible del receptor solar 10 con el fin de minimizar las pérdidas térmicas.

Además, la presión en la cámara de alta temperatura 30 es inferior, ventajosamente, a la presión en el receptor solar 10. De esta manera, la forma del chorro de gas g está provocada por la expansión del fluido portador de calor f a la salida de los medios de inyección 20. Esta expansión, del tipo Joule-Thomson está permitida, de una manera ventajosa, terminando el conducto en un simple bus. Los medios de inyección 20 tienen entonces un efecto comparable al de una tobera. Aumentan la regularidad del chorro gaseoso, y facilitan la difusión de su energía térmica en la cámara de alta temperatura 30 por las necesidades del proceso.

La zona 31 de la cámara 30 en donde el gas es inyectado de una manera ventajosa tiene una posición relativamente central, de tal manera que se evita al máximo calentar las paredes. En la figura 2, la zona 31 corresponde a una zona de pre-mezcla (véase más adelante).

Según las necesidades del proceso industrial, es absolutamente posible tener varias llegadas de gas a alta temperatura de tal manera que se tengan varias zonas 31 de inyección, y, por lo tanto, varios medios de inyección 20 del fluido. El conducto se puede ramificar.

Se observará que es posible elegir un fluido que a pesar de las altas temperaturas que reinan en el receptor 10 esté siempre en estado líquido a la entrada del conducto, y que se vaporice instantáneamente al entrar en la cámara 30 a continuación de la expansión.

Como se ha mencionado precedentemente, la temperatura del fluido portador del calor f a alta temperatura está comprendido, de una manera ventajosa, entre 1000°C y 2500°C según la temperatura requerida de la llama por el proceso industrial.

Cámara de alta temperatura

Como ya se ha explicado precedentemente, el sistema según el invento puede ser adaptado a un gran número de procesos industriales. Esta adaptación pasa por la elección de una cámara de alta temperatura 30 eventualmente específica del proceso deseado. Se observará que el invento no está limitado a ningún proceso industrial, en particular.

Por ejemplo, en los campos de la metalurgia, de la siderurgia o de la cerámica, se puede elegir un horno como cámara de alta temperatura 30, siendo el proceso industrial de alta temperatura un proceso de obtención de un material metálico o cerámico, como la descarburación de un mineral de hierro para la producción de acero (la cámara 30 es entonces un alto horno), o la fusión de la sílice para la producción de vidrio.

Alternativamente, la cámara de alta temperatura 30 puede ser un reactor químico, y el proceso industrial a alta temperatura una reacción química endotérmica.

Reactor químico

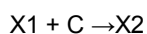
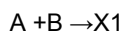
La utilización del sistema solar 1 según el invento para poner en marcha unas reacciones químicas endotérmicas es particularmente interesante por la posibilidad de elegir el fluido portador del calor, es decir, el o los gases que

constituyen la llama, contrariamente al caso de las combustiones, en las que se tiene siempre el mismo gas (CO_2 , CO , NO_x , SO_x). Estos últimos son unos contaminantes que entre otros se mezclan con los productos de la reacción y los contaminan. De esta manera, el fluido portador del calor f incluye ventajosamente un gas químicamente inerte y/o un reactivo de la citada reacción química endotérmica. Es, por lo tanto, posible tener una reacción perfectamente controlada.

Se puede inyectar, además, al menos un reactivo r de la citada reacción química endotérmica en el receptor de alta temperatura 30 al nivel de la zona 31 de inyección del fluido portador del calor f a alta temperatura mencionada precedentemente. De esta manera, en caso de una reacción con dos reactivos, se puede utilizar uno como fluido portador del calor, e inyectar el segundo en la zona 31. Se obtiene entonces una buena mezcla en la cual uno de los reactivos está ya a un alto nivel de energía. También es posible modular la posición de la inyección del reactivo (con unas inyecciones más o menos próximas a la llama gaseosa). Esto se utiliza en los procesos industriales para jugar con la distribución en tamaño de las partículas producidas que están sometidas, entonces, a unos tiempos de permanencia diferentes.

Se puede considerar, además, que haya más de una cámara de alta temperatura 30a, 30b, etc. siendo cada una un reactor químico, en particular en el caso de unas reacciones complejas. Se pueden montar, de una manera ventajosa, estos reactores 30 en serie, siendo inyectados los productos de enésimo reactor en el reactor enésimo+1.

Por ejemplo, tomemos el caso de una reacción $A+B +C \rightarrow D$, que contuviese las siguientes reacciones (X_1 y X_2 son intermediarios de la reacción):



Se tendrían entonces tres reactores 30a, b, c que ponen en marcha respectivamente cada una de estas sub-reacciones.

Un modo de realización ventajoso sería utilizar B como fluido portador del calor, prever una inyección de A en el primer reactor 30a y el tercer reactor 30c, y una inyección de C en el segundo reactor 30b.

