(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 909 758**

(51) Int. CI.:

F02G 1/055 (2006.01)
F23G 7/08 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.12.2019 E 19214662 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.12.2021 EP 3835568**

(54) Título: **Sistema de antorcha**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.05.2022

(73) Titular/es:

SWEDISH STIRLING AB (100.0%)
Gruvgatan 35 B
42130 Västra Frölunda, SE

(72) Inventor/es:

LARSSON, GUNNAR

(74) Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

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 de antorcha

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de antorcha capaz de recuperar energía en gases residuales generados en un proceso industrial, tal como una planta de fundición.

Antecedentes de la invención

En muchas industrias, diversos procesos dan por resultado gases residuales, que a menudo incluyen una mezcla de gases combustibles. Un ejemplo específico es el proceso de reducción en plantas de fundición, donde el carbono reacciona con oxígeno en óxido metálico, a fin de obtener metal puro con CO como un producto de reposo. Además, debido al enorme calor, el agua presente en la mena de metal se divide en hidrógeno (H_2) y oxígeno. La relación de mezcla de CO y H_2 dependerá de la cantidad de humedad en la mena.

Convencionalmente, los gases residuales se utilizan en cierta medida en diversas aplicaciones de calentamiento en la planta de fundición. Sin embargo, habitualmente una gran porción (por ejemplo, 40% o más) del gas residual no se puede recuperar y entonces se quema habitualmente en una pila de antorcha para deshacerse del CO tóxico.

JP2009 156233 A1, US 2006/213196 A1 y US 2019/101079 A1 describen diversos sistemas para la recuperación de energía en un flujo de gas residual generado en un proceso industrial.

Una pila de antorcha es una forma barata y robusta de quemar gas residual con contenido variable, y eliminar cualquier gas explosivo o venenoso incluido en la misma. Una pila de antorcha habitualmente incluye tubería vertical relativamente alta, para garantizar que la antorcha se ubica en una posición elevada para evitar gases venenosos altamente concentrados y radiación de calor en el suelo que también proporciona una pequeña huella de instalación. La combustión en una antorcha se realiza a baja presión (atmosférica), y es suficientemente segura para operar en áreas de altas regulaciones de seguridad. La antorcha también tiene una tasa de quema altamente dinámica, que se puede controlar fácilmente desde cero hasta una gran tasa de quema.

A pesar de sus ventajas, una antorcha tiene algunos inconvenientes significativos. Para empezar, no tiene conversión de energía útil, es decir, todo el contenido de energía en el gas residual se consume y se evapora en el entorno. Además, la antorcha abierta provoca ruido y una luz potencialmente perturbadora. Finalmente, la antorcha puede provocar contaminación de partículas en su vecindad cercana, puesto que habitualmente no se proporciona suficiente filtración de partículas antes de la quema en antorcha o es posible implementarlo en la punta de antorcha. También la captura de CO_2 es difícil de implementar en la punta de antorcha.

Se ha hecho mucho esfuerzo en el pasado para recuperar la energía en los gases residuales, principalmente por la reutilización del gas en el proceso industrial en mayor medida.

Además, en plantas grandes, donde hay un suministro grande y constante de gas residual, puede ser posible utilizar este gas para potenciar una turbina a fin de generar potencia eléctrica. La turbina es un sistema técnico complejo que requiere una infraestructura costosa masiva con una gran huella, personal de mantenimiento. A fin de ser rentable, necesita un suministro continuo de gas residual que exceda los 5-10 MW de potencia de turbina de salida para ser rentable. La figura 1 muestra esquemáticamente un sitio industrial 1 donde una central eléctrica de turbina 4 se conecta a una planta de fundición 1. La tripulación permanente del personal se aloja en un edificio 5. La construcción e instalación de la central eléctrica de turbina y el edificio 5 no sería posible dentro del perímetro del sitio 1 sin interrumpir el proceso de fundición durante un tiempo considerable, y la estación de turbina 4 y el edificio 5, por consiguiente, se colocan fuera del perímetro de sitio. El gas residual se conduce a la turbina en una tubería larga 6. Toda la infraestructura de la turbina requiere una planificación detallada y una construcción avanzada. También requiere personal altamente capacitado tanto para la operación como para el mantenimiento.

A menudo, sin embargo, el flujo de gas y su contenido de energía varía significativamente con el paso del tiempo. Hay dos razones para esto:

- En muchos procesos, el flujo másico de gas varía como consecuencia del proceso de reducción en el horno
- La composición del gas, por ejemplo, el contenido de gases combustibles tal como CO y H_2, varía con el paso del tiempo, afectando de esta manera la energía química disponible por unidad de masa de gas.

Adicionalmente, estos factores también implican que la energía disponible por unidad de tiempo puede ser la misma para volúmenes de gas muy diferentes. Este es otro desafío para los sistemas de turbinas.

Además, incluso cuando una estación de turbina se instala exitosamente, aún hay habitualmente una porción final de gas residual que está variando rápidamente, y no se puede absorber por la turbina. De nuevo, esta porción se quemará

habitualmente en una pila de antorcha.

Se han hecho intentos para recuperar también flujos más pequeños y rápidamente variables de gas residual, por ejemplo, en un motor de combustión. Esta solución requiere una huella más pequeña y es rentable a partir de unos pocos cientos de kW y más. Sin embargo, esto es difícil, puesto que hay una variación significativa del contenido de H_2 en el gas residual. Por consiguiente, el encendido no se puede controlar cuando el H_2 se mezcla con oxígeno y se comprime. Además, el gas puede contener contaminaciones, que incluyen partículas que se pueden fundir y pegar al cilindro y las válvulas. Estas contaminaciones requerirán un mantenimiento costoso y, en el peor de los casos, daños permanentes del motor.

Otro desafío es la importancia de la operación fiable del proceso industrial. Incluso una breve interrupción de un proceso industrial como una planta de fundición conduce a la pérdida de valores monetarios significativos. Esto es aún más problemático teniendo en cuenta las características de alto riesgo de la industria. Cualquier construcción de edificios o instalaciones en el sitio requerirá habitualmente cerrar el proceso industrial, haciendo a estas actividades más o menos imposibles, o al menos extremadamente difíciles. Por consiguiente, cualquier sistema conectado a la corriente de gas residual no solo debe ser muy confiable en la operación, sino que también debe ser fácil de instalar y mantener en un entorno con altos estándares de seguridad con respecto a la instalación y personal.

Como se menciona, cada planta que produce gas residual tiene una característica única del flujo de gas en términos de contenido, flujo mediano, flujo mínimo, flujo máximo, varianza de flujo durante el ciclo de producción. Por consiguiente, un sistema de conversión de energía con un beneficio óptimo se debe diseñar de acuerdo con los prerrequisitos locales que incrementan el costo y la complejidad de la planificación y la construcción. El costo y la complejidad incrementados conducen a un retorno negativo de la inversión, especialmente para flujos de energía de gas residual promedio más pequeños, por ejemplo, 10 MW de potencia de salida o menos.

Por consiguiente, existe la necesidad de un proceso de antorcha mejorado que permita la recuperación de energía en gases residuales de procesos industriales.

