

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 701 246**

51 Int. Cl.:

C03B 5/237 (2006.01)
C03B 5/235 (2006.01)
F27B 3/26 (2006.01)
F27D 17/00 (2006.01)
F23L 15/04 (2006.01)
F28D 21/00 (2006.01)
F23L 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2015** **E 15830980 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2018** **EP 3237344**

54 Título: **Proceso con uso eficiente de energía e instalación para fundir materia vitrificable en un horno de fundición a llama directa**

30 Prioridad:

22.12.2014 EP 14307143
22.12.2014 EP 14307144

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.02.2019

73 Titular/es:

**L'AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS
GEORGES CLAUDE (100.0%)
75 Quai d'Orsay
75007 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**JARRY, LUC;
JOUANI, YOUSSEF;
LEROUX, BERTRAND;
TSIAVA, RÉMI;
WAGNER, MARC y
BEASSE, GRÉGOIRE**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 701 246 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

Proceso con uso eficiente de energía e instalación para fundir materia vitrificable en un horno de fundición a llama directa.

5 La presente invención se refiere a procesos e instalaciones para fundir materia vitrificable en un horno de fundición a llama directa tales como, en particular, un horno de fundición de vidrio en el que se utiliza el calor evacuado del horno y el gas de combustión para calentar el horno.

Tradicionalmente, los hornos de fundición a llama directa para fundir materia vitrificable utilizan el aire como oxidante de combustión, por lo que dicho aire se puede precalentar más arriba en la vía de alimentación del horno por intercambio de calor con el gas de combustión del horno en un regenerador o un recuperador.

10 Más recientemente, se ha mejorado la eficiencia de los hornos para fundir materia vitrificable al sustituir de forma parcial o completa la combustión de aire con aire enriquecido de oxígeno u oxígeno.

15 Para reducir los costes de producción del vidrio fundido en hornos de fundición de vidrio que utilizan aire enriquecido con oxígeno u oxígeno como oxidante de combustión, las solicitudes internacionales US-A-6071116 y US-B-6250916 han propuesto entre otras utilizar el calor residual contenido en el gas de combustión del horno de fundición de vidrio para calentar el horno al precalentar el aire enriquecido de oxígeno u oxígeno con dicho calor residual antes de introducir el oxidante de combustión precalentado en el horno de fundición de vidrio. Al comienzo del proceso de recuperación de calor, normalmente la temperatura del gas de combustión es entre 1100°C y 1650°C.

Al final del proceso de recuperación de calor, la temperatura del oxidante rico en oxígeno puede tener entre 300°C y 650°C.

20 Por cuestiones de seguridad y fiabilidad, la energía térmica no se transmite directamente desde el gas de combustión caliente al oxidante, como es el caso en los recuperadores de aire de combustión, si no que se transmite desde el gas de combustión caliente al oxidante de combustión rico en oxígeno por medio de un fluido de transferencia calorífica, tal como el aire, lo que asegura que no pueda haber contacto directo entre el gas de combustión caliente y el oxidante rico en oxígeno que es muy reactivo, incluso en el caso de una posible erosión o corrosión del equipamiento de intercambio de calor en contacto con el gas de combustión cargado de partículas y el oxidante rico en oxígeno corrosivo (y caliente).

25 La cantidad de calor residual del gas de combustión que se puede reutilizar de esta manera en el horno se ve limitada por la temperatura a la que el oxidante rico en oxígeno se puede precalentar de forma segura y, cuando también se precalienta el combustible en el proceso de recuperación de calor, por la temperatura a la que el combustible se puede precalentar de forma segura sin que se produzca deterioro (por ejemplo, agrietamiento).