Craqueo del metano

El sistema solar 1 según el invento está particularmente adaptado a los procesos industriales de producción de hidrógeno o de nanopartículas de carbono a partir de unos precursores gaseosos, llamado con frecuencia "procesos de horno", o "procesos con horno", en francés.

De esta manera, la reacción química endotérmica preferida es el craqueo del metano por la co-síntesis de dihidrógeno y de negro de carbono: $\text{CH}_4(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{C}(\text{s})$, $\Delta H^\circ = 75 \text{ kJ/mol}$.

De una manera ventajosa, el fluido portador del calor f es el di-hidrógeno, siendo inyectado el metano en el reactor de alta temperatura 30. Cualquier otro gas inerte estable a muy alta temperatura como el Ar, He, N_2 puede ser utilizado igualmente como fluido portador del calor f y separado a continuación por el reciclado a la salida del reactor 30.b

Si el sistema según el invento está particularmente adaptado, es por que la puesta en marcha de la reacción de craqueo al nivel de las paredes conduce irremediabilmente al aumento de los depósitos pirolíticos de carbono

La figura 7 representa un plano de circulación de los fluidos (software Prosim[®]) que ilustra de una manera particularmente ventajosa la integración del sistema solar 1 según el invento en una instalación industrial de producción de hidrógeno y de negros de carbono.

A la salida del receptor solar 10, el hidrógeno es inyectado bajo la forma de un chorro gaseoso g a 1873°C . Este gas caliente se mezcla entonces con el metano en reactor de alta temperatura 30 adiabático, simbolizado en la figura 7 por dos reactores de alta temperatura 30a, 30b virtualmente consecutivos: la reacción de craqueo incluye en efecto dos etapas de reacción (que tienen lugar, por lo tanto, en un mismo reactor 30).

En el primer reactor 30a, se efectúa la reacción llamada de acoplamiento del metano. Dos moléculas de metano "se acoplan" en una molécula de acetileno: $\text{CH}_4 \rightarrow 1/2 \text{C}_2\text{H}_2 + 3/2 \text{H}_2$ (tasa de reacción 0,9). En el segundo reactor 30b, el acetileno se disocia en hidrógeno y carbono $\text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{C}$ (tasa de reacción 0,9).

El proceso se fuerza de tal manera que la temperatura a la salida de la zona de reacción, medida a través de un detector, no sea inferior a 900°C (temperatura mínima del proceso de producción del negro de carbono llamado "Thermal black" controlando el caudal de recirculación del H_2 portador del calor a través de una válvula de tres vías 7 electrónicamente controlada. El caudal de metano, inyectado al nivel de la entrada 8, está, en lo que a él se refiere, fijado aquí en 400 kg/h .

Los productos deben recorrer a continuación un separador 4a del tipo intercambiador ciclónico que permite separar los negros de carbono de los productos gaseosos. Antes de alcanzar el ciclón 4, un intercambiador 5 (Multi Fluid Heat Exchanger) permite, de una manera ventajosa, recuperar el calor de los productos por el recalentamiento del reactivo, por una parte, y del gas a calentar, por otra parte.

- 5 Después del ciclón 4a, pueden demostrarse como necesarios unos filtros de manga 4b para una filtración secundaria antes de purificar los productos gaseosos en una columna de absorción modulada en presión 6 (pureza del H₂ 100%, tasa de recuperación 95%). Previamente, los gases deben ser comprimidos. Una parte del hidrógeno purificado al nivel de la columna 6 se recircula como fluido portador del calor f hacia el receptor solar 10, después del pre-calentamiento al nivel del intercambiador 5, la otra parte se recupera al nivel de la salida 9c para valorización (producción de 100kg/h). La potencia requerida por el calentamiento solar del hidrógeno al nivel del receptor solar 10 es de 2,5 MW. Los negros de carbono recuperados al nivel del ciclón 4a (salida de carbono 9a) y al nivel de los filtros 4b (salida de residuos de carbono 9b) pueden ser acondicionados a continuación, (producción de 300 kg/h).

- 15 Hay que observar que el proceso de disociación propuesto aquí es completamente similar a los procesos industriales clásicos, solo es diferente el aporte de calor: en lugar de utilizar la combustión de fuentes fósiles para calentar el metano, se inyecta un fluido a alta temperatura previamente calentado por la energía solar concentrada. Esto permite, de esta, manera, la misma flexibilidad que la que puede presentar el proceso con un horno tradicional en términos de pre y post-tratamientos de los productos (ex: post-tratamiento oxidante para ajustar las propiedades del negro de carbono).

- 20 Se recuerda que el sistema según el invento no está limitado de ninguna manera al craqueo del metano, y el experto sabrá adaptarlo a la puesta en marcha de cualquier proceso industrial que necesite una llama de combustión.