Divulgación general de la invención

Un objeto de la presente invención es abordar los problemas mencionados anteriormente, y proporcionar un sistema de antorcha mejorado capaz de recuperar energía en gases residuales de procesos industriales, cuyo sistema es capaz de manejar contenido de gas variable y especialmente hidrógeno, es adaptable a la características de flujo de gas local, permite un alto grado de flexibilidad y se puede instalar en una planta industrial arbitraria sin construcción extensa y/o mantenimiento en el sitio.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, este y otros objetos se logran por un sistema de antorcha para la recuperación de energía en un flujo de gas residual generado en un proceso industrial, el sistema que incluye una pila de antorcha conectada al flujo de gas residual y arreglada para realizar una combustión abierta del gas residual, y al menos una unidad de antorcha modular conectada al flujo de gas residual en paralelo con la pila de antorcha, la unidad de antorcha modular que se arregla para recuperar energía en el gas residual. Cada unidad de antorcha modular incluye un bastidor, al menos dos módulos de conversión de energía soportados de manera desprendible por el bastidor, un colector de combustible conectado para recibir el flujo de gas residual, un colector de aire conectado para recibir aire del ambiente, un colector de escape conectado para recibir escape de los módulos de conversión de energía, y un generador eléctrico. Cada módulo de conversión de energía incluye una cámara de combustión que tiene una entrada de combustible que se puede conectar selectivamente al colector de combustible mediante una válvula de combustible, una entrada de aire que se puede conectar selectivamente al colector de aire a través de una válvula de aire, y una salida de escape conectada al colector de escape, la cámara de combustión configurada para recibir un flujo de gas residual a través de la entrada de combustible para la combustión en la cámara a presión atmosférica cercana, y un motor Stirling configurado para convertir el calor de la cámara de combustión en energía mecánica, el motor Stirling que tiene un intercambiador de calor de motor térmico que incluye un conjunto de tubos que conducen un fluido de trabajo comprimible, una porción del intercambiador de calor de motor térmico que se extiende hacia la cámara de combustión, y uno o varios cilindros que tienen cada uno un pistón conectado a un árbol de salida. El generador eléctrico se conecta al árbol de salida y se configura para generar potencia eléctrica a partir de la energía mecánica.

La invención es con base en la realización de que la combustión a, o cerca de, presión atmosférica, evita la mayoría de los inconvenientes con un motor de combustión interna, que convencionalmente se han utilizado para recuperar energía del gas residual. Una máquina capaz de convertir la energía térmica de la combustión de baja presión es el motor Stirling. Un motor Stirling es un motor de combustión externa, es decir, un motor que utiliza un medio de transporte de calor para convertir el calor de un proceso de combustión de baja presión en energía mecánica (de rotación). Por consiguiente, un intercambiador de calor de un motor Stirling, que incluye un conjunto de tubos para portar un fluido de trabajo, por ejemplo, gas hidrógeno, se puede extender hacia una cámara de combustión, donde el gas residual de una planta industrial se suministra y se combustiona. La combustión en el motor Stirling es similar a esa de una pila de antorcha, es decir, la combustión a (o cerca de) la presión atmosférica. Como tal, puede manejar de manera segura el gas contaminado y los niveles variables de H_2.

Sin embargo, un motor Stirling es una máquina compleja y costosa. Los motores Stirling convencionales son demasiado

pequeños para ser pertinentes en el contexto de un proceso industrial como una planta de fundición. Y diseñar un motor Stirling significativamente más grande y una potencia de salida arbitraria de acuerdo con los prerrequisitos locales sería difícil y costoso. Además, aunque en general es una máquina muy fiable, un motor Stirling inevitablemente requerirá mantenimiento en algún punto que será menos eficiente y más costoso con muchas variantes de motores.

La solicitud europea (no publicada) EP 18214336,2 (publicada como EP3835568) divulga un sistema de varios motores Stirling que se pueden utilizar para recuperar energía en gases residuales. De acuerdo con la presente invención, este sistema de motores Stirling se utiliza como una unidad de antorcha modular, arreglada en paralelo con una pila de antorcha convencional. El resultado es una conversión segura y eficiente de los gases residuales que se pueden instalar rápidamente (es decir, durante una interrupción programada de producción) y sin construcción sustancial. En principio, se trata simplemente de interrumpir brevemente el flujo de gas a la pila de antorcha a fin de insertar una válvula de flujo que puede dirigir una porción del flujo a una o varias unidades de antorcha modulares.

Al depender de una pluralidad de módulos de conversión de energía más pequeños (motores Stirling), se incrementa la fiabilidad general. Además, como los módulos de conversión de energía se soportan de manera desprendible, y se pueden desconectar rápidamente del flujo de gas residual con la válvula de entrada, cada módulo se puede desconectar individualmente, se puede remover del sistema, por ejemplo, para reparación o mantenimiento. Durante esta reparación o mantenimiento de un módulo, se puede conectar un módulo de reemplazo. Esto es beneficioso, puesto que no requiere la presencia permanente del personal operativo. El servicio y mantenimiento de cada unidad se puede realizar fuera del sitio, evitando interrupciones de proceso largas, así como riesgos y costos adicionales de construcción de un taller en un entorno peligroso. Esto a su vez significa que la unidad de antorcha se puede colocar en el sitio, también en un entorno peligroso, evitando de esta manera la necesidad de transporte de tuberías largas de gas residual.

En algunos sitios, el reemplazo de un módulo individual será posible durante la operación normal, en tanto que otros sitios tienen estándares de seguridad estrictos que impiden que las personas entren en el área de la unidad de antorcha, excepto a intervalos de servicio cronometrados.

Un sitio de industria puede instalar una cantidad adecuada de unidades de antorcha idénticas, conectadas en paralelo o en serie de acuerdo con los prerrequisitos de flujo de gas local, lo que da por resultado un diseño altamente flexible y optimizado en costos. Cada unidad de antorcha puede tener un número preestablecido de módulos de conversión de energía y, por consiguiente, una potencia preestablecida. Como ejemplo (no limitante), una unidad de antorcha puede comprender 14 módulos y tener una potencia de salida total de alrededor de 400 kW.

Entonces se puede combinar un número adecuado de unidades de antorcha, cada una con una capacidad determinada (por ejemplo, del orden de 100 kW, tal como 400 kW mencionados anteriormente) para diseñar un sistema de antorcha 10 con la capacidad apropiada. Debido al diseño modular, las economías de escala harán bajar el costo unitario. El costo unitario disminuido tendrá un impacto significativo en el retorno de la inversión también para las aplicaciones que requieren relativamente pocas unidades de antorcha. Además, la distribución, la instalación, el mantenimiento y el soporte serán más o menos idénticos independientemente del número de unidades, lo que también conducirá a un caso comercial mejorado también por los niveles relativamente bajos de contenido de energía. Se observa que los sistemas convencionales para la recuperación de energía en el gas residual habitualmente son de gran escala y tienen inversiones umbral significativas, y por consiguiente, son difíciles de obtener rentable (o incluso para alcanzar el punto de equilibrio) para un contenido de energía relativamente pequeño (por ejemplo, menos de 10 MW). El enfoque modular de la presente invención proporciona una alternativa económicamente viable también para estos casos.

Cuando el contenido de energía en el flujo de gas residual está fluctuando, un enfoque razonable puede ser instalar una cantidad de unidades de antorcha tal que la unidad final (marginal) alcance una relación de utilización suficiente para motivar su inversión. Como ejemplo, este umbral puede, por ejemplo, ser de al menos 80% desde un punto de vista de la inversión solo, además de las consideraciones ambientales. Durante los períodos en que la salida de gas residual es mayor que el número total de unidades de antorcha instaladas puede absorber, el excedente se puede quemar en antorcha en la pila de antorcha.

Además, una unidad de antorcha modular que comprende varios motores Stirling (módulos) se puede controlar de manera dinámica para manejar flujos de gas que varían rápidamente. En principio, uno o varios motores Stirling individuales se pueden apagar instantáneamente y sin aviso utilizando la válvula de entrada. Por consiguiente, en una unidad, que comprende varios motores Stirling, la capacidad de absorber un flujo de gas será significativa. Por consiguiente, se puede lograr un alto grado de conversión de energía a partir del flujo fluctuante de gas residual.

Una unidad de antorcha modular de acuerdo con la invención se puede utilizar como el sistema de conversión de potencia individual, pero se puede utilizar alternativamente en combinación con una central eléctrica a gran escala como una turbina para extender la tasa de conversión de potencia. Sin embargo, es importante indicar que un sistema de conversión de energía de acuerdo con la invención es principalmente más similar a un proceso de antorcha que a una estación de turbina. La combustión no sólo tiene lugar a baja presión (atmosférica), sino que la capacidad también es ajustable dinámicamente en un período de tiempo corto en condiciones muy seguras, similar a una antorcha y a largo plazo al proporcionar un sistema de construcción flexible de acuerdo con los prerrequisitos locales en términos de flujo de gas como se analiza anteriormente.

Además, en comparación a una estación de turbina, u otras centrales eléctricas de gran escala, una unidad de antorcha modular "construida estándar" de acuerdo con la presente invención es económica, y se puede motivar por un suministro relativamente pequeño de gas residual. Por consiguiente, se puede utilizar para convertir la energía del flujo fluctuante de gas demasiado pequeño para potenciar una turbina o sistema de potencia equivalente.