30 La solicitud internacional US-A-2009/0308073 describe un método alternativo para reducir los costes operacionales de los procesos industriales en los que se utiliza la combustión con oxígeno enriquecido, tales como la producción de cemento, aplicaciones de recalentamiento de acero, producción de vidrio, fundición de aluminio y cobre, y cualquier proceso industrial que utilice hornos de fundición o calentadores a llama directa en los que el calor residual generado por el proceso industrial se envía como una fuente de calor a un ciclo de Rankine alternativo que convierte dicho calor residual en energía que luego se exporta a un sistema eléctrico, o que se utiliza para reducir los requerimientos energéticos de la instalación misma.

Se puede utilizar un fluido intermedio tal como un aceite térmico, aire o agua presurizada para transferir calor recuperable de la fuente de calor al fluido de trabajo del ciclo de Rankine alternativo.

40 Según la solicitud internacional US-A-2009/0308073, la fuente de calor puede ser un líquido o una corriente de gas producida ya sea como un gas de combustión o como consecuencia directa de la combustión enriquecida con oxígeno o con cualquier corriente utilizada para la refrigeración dentro del mismo proceso industrial para cumplir con los requerimientos del proceso. La temperatura de la fuente de calor es por debajo de 600°C, preferiblemente entre 400°C y 100°C. El ejemplo se refiere a plantas de cemento que generan gases de escape del horno de 332°C de temperatura y gases de escape de refrigeración de escoria de 403°C y 440°C de temperatura respectivamente, así como también a un horno de recalentamiento de acero que genera una corriente de calor residual de 482°C de temperatura.

El método mencionado arriba claramente no es adecuado para generar electricidad de forma eficiente a partir del gas de combustión de un horno de fundición de vidrio que, como se indica arriba, abandona el horno a temperaturas muy por encima de 1.000°C.

50 Es un objeto de la presente invención proveer un método mejorado para dar utilidad al calor residual presente en el gas de combustión de un horno de fundición a llama directa para fundir materia vitrificable que utiliza un oxidante de combustión rico en oxígeno para calentar dicho horno de fundición a llama directa. También es un objetivo de la presente invención poder utilizar más del calor residual presente en el gas de combustión de un horno de fundición a llama directa para calentar el horno.

Según la invención, esto se consigue por medio del siguiente proceso para fundir materia vitrificable tal como el vidrio. El proceso comprende las siguientes etapas:

(a) fundir una materia vitrificable en un horno (1) de fundición a llama directa equipado con electrodos (4) de impulso eléctrico,

5 (b) recuperar calor de un gas de combustión evacuado del horno al calentar un fluido de transferencia calorífica al intercambiar calor entre el fluido de transferencia calorífica y el gas de combustión;

(c) utilizar el calor recuperado del gas (7) de combustión para calentar el horno (1) de fundición a llama directa:

10 • al precalentar al menos un reactivo seleccionado entre oxidante rico en oxígeno y combustible al intercambiar calor entre dicho al menos un reactivo y el fluido de transferencia calorífica calentado en la etapa (b) con el fin de obtener un reactivo precalentado y abastecer el reactivo precalentado obtenido de esta manera como un reactivo de combustión al horno; y

15 • al abastecer el fluido de transferencia calorífica calentado en la etapa (b) como una fuente de calor a un ciclo de Rankine para generar energía mecánica a partir del mismo, usando al menos parte y preferiblemente toda dicha energía mecánica para producir electricidad y abastecer al menos parte de la electricidad a los electrodos (4) de impulso eléctrico del horno (1).

Otras particularidades del proceso según la invención son que:

• en la etapa (b), la temperatura del gas de combustión antes de intercambiar calor con el fluido de transferencia calorífica es al menos 1.000°C, preferiblemente entre 1.000°C y 1.350°C;

20 • en la etapa (b), el fluido de transferencia calorífica se calienta hasta alcanzar una temperatura de al menos 600°C, preferiblemente entre 600°C y 800°C; y

25 Con el proceso de la invención, se optimiza y maximiza la explotación del calor residual presente en el gas de combustión evacuado del horno para calentar dicho horno, lo que resulta en una importante reducción del consumo de combustible a tasas de alimentación idénticas del horno. Al combinar el precalentamiento de uno o ambos reactivos de combustión con la recuperación de calor para impulsos energéticos también se provee flexibilidad adicional al funcionamiento del horno, lo que permite en particular tener en cuenta cambios en la tasa de alimentación o tonelaje, cambios en la composición de la materia vitrificable a fundir, y el envejecimiento del horno.