Procedimiento

Según un segundo aspecto, el invento se refiere a un procedimiento asociado con el sistema solar según el primer aspecto del invento.

- 25 Se trata, por lo tanto, de un procedimiento de aporte de energía volumétrica que reproduce los efectos de una llama de combustión para un proceso industrial a alta temperatura, caracterizado por que incluye las siguientes etapas:

- irradiación de un receptor solar 10 por el que circula un fluido portador del calor f por una radiación solar concentrada, de tal manera que lleve al fluido portador del calor a alta temperatura;
- inyección de un fluido portador del calor desde el receptor solar 10 en una cámara de alta temperatura 30 bajo la forma de un chorro gaseoso g que reproduce los efectos de una llama de combustión;
- 30 - puesta en marcha del citado proceso industrial a alta temperatura en la cámara de alta temperatura 30 bajo los efectos de la llama de combustión producida.

Este procedimiento utiliza los mecanismos explicados precedentemente. Se aplica a los mismos procesos industriales, y es puesto en marcha de una manera ventajosa por uno de los modos de realización del sistema solar descritos precedentemente.

35

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema solar (1) que permite un aporte de energía volumétrica que reproduce los efectos de una llama de combustión para un proceso industrial a alta temperatura, que incluye un receptor solar (10) expuesto a una radiación solar concentrada, caracterizado por que incluye un fluido (líquido o gaseoso) portador del calor (f) llevado a una alta temperatura;
- al menos una cámara de alta temperatura (30) en la cual se pone en marcha el citado proceso industrial a alta temperatura;
- unos medios de inyección (20) del fluido portador del calor (f) desde el receptor solar (10) hasta la cámara de alta temperatura (30), estando situados y configurados los medios de inyección (20) para inyectar el fluido portador del calor (f) bajo la forma de un chorro gaseoso (g) que reproduce los efectos de una llama de combustión en el menos una cámara de alta temperatura (30).
- 10 2. Sistema según la reivindicación 1, en el cual el receptor solar (10) incluye una cavidad (11), estando provista la cavidad (11) de una abertura (12) transparente a la radiación solar concentrada, y de al menos un elemento de absorción solar (13) irradiado por la radiación solar concentrada a través de la abertura (12).
- 15 3. Sistema según la reivindicación 2, en el cual el o los elementos de absorción solar (13) son unos tubos y/o canales que tapizan al menos una pared de la cavidad (11).
4. Sistema según la reivindicación 3, en el cual el fluido portador del calor (f) circula por el o por los elementos de absorción solar (13), siendo llevado el fluido portador del calor (f) a una alta temperatura por transferencia térmica por el contacto con la superficie interna de los elementos de absorción solar (13).
- 20 5. Sistema según una de las reivindicaciones 2 ó 3, en el cual el fluido portador del calor (f) circula por la cavidad (11), estando recubierta la abertura (12) por un ojo de buey (14) transparente a la radiación solar concentrada y estanco, y siendo llevado el fluido portador del calor (f) a una alta temperatura por transferencia térmica por el contacto con la superficie externa del o de los elementos de absorción solar (13).
- 25 6. Sistema según la reivindicación 1, en el cual el receptor solar (10) está atravesado por un canal en el cual el fluido portador del calor (f) está en movimiento, siendo llevado el fluido portador del calor (f) a una alta temperatura por transferencia térmica por el contacto con la superficie interna de una pared del canal cuya superficie externa está irradiada por la radiación solar concentrada.
7. Sistema según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual el fluido portador del calor (f) es inyectado a presión en el receptor solar (10).
- 30 8. Sistema según la reivindicación 7, en el cual los medios de inyección (20) del fluido portador del calor (f) en la cámara de alta temperatura (30) consisten en un conducto a través del cual el fluido portador del calor (f) a alta temperatura se escapa del receptor solar (10) hacia la cámara de alta temperatura (30) bajo los efectos de la presión interna en el receptor solar (10).
- 35 9. Sistema según la reivindicación 8, en el cual la presión en la cámara de alta temperatura (30) es inferior a la presión en el receptor solar (10), estando provocada la forma del chorro gaseoso (g) por la expansión del fluido portador del calor (f) a la salida de los medios de inyección (20).
10. Sistema según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual la cámara de alta temperatura (30) y el proceso industrial a alta temperatura es un procedimiento de obtención de un material metálico o cerámico.
- 40 11. Sistema según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual la cámara de alta temperatura (30) es un reactor químico, y el proceso industrial a alta temperatura es una reacción química endotérmica.
12. Sistema según la reivindicación precedente, en el cual el fluido portador del calor (f) incluye un gas químicamente inerte y/o un reactivo de la citada reacción química endotérmica y/o un producto de la citada reacción química endotérmica.
- 45 13. Sistema según una de las reivindicaciones 11 ó 12, en el cual al menos un reactivo (r) de la citada reacción química endotérmica es inyectado en el reactor de alta temperatura (30) al nivel de una zona (31) de inyección del fluido portador del calor (f) a alta temperatura.
14. Sistema según una de las reivindicaciones 11 a 13, que incluye una pluralidad de cámaras a alta temperatura (30a, 30b..) siendo cada una un reactor químico, siendo inyectados los productos de enésimo reactor (30) en el reactor enésimo+1 (30).
- 50 15. Procedimiento de aporte de energía volumétrica que reproduce los efectos de una llama de combustión para un proceso industrial a alta temperatura, caracterizado por que incluye las siguientes etapas de:

- irradiación de un receptor solar (10) por el que circula un fluido portador del calor (f) por una radiación solar concentrada, de tal manera que lleve al fluido portador del calor (f) a una alta temperatura;
 - inyección del fluido portador del calor (f), desde el receptor solar (10) a una cámara de alta temperatura (30), bajo la forma de un chorro gaseoso (g) que reproduce los efectos de una llama de combustión;
- 5 - puesta en marcha del citado proceso industrial a alta temperatura en la cámara de alta temperatura (30) bajo los efectos de la llama de combustión producida.

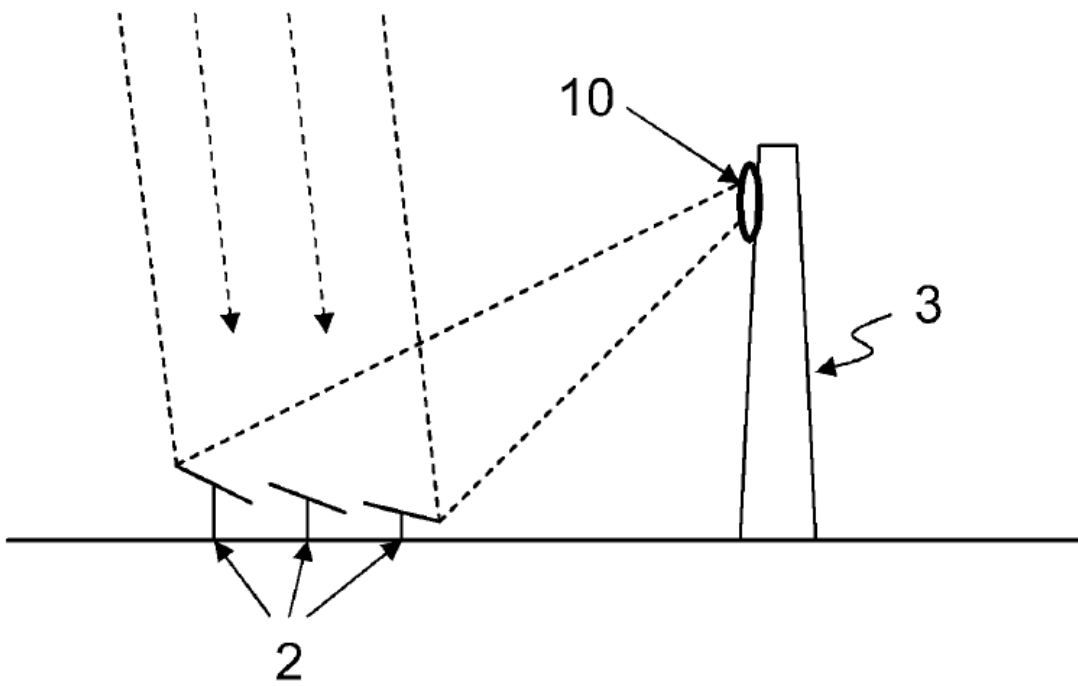


FIG. 1

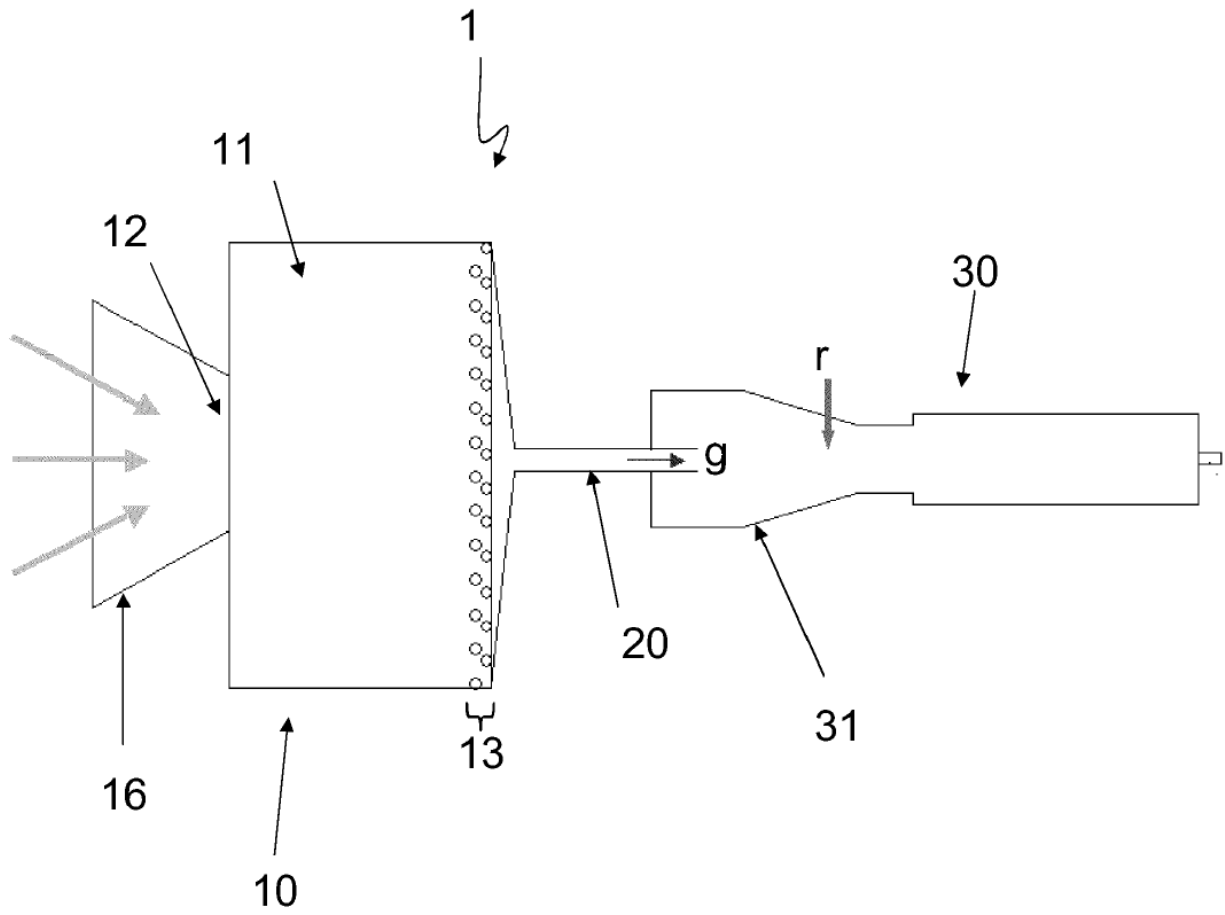


FIG. 2

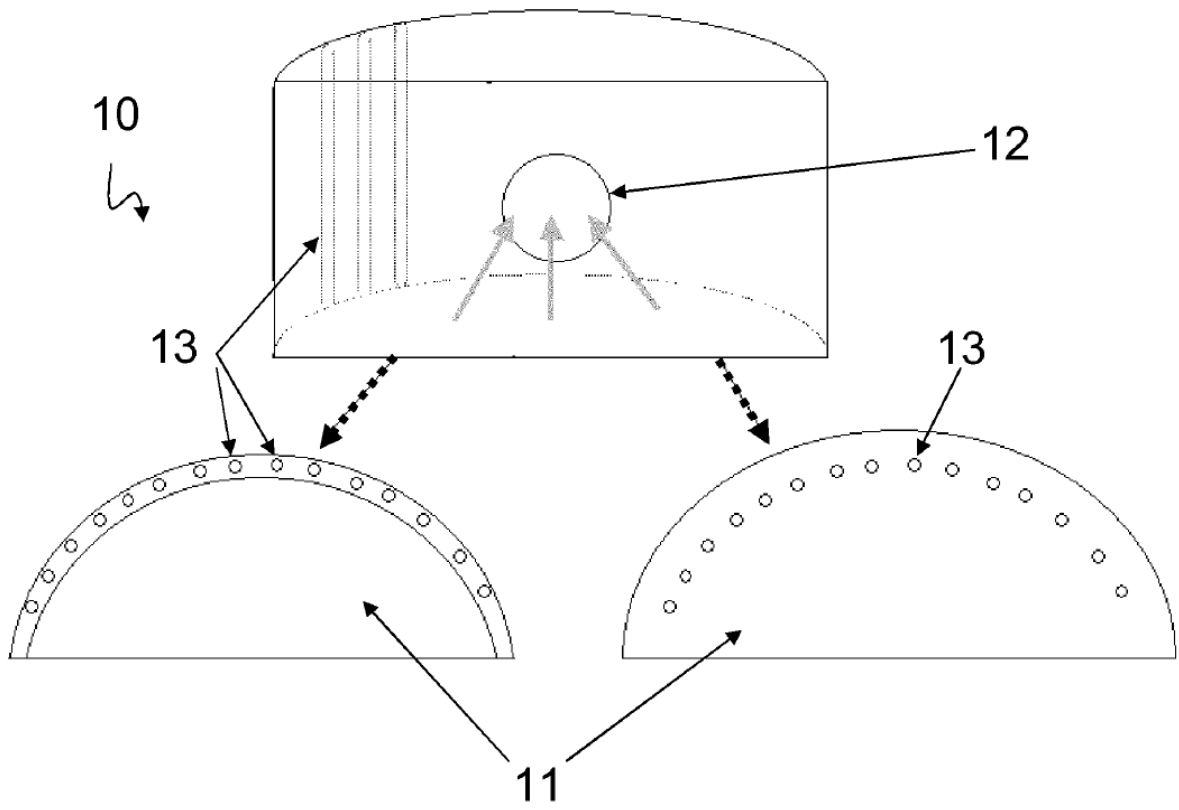


FIG. 3a-c