La pila de antorcha puede ser una antorcha elevada (por ejemplo, como se muestra en la figura 1) o una antorcha de tierra (es decir, quema en antorcha más cerca del suelo). Una pila elevada tiene la ventaja de que las emisiones y la radiación se ubican a una distancia del personal en el suelo. Una antorcha de tierra, por otra parte, puede ser menos costosa de poner en su lugar. A fin de impedir el acceso a la antorcha, y también para reducir la radiación y la contaminación de sonido/lumínica en su proximidad, una antorcha de tierra se puede encerrar por paredes adecuadas.

Se observa que el concepto inventivo de hecho no se limita necesariamente a incluir una pila de antorcha en absoluto. Por ejemplo, en una situación donde un sitio industrial ya está equipado con una pila de antorcha, un sistema de antorcha de acuerdo con la presente invención sólo puede incluir las unidades de antorcha y aún proporcionar las ventajas mencionadas anteriormente.

En una realización, cada módulo de conversión de energía comprende un generador eléctrico individual. Esto facilita además la desconexión de un módulo de conversión de energía, puesto que todas las conexiones mecánicas entre el motor Stirling y el generador se contienen en el módulo.

Cada módulo de conversión de energía es preferentemente un módulo "estándar" (de un tamaño), es decir, todos los módulos se fabrican para ser idénticos en diseño y función. Estos módulos estandarizados reducirán los costos de fabricación (economía de escala) y también reducirán los costos de instalación, mantenimiento, partes de repuesto, capacitación, etc. Preferentemente, también cada unidad de antorcha se estandariza, para incrementar aún adicionalmente las economías de escala.

La unidad de antorcha se puede preconstruir en un contenedor intermodal estandarizado, facilitando de esta manera el transporte y la instalación.

Breve descripción de las figuras

La presente invención se describirá en más detalle con referencia a las figuras anexas, que muestran realizaciones actualmente preferidas de la invención.

La figura 1 muestra una vista esquemática de un sitio industrial tal como una planta de fundición, que incluye varias unidades de antorcha modulares de acuerdo con la presente invención.
Las figuras 2a y 2b son diagramas que muestran ejemplos de contenido de energía fluctuante en el flujo de gas residual de la planta de fundición en la figura 1.
La figura 3 muestra con mayor detalle una de las unidades de antorcha modular en la figura 1 de acuerdo con una realización de la invención.
La figura 4a es un diagrama de bloques esquemático de uno de los módulos de conversión de energía en la figura 3.
La figura 4b es una vista en perspectiva esquemática de uno de los módulos de conversión de energía en la figura 3.
La figura 5a muestra una vista en perspectiva de algunas partes de un módulo de conversión de energía de ejemplo como se muestra en la figura 4b.
La figura 5b muestra un circuito de fluido de trabajo del motor Stirling en la figura 5a.

Descripción detallada de realizaciones preferidas

Las realizaciones de la presente invención ahora se describirán con referencia a un sitio industrial 1 donde se opera una planta de fundición 2. La planta de fundición recibe mena de metal 3, y produce diferentes tipos de metal. Como subproducto de este proceso está un flujo de gas residual, que incluye una mezcla de compuestos gaseosos, que incluyen H_2, CO y también diversas partículas. Puesto que puede contener gases tóxicos (tal como CO), este gas se debe manejar cuidadosamente, y no se debe emitir hacia el entorno ambiente.

Como un ejemplo, el sistema de antorcha de acuerdo con la invención puede ser útil para gases residuales que contienen CO, H_2 y varios gases de C_xH_y. Los gases residuales de esta clase se forman habitualmente durante la producción de ferroaleaciones. Además del gas residual de la producción de ferroaleación, el sistema de antorcha descrito en la presente también podría ser útil para gas de oxígeno combinado (COG), gas de alto horno (BFG) y gas de horno de oxígeno básico (BOFG).

La tabla 1 a continuación (publicada en el artículo "Burners in the steel industry: utilization of subproduct combustion gas in reheating furnaces and annealing lines", por Sebastian Caillat, Energy Procedia, Volumen 120, agosto 2017, páginas 20-27) proporciona composiciones de gas habituales para tres procesos diferentes de la industria de metal, Gas de oxígeno combinado (COG), Gas de horno Gas de alto horno (BFG) y Gas de horno de oxígeno básico (BOFG).

Tabla 1. Composición y características habituales de gases en las acerías [2], [5], [6], [8].

Elemento/Parámetro	Unidad	COG	BFG	BOFG
H_2	% en vol.	36,1-61,7	1- 8	2-10
0,1-0,3	% en vol.	3,4-5,8	19- 27	55 -80
CH_4	% en vol.	15,7- 27	-	-
C_xH_y	% en vol.	1,4-2,4	-	-
CO_2	% en vol.	1 – 5,4	16- 26	10-18
N_2 + Ar	% en vol.	1,5 - 6	44- 58	8-26
Bajo valor de calentamiento	MJ/Nm^3	9 - 19	2,6 – 4,0	7,1 – 10,1
Densidad	kg/Nm^3	0,45 – 0,65	~ 1,3	1,32 – 1,38
Demanda específica de aire	Nm^3/Nm^3	4,2 – 4,9	0,5 – 0,8	1,34-1,90
Temperatura adiabática de llama	°C	~ 2000	~ 1400	~2000

Algunos gases residuales (por ejemplo, COG) se pueden reutilizar en gran medida dentro del proceso industrial (por ejemplo, fundición). También BOFG y BFG se reutilizan (secado) dentro del proceso de la industria de metal, pero hay un excedente significativo que habitualmente se quema en una pila de antorcha. Por consiguiente, el sitio 1 en la figura 1 incluye una pila de antorcha 7, donde el gas residual se puede quemar, eliminando de esta manera efectivamente los gases tóxicos como CO. La pila se proporciona con gas residual a través de la tubería 8, canalizando todo el gas que no se reutiliza en la planta o se recupera de otra manera.

Como se analiza anteriormente, hay varias razones para quemar en antorcha el gas excedente, que incluyen:

- Seguridad
- Cantidades relativamente pequeñas que no son rentables para distribuir o alimentar una turbina u otra planta de potencia de gran escala
- Flujo fluctuante, que requiere un proceso de combustión dinámica
- El contenido alto y fluctuante de hidrógeno e impurezas que impiden el uso de motores de combustión interna para la producción de potencia.

Volviendo al ejemplo de la figura 1, hay un flujo relativamente grande de gas residual con contenido de energía fluctuante, como se ilustra en la figura 2.

A fin de evitar quemar en antorcha las cantidades bastante grandes de energía en el gas residual, un sistema de antorcha adicional 10 se conecta en paralelo con la pila de antorcha 7, a una ramificación 9 de la tubería 8.

El sistema de antorcha adicional 10 es modular, e incluye varias unidades construidas estándar 30 optimizadas para el suministro de gas local (ver la figura 3), cada unidad incluye varios, preferentemente más de 10, módulos de conversión de energía 40 con un motor Stirling (ver la figura 4). La cantidad de módulos 40 en cada unidad 30 puede variar de acuerdo con la elección de diseño, pero habitualmente dos filas de módulos (una fila superior y una fila inferior) son adecuadas, lo que conduce a una cantidad uniforme de módulos. Una unidad de acondicionamiento de gas 11 se arregla a lo largo de la tubería 9, y se configura para preacondicionar el gas residual. El preacondicionamiento puede implicar precalentar el gas residual a una temperatura adecuada para la combustión en el sistema de antorcha 10. Además, la unidad de preacondicionamiento 11 puede incluir un filtro, por ejemplo, un "depurador", para remover las partículas presentes en el gas residual. Como un ejemplo, el gas residual de la planta de fundición puede contener 50 mg/Nm^3, que se reduce preferentemente a alrededor de 2,5 mg/Nm^3 por el depurador. También puede ser apropiado deshumidificar el gas residual, es decir, remover el vapor de agua presente en el gas. Como un ejemplo, la humedad se puede hacer bajar a 80% o menos. Finalmente, la unidad de acondicionamiento puede presurizar el gas en una medida en que se fuerza al sistema de antorcha 10. Alternativamente, el sistema de antorcha 10 puede comprender uno o varios ventiladores para crear una subpresión que succiona el residuo al sistema de antorcha 10.

La figura 3 muestra una de las unidades 30 en más detalle. En el caso ilustrado, cada unidad 11 incluye catorce módulos de conversión de energía 40, cada uno que se arregla de manera liberable en un bastidor 31, por ejemplo, formado por un contenedor de carga intermodal de tamaño estándar. En el caso ilustrado, el bastidor 31 tiene un número predefinido de compartimentos 32, cada uno de los cuales se configura para recibir un módulo de conversión de energía 40. La bahía se proporciona con un dispositivo de fijación mecánica adecuado, para asegurar el módulo 40 en el compartimento 32. Aunque no se ilustra en la figura 3, cada compartimento 32 también se puede cerrar por una tapa o escotilla, para impedir el acceso a los módulos 40.

Cada módulo 40 de conversión de energía incluye un motor Stirling 41 y una cámara de combustión 42, como se mostrará más claramente en las figuras 4a y 4b. Como un ejemplo, cada motor Stirling puede tener una potencia de salida de 30 kW, en cuyo caso la unidad 30 (que aquí tiene 14 módulos) tiene una potencia de salida de alrededor de 400 kW. En la figura 1 hay seis unidades de antorcha 30, por consiguiente, una energía total que convierte la potencia de salida de alrededor de 2,4 MW.

Esto se indica en la figura 2a como seis "segmentos" de 400 kW 21. El sistema de antorcha modular 10 se ha adaptado

al flujo promedio esperado de gas residual de esta planta particular. Como es claro a partir de la figura 2, las tres primeras unidades de antorcha (los tres segmentos menores 21) operarán 24/7, puesto que el contenido de energía siempre excede 1,2 MW. Las siguientes dos unidades operarán casi siempre, sólo se interrumpirán brevemente durante los períodos 22 cuando el contenido de energía del gas residual sea menor que el promedio. Y la unidad final (segmento más superior 21a) operará al menos 80% del tiempo (es decir, 80% de relación de utilización), proporcionando una capacidad de conversión de energía máxima de 2,4 MW. El umbral para cuándo se debe adicionar una unidad de antorcha adicional al sistema, es decir, a qué tasa de utilización esperada, se determinará por factores tal como: precios locales de energía, potencia de salida disponible de la red eléctrica, contenido de energía del gas residual, programación de mantenimiento, eficiencia del motor Stirling (debido, por ejemplo, a la altura por encima del nivel del mar), requisitos en el medio ambiente local, gastos de capital y el costo de capital, etc. Durante los períodos 23 cuando el flujo excede este nivel, se utilizará la pila de antorcha convencional para quemar el exceso de gas residual. Durante los períodos 22 cuando el flujo es bajo, una unidad específica se podría apagar para el mantenimiento y/o reemplazo de módulos de antorcha.

Se observa que puede ser beneficioso incluir también un almacenamiento de gas intermedio 12 conectado a la tubería 9, a fin de permitir el almacenamiento del gas residual excedente durante los períodos donde el contenido de energía de gas excede la capacidad del sistema de antorcha 10. Este almacenamiento intermedio de gas puede ser un factor importante cuando se planifica el sistema de conversión de energía. El almacenamiento intermedio 12 podría estar presente dentro de la instalación industrial (como se muestra en la figura 1) o se podría construir junto con el sistema de antorcha de acuerdo con los prerrequisitos locales. El almacenamiento intermedio puede ser útil específicamente para variar rápidamente el contenido de energía, como se ilustra en la figura 2b. Aquí, el flujo de gas tiene picos de energía periódicos que corresponden a la capacidad de dos unidades de antorcha. En estas circunstancias, puede no ser posible motivar económicamente una unidad de antorcha adicional. Sin embargo, al introducir un almacenamiento de gas intermedio 12, puede ser posible operar una unidad de antorcha adicional casi continuamente (segmento 21b en la figura 2b). El flujo de gas que varía rápidamente requiere una capacidad de almacenamiento intermedio más pequeña en comparación a las variaciones lentas.

La unidad 30 se conecta a la tubería 9 (ver la figura 1) e incluye un colector 33 que conecta el flujo de gas residual a cada cámara de combustión 42, donde se puede combustionar a presión casi atmosférica. Habitualmente, la presión en la cámara de combustión 42 es ligeramente mayor que la presión atmosférica, por ejemplo, 0-500 mbar mayor, preferentemente 50-100 mbar mayor. Cada ramificación del colector 33 se proporciona con una válvula de ACTIVADO/DESACTIVADO 34, para permitir la desconexión de cada módulo 40 del flujo de gas residual.

Se conecta un segundo colector 35 para proporcionar aire del ambiente a los módulos 40. Un ventilador 36 fuerza el aire ambiente hacia el colector 35. Cada ramificación de este colector 35 también se proporciona con algunos medios para interrumpir el flujo, por ejemplo, una válvula 37. De manera alternativa, cada módulo 40 se puede proporcionar con un ventilador individual para el aire entrante, en cuyo caso el flujo de aire entrante se puede interrumpir al apagar el ventilador.

Un tercer colector 38 se conecta para recibir el escape de los módulos 40. Un ventilador 39 se arregla para forzar el escape a través del colector 38. Opcionalmente, una unidad de filtración 50 se puede arreglar en el extremo del colector de escape 38 para proporcionar filtración de partículas adicional y/o captura de CO_2 de los gases de escape. Esto puede ser especialmente ventajoso si se propone la recuperación adicional de la energía térmica de los gases de escape. Se observa que los gases de escape (incluso después de enfriarse en los intercambiadores de calor 44 y 45, ver más adelante) pueden contener cantidades significativas de energía térmica, que se pueden recuperar.

Aunque los tres colectores 33, 35 y 38 se ilustran como se arreglan fuera del bastidor 31, uno o varios de los colectores se pueden arreglar alternativamente dentro del bastidor. Por ejemplo, los colectores de combustible y aire 33, 35 se pueden arreglar dentro del bastidor 31, en tanto que el colector de escape 38 se arregla fuera del bastidor 31.

Con referencia a las figuras 4a y 4b, el módulo 40 incluye un motor Stirling 41, una cámara de combustión de baja presión 42, y un intercambiador de calor de motor térmico 43 que se extiende hacia la cámara 42. El módulo comprende además un intercambiador de calor de aire 44 conectado a la válvula de suministro de aire 36. Una entrada de combustible 46 de la cámara de combustión se conecta para recibir gas residual, en tanto que una entrada de aire 47 se conecta para recibir aire del intercambiador de calor de aire 44. Una salida de escape 48 de la cámara de combustión se conecta al intercambiador de calor de aire 44, donde precalienta el aire entrante. El gas residual se puede acondicionar y precalentar en la unidad de acondicionamiento 11. Sin embargo, cada módulo 40 también puede incluir un intercambiador de calor de combustible 45 configurado para calentar el combustible entrante (gas residual) utilizando los escapes. Como se muestra en la figura 4b, se puede conectar corriente abajo del intercambiador de calor de aire. Como resultado de los intercambiadores de calor, la temperatura de los gases de escape combustionados se puede reducir significativamente, y la conversión de energía se puede hacer aún más eficiente.

Se observa que el intercambiador de calor de aire 44 y el intercambiador de calor de combustible 45 se comparten alternativamente por varios (o todos) los módulos de conversión de energía 40 en la unidad 30. Sin embargo, cada módulo 40 se debe proporcionar con válvulas separadas 34 y 36 a fin de permitir la desconexión del módulo 40.

También se muestra en la figura 4b un filtro de aire 36a arreglado antes de la válvula 35 para remover partículas del aire entrante. Este filtro 36a se puede integrar en el ventilador 36, o puede ser individual para cada módulo 40.

El motor Stirling 41 se conecta además a un árbol de salida (no mostrado en las figuras 4a y 4b), y el módulo 40, por consiguiente, se configura para convertir la energía química en el gas residual en energía mecánica (de rotación). El árbol de salida se conecta a su vez a un generador eléctrico 49 para la generación de energía eléctrica. El generador se puede conectar a un almacenamiento de energía local, a la red eléctrica de industria local, o se puede conectar para suministrar potencia a la red eléctrica principal.