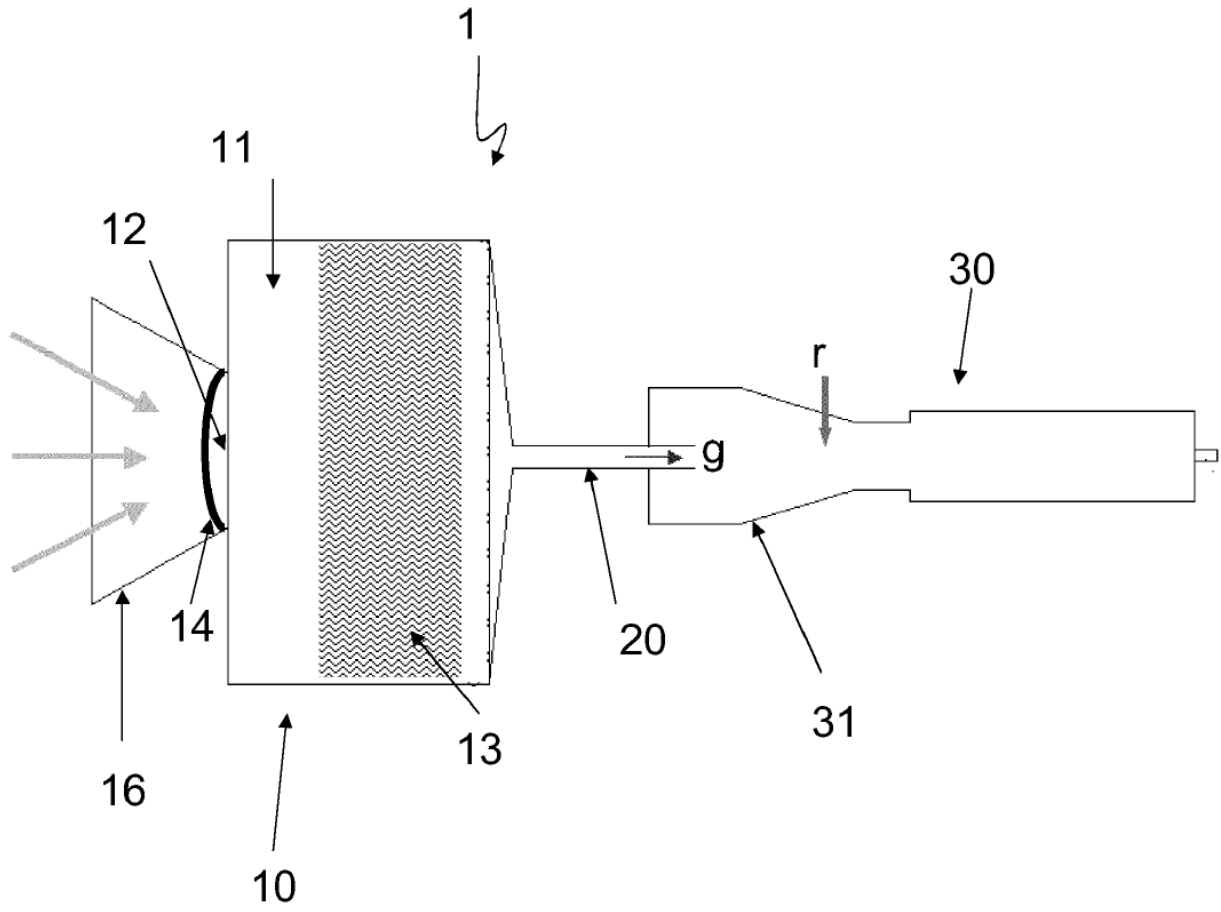


FIG. 4

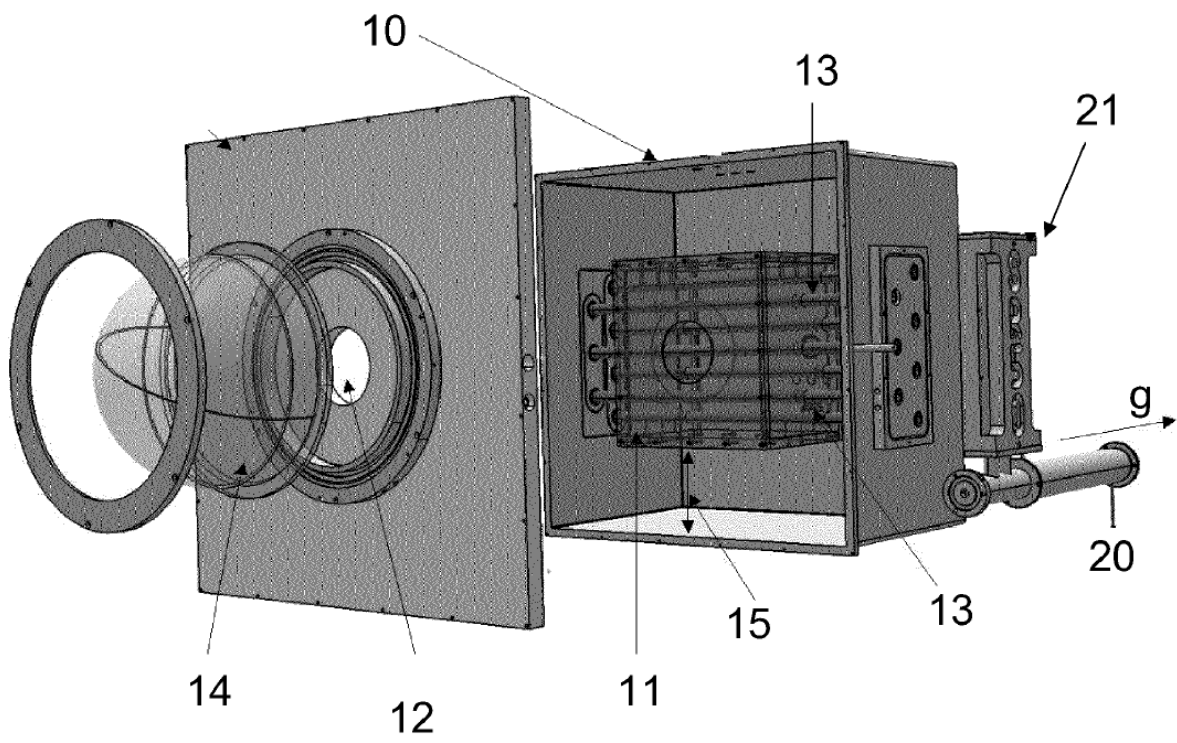


FIG. 5

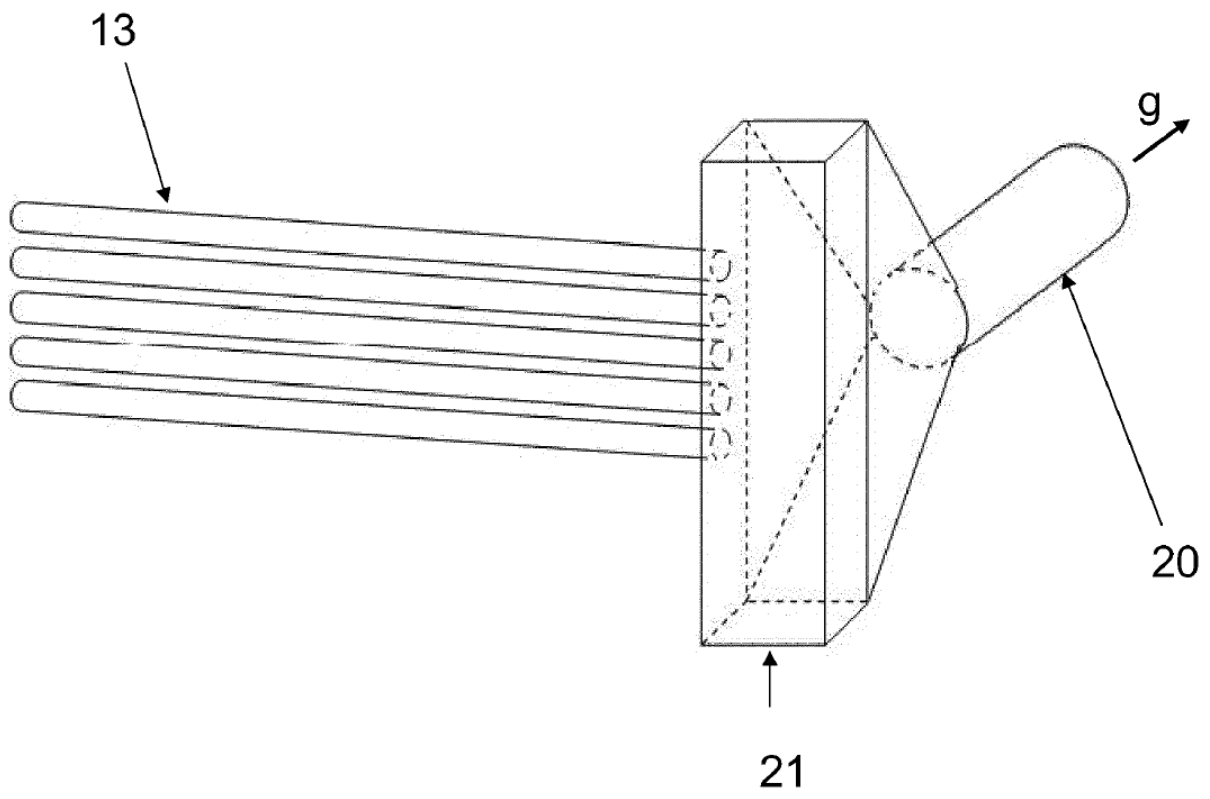


FIG. 6

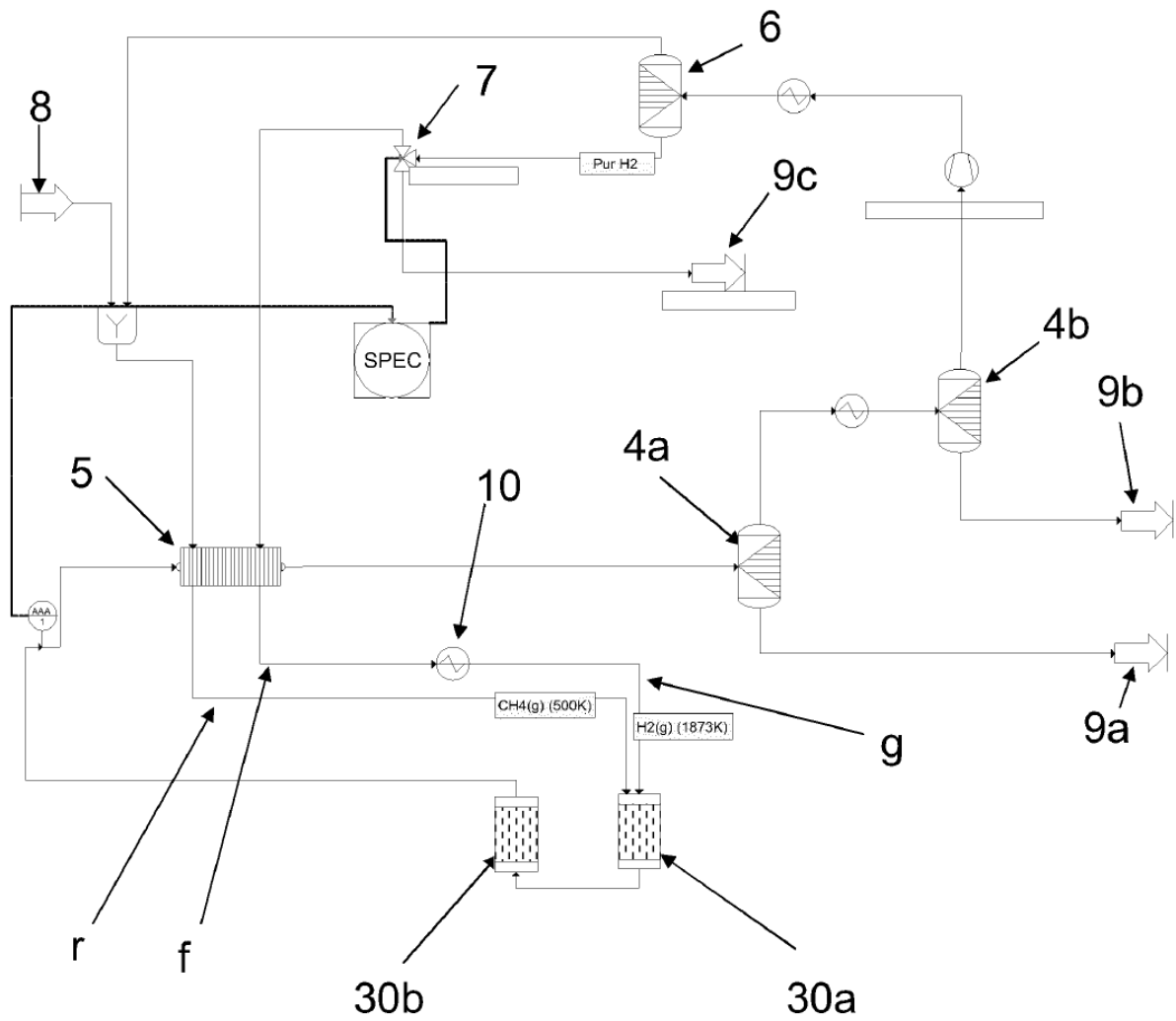


FIG. 7