En el ejemplo ilustrado, cada módulo 40 incluye un generador separado 49. Sin embargo, también es posible que dos o más módulos 40 se conecten a un generador común. De hecho, todos los módulos 40 de una unidad de antorcha 30 pueden compartir un generador individual.

La figura 5a muestra algunos de los elementos del módulo de conversión de energía 40 en más detalle. En la parte superior de la figura está la cámara de combustión 42 con la entrada de combustible 46, y el intercambiador de calor de motor térmico 43 que se extiende hacia la cámara 42. En la parte inferior de la figura está el motor Stirling 41 que tiene uno o varios cilindros 51, cada uno que tiene un pistón 52 conectado a un árbol de salida 53 por medio de una varilla 54.

Los componentes y principios de trabajo del motor Stirling se conocen en la técnica, y no se describirán en detalle aquí. Sin embargo, en resumen, un motor Stirling mueve un fluido de trabajo (por ejemplo, gas hidrógeno) hacia delante y hacia atrás entre un lado frío y un lado caliente de un cilindro. En el lado caliente, el fluido de trabajo se expande, operando de esta manera el pistón en el cilindro. En su ruta entre el lado frío y el lado caliente, el fluido de trabajo se calienta. Durante la operación del motor Stirling, la presión de fluido de trabajo alterna entre una presión alta (durante la etapa de compresión) y una presión baja (durante la etapa de expansión). Como un ejemplo, la relación de presión puede ser de 1 a 1,6.

En el presente ejemplo, el calentamiento del fluido de trabajo se logra por el intercambiador de calor de motor térmico 43, que comprende un conjunto de tubos 43a que se extienden hacia la cámara de combustión. Conforme el combustible se quema en la cámara de combustión, el fluido de trabajo en el intercambiador de calor se calienta antes de llegar al lado caliente del cilindro.

El motor Stirling 41 ilustrado comprende cuatro cilindros 51, cada uno asociado con una sección del intercambiador de calor 43, como se muestra en la figura 5b. En principio, cada cilindro 51 y parte asociada del intercambiador de calor 43 forman un circuito de fluido de trabajo separado 55. Habitualmente, sin embargo, estos circuitos de fluido se conectan, tal que cada motor Stirling de cuatro cilindros tenga sólo un circuito de fluido de trabajo individual 55.

A fin de desconectar y remover un módulo de conversión de energía 40 de la unidad 30, las válvulas 34 y 37 se cierran, y el módulo se desconecta de los tres colectores 33, 35 y 38. Además, el generador 49 se desconecta del sistema de potencia al que distribuye potencia eléctrica. Después de eso, el módulo 40 se puede remover del marco 31.

En principio, esta desconexión y remoción de un módulo 40 se puede realizar en tanto que otros motores Stirling en la unidad 30 aún están operando. Sin embargo, por razones de seguridad, la desconexión y remoción de un módulo se realiza habitualmente durante una interrupción (corta) del proceso industrial.

Como se menciona anteriormente, la unidad 30 se puede operar entonces con un módulo 40 menos, o alternativamente el módulo 40 se reemplaza por otro módulo 40 antes de que se reanude la operación.

La persona experta en la técnica se da cuenta de que la presente invención de ninguna manera se limita a las realizaciones preferidas descritas anteriormente. Por el contrario, muchas modificaciones y variaciones son posibles dentro del alcance de las reivindicaciones anexas. Por ejemplo, el número de cilindros en cada motor Stirling puede ser distinto de cuatro. Además, el número de módulos de conversión de energía en cada unidad (contenedor) puede ser más pequeño que, o mayor que 14 (aunque preferentemente es un número par por razones de simetría). Lo más probable es que una unidad (contenedor) contenga al menos diez módulos.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de antorcha para la recuperación de energía en un flujo de gas residual generado en un proceso industrial, el sistema que incluye:

una pila de antorcha (7), conectada al flujo de gas residual y arreglada para realizar la combustión abierta del gas residual, y
al menos una unidad de antorcha modular (10) conectada al flujo de gas residual en paralelo con la pila de antorcha, la unidad de antorcha modular que se arregla para recuperar energía en el gas residual, cada unidad de antorcha modular (30) que incluye:

un bastidor (31);
al menos dos módulos de conversión de energía (40) soportados de manera desprendible por el bastidor;
un colector de combustible (33) conectado para recibir el flujo de gas residual;
un colector de aire (35) conectado para recibir aire del ambiente;
un colector de escape (38) conectado para recibir el escape de los módulos de conversión de energía (40); y un generador eléctrico (49),

cada módulo de conversión de energía (40), que incluye:

una cámara de combustión (42) que tiene una entrada de combustible (46) que se puede conectar selectivamente al colector de combustible (33) mediante una válvula de combustible (34), una entrada de aire (47) que se puede conectar selectivamente al colector de aire (35) mediante una válvula de aire (37), y una salida de escape (48) conectada al colector de escape (38), la cámara de combustión (42) configurada para recibir un flujo de gas residual a través de la entrada de combustible (46) para la combustión en la cámara a una presión atmosférica cercana, y
un motor Stirling (41) configurado para convertir el calor de la cámara de combustión (42) en energía mecánica, el motor Stirling (41) que tiene un intercambiador de calor de motor térmico (43) que incluye un conjunto de tubos (43a) que conducen un fluido de trabajo comprimible, una porción del intercambiador de calor de motor térmico (43) que se extiende hacia la cámara de combustión (2), y uno o varios cilindros (51) que tienen cada uno un pistón (52) conectado a un árbol de salida (53),

donde el generador eléctrico (49) se conecta al árbol de salida (53) y se configura para generar potencia eléctrica a partir de la energía mecánica.

2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, donde la pila de antorcha es una pila de antorcha elevada o una pila de antorcha de tierra.

3. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, donde cada módulo de conversión de energía (40) comprende un generador eléctrico (49).

4. El sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde cada módulo de conversión de energía (40) comprende además un intercambiador de calor de aire (44) configurado para precalentar el aire entrante utilizando los escapes de la salida de escape (48) y/o un intercambiador de calor de combustible (45) configurado para precalentar el combustible entrante utilizando los escapes de la salida de escape (48).

5. El sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una unidad de acondicionamiento de gas (11) arreglada corriente arriba de la unidad de antorcha modular (30).

6. El sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una unidad de almacenamiento de gas (12) arreglada corriente arriba de la unidad de antorcha modular (30).

7. El sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde la unidad de antorcha modular (30) comprende además al menos un filtro de aire (36a), conectado para remover partículas del aire suministrado a cada entrada de aire (47).

8. El sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde cada motor Stirling (41) tiene una pluralidad, preferentemente cuatro cilindros (51).

9. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde cada motor Stirling (41) tiene capacidad de potencia igual.

10. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde cada módulo de conversión de energía (40) tiene un diseño físico y funcional sustancialmente igual.

11. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un ventilador de aire (36) arreglado para forzar el aire ambiente en el colector de aire (35).

12. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un ventilador de escape (39) arreglado para forzar los escapes fuera del colector de escape (38).

13. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una unidad de captura de CO_2 (50) arreglada en el colector de escape (38).

14. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la unidad de antorcha modular (30) se aloja en un contenedor intermodal.

15. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde una presión en cada cámara de combustión es 0-500 mbar mayor que la presión atmosférica, y preferentemente 50-100 mbar mayor que la presión atmosférica.

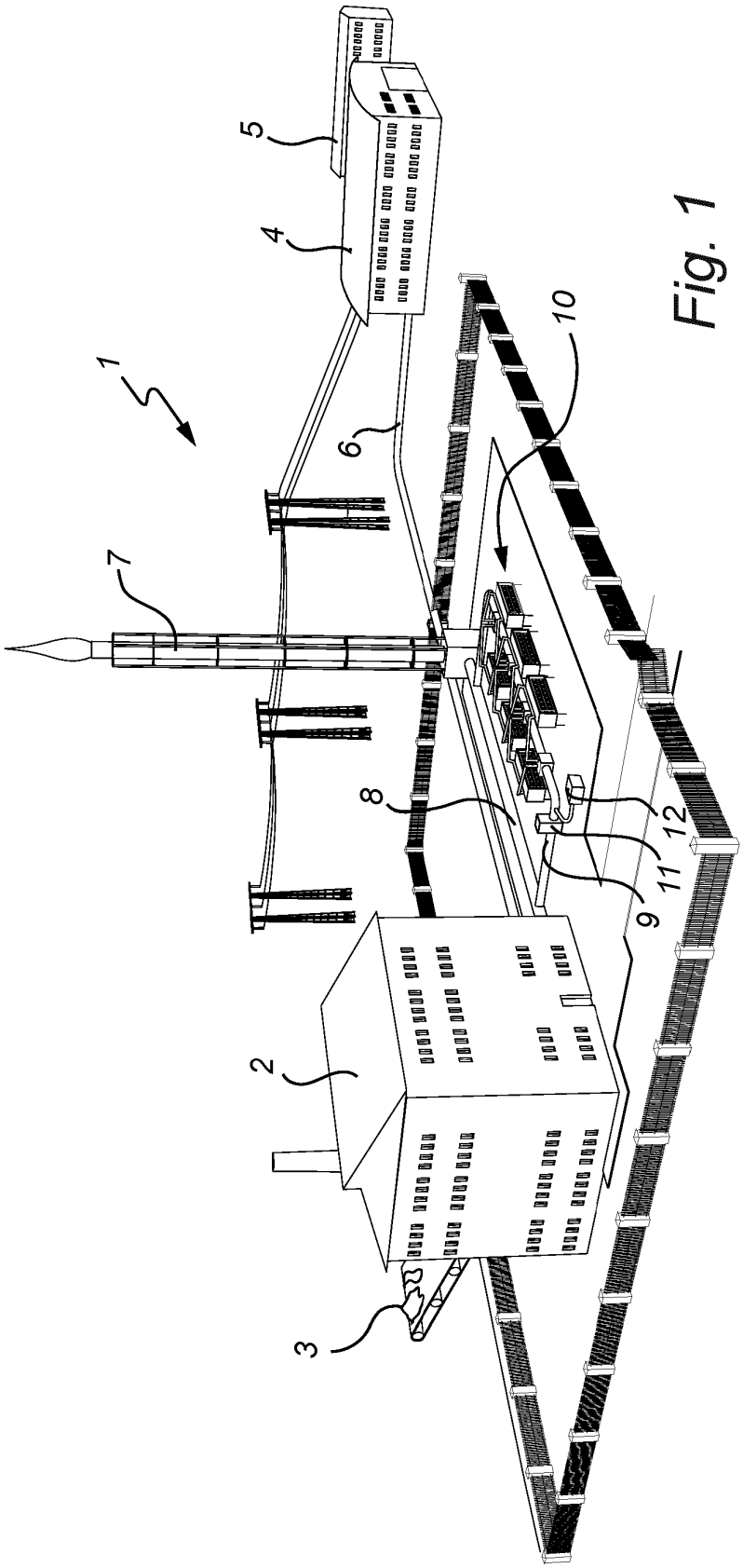

Fig. 1

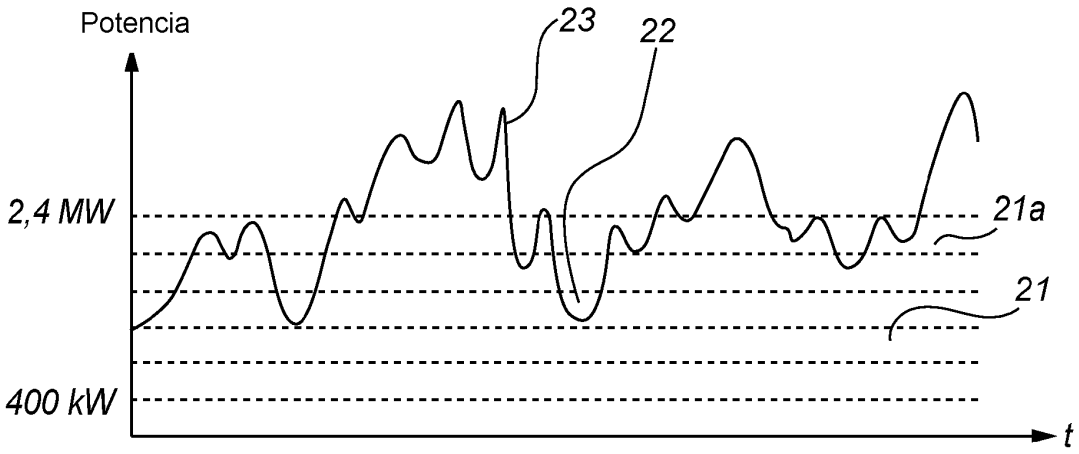

Fig. 2a

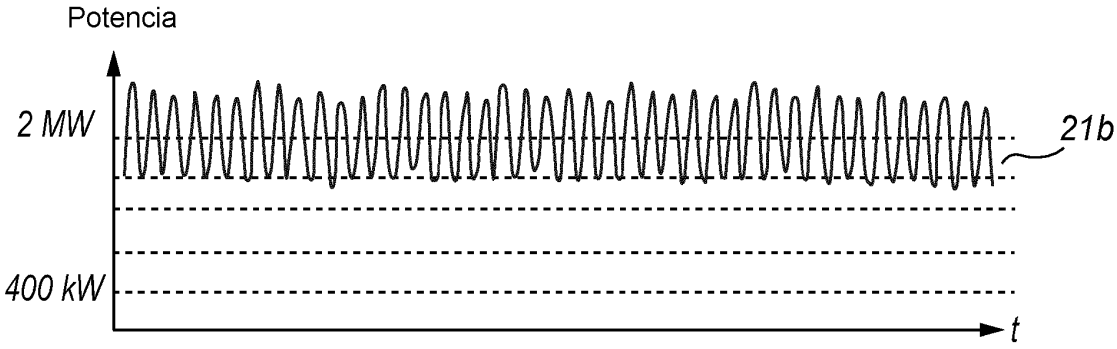

Fig. 2b

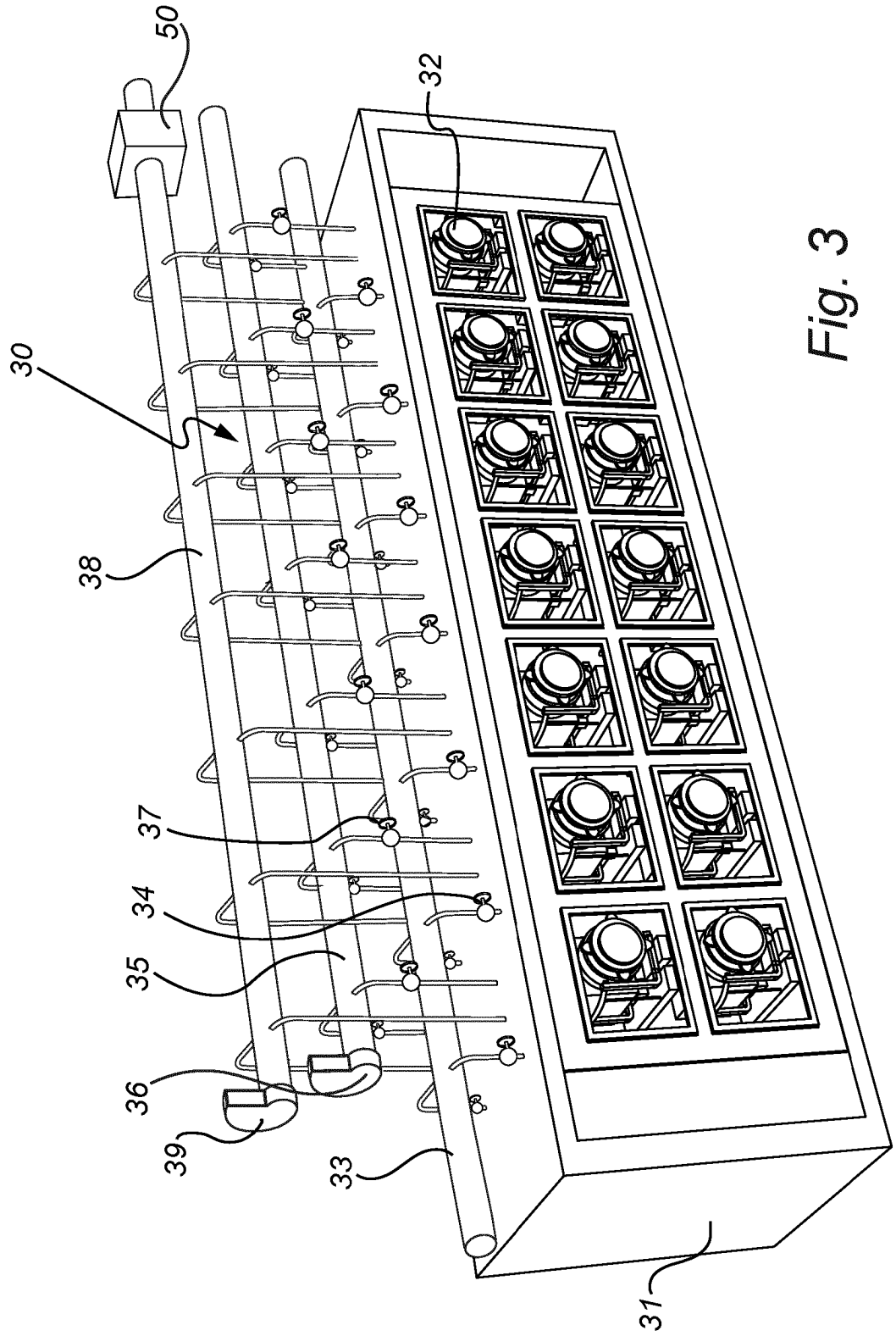

Fig. 3

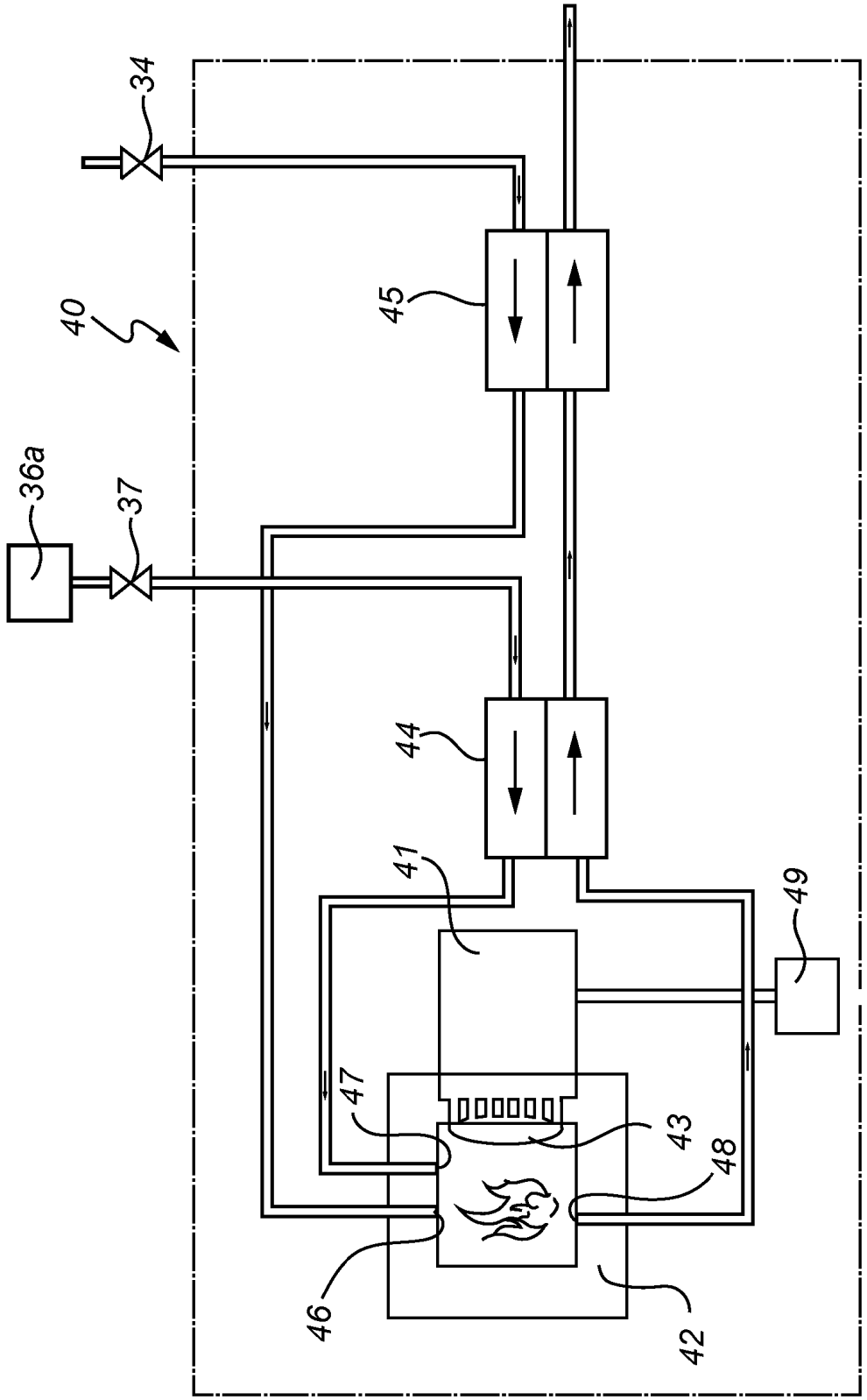

Fig. 4a

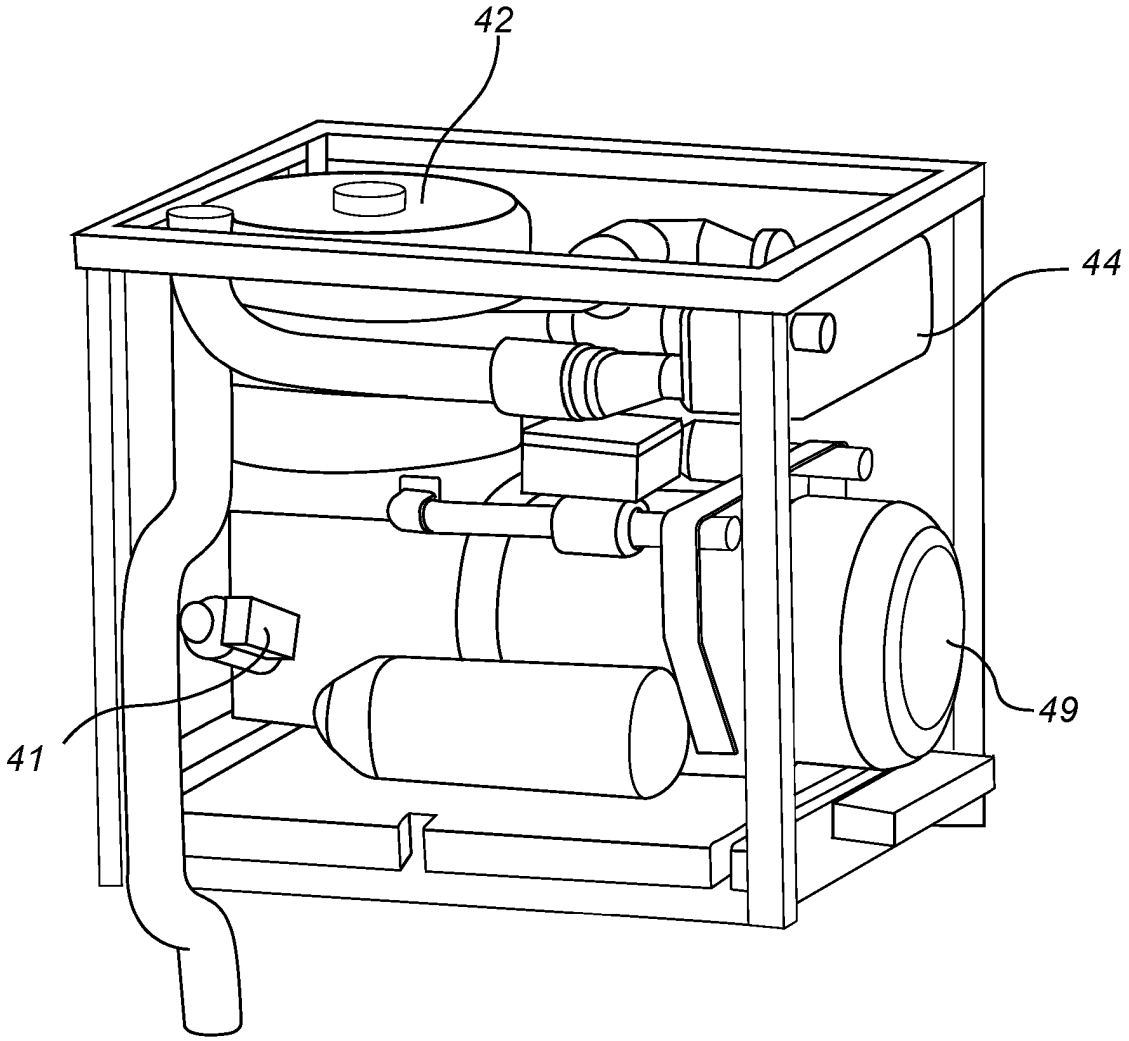

Fig. 4b

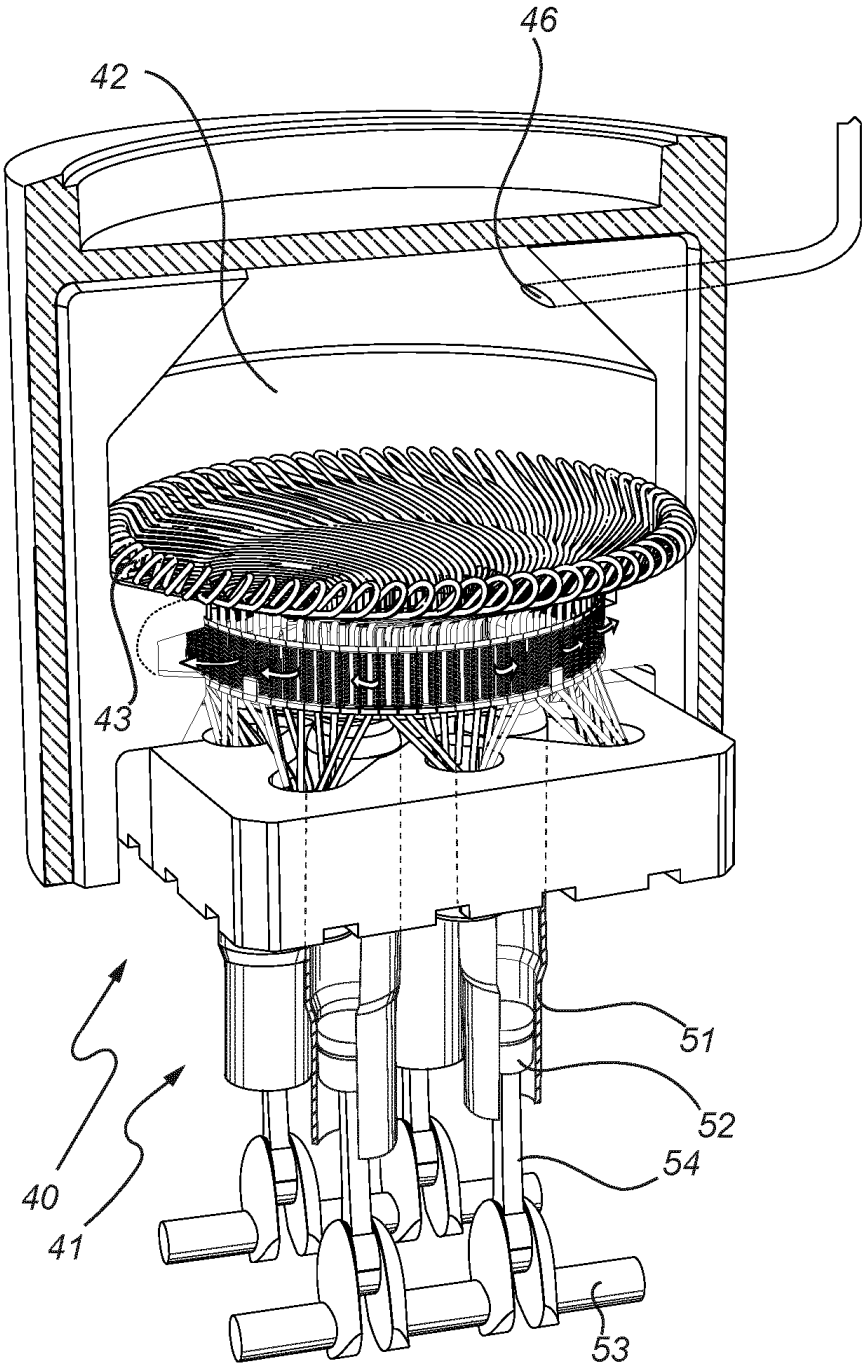

Fig. 5a

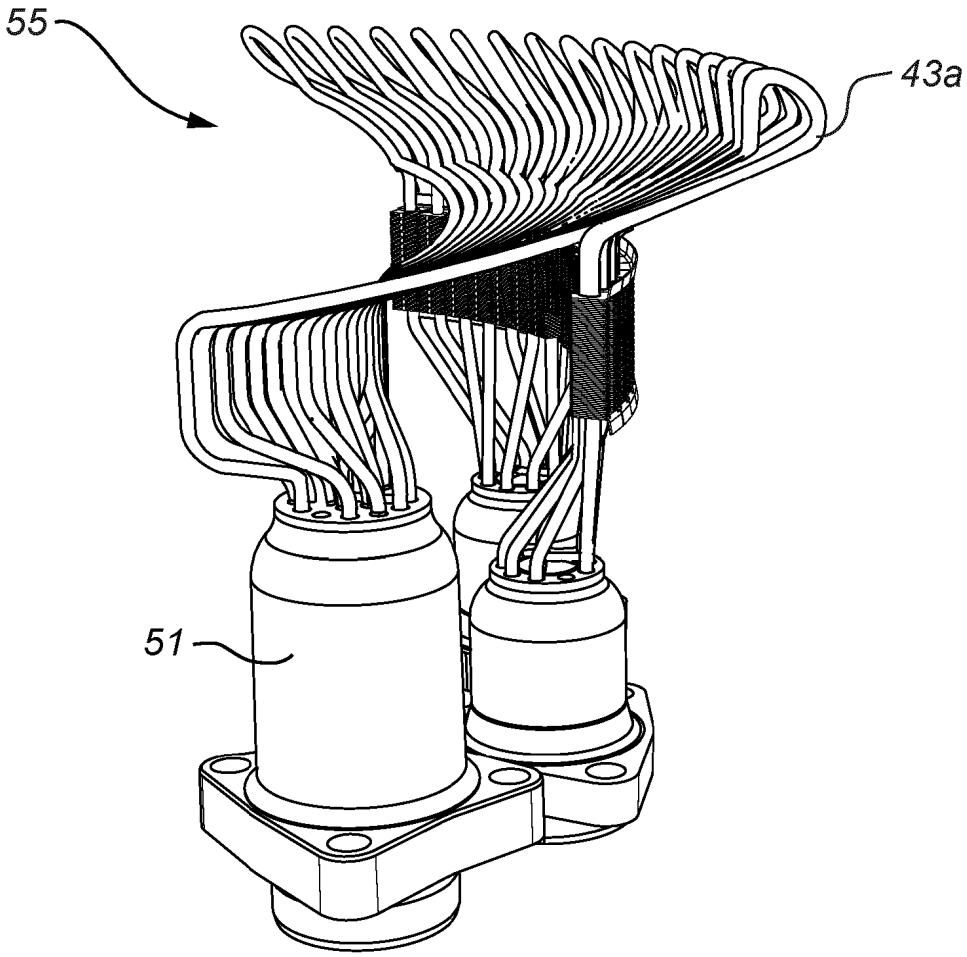

Fig. 5b