En el presente contexto, la expresión «oxidante rico en oxígeno» se refiere a un oxidante que tiene una cantidad de oxígeno mayor que la del aire, que preferiblemente contiene del 50% al 100% de su volumen en oxígeno.

30 La expresión «intercambio de calor» entre dos fluidos se refiere a la transferencia de calor de un fluido (el fluido que es la fuente de calor) a un segundo fluido (el fluido a calentar) sin que haya contacto directo entre los dos fluidos y sin que estos se mezclen.

35 La expresión «intercambiador de calor» se refiere a una instalación de calentamiento o un dispositivo de calentamiento en el que un fluido que es la fuente de calor, que alimenta de calor al intercambiador de calor, y un fluido a calentar circulan en distintos recintos o circuitos, es decir, sin que haya contacto directo entre ellos y sin que se mezclen, y en el que el calor se transfiere del fluido que es la fuente de calor al fluido a calentar a través de una o más paredes que separan los distintos recintos o circuitos.

En el presente contexto, dos elementos se encuentran en «conexión fluida» entre ellos cuando están conectados de forma tal que permite que un fluido fluya de uno de los elementos al otro, normalmente por medio de uno o más conductos de transporte de fluidos.

40 El término «condensables» se refiere a sustancias presentes en el gas de combustión del horno que se licúan o solidifican a temperaturas en el intervalo de 300°C a 1.000°C, en particular en el intervalo de 300°C a 880°C, a presiones en el intervalo de 900 mbar a 1.100 mbar. Los sulfatos, boratos y fluoruros de sodio son ejemplo de tales condensables que pueden estar presentes en el gas de combustión de un horno de fundición de vidrio.

45 El término «precalentar» se refiere al calentamiento de una materia vitrificable o de un reactivo de combustión antes de introducirlo en un horno.

Un experto en la técnica llama «calor residual» al calor presente en el gas de combustión evacuado del horno, debido a que dicho calor ha sido evacuado del horno sin ser absorbido por la materia vitrificable.

En el presente contexto, la expresión «ciclo de Rankine» se puede referir tanto al proceso del ciclo de Rankine como a una unidad del ciclo de Rankine para realizar un proceso del ciclo de Rankine.

50 En la etapa (b) del proceso de la invención, el gas de combustión es el fluido que es la fuente de calor y el fluido de transferencia calorífica es el fluido a calentar. En la etapa (b), el fluido de transferencia calorífica se calienta al

intercambiar calor con el gas de combustión caliente en un intercambiador de calor, que se conoce en la técnica como un «recuperador», y al que se refiere a continuación como el intercambiador de calor primario.

En la parte de precalentar el reactivo en la etapa (c), el fluido de transferencia calorífica calentado es el fluido que es la fuente de calor y el reactivo es el fluido a calentar.

- 5 En la parte de Rankine de la etapa (c), el fluido de transferencia calorífica calentado es de nuevo el fluido que es la fuente de calor y el fluido de trabajo del ciclo de Rankine (ver abajo) es el fluido a calentar.

Una de las ventajas de la presente invención es que se puede utilizar más energía térmica recuperada del gas de combustión para calentar el horno.

- 10 Según una realización preferente del proceso según la invención, en la etapa (c) el fluido de transferencia calorífica calentado en la etapa (b) primero se utiliza para precalentar el al menos un reactivo y luego se abastece como fuente de calor al ciclo de Rankine.

- 15 En ese caso, se obtiene tras precalentar el al menos un reactivo el al menos un reactivo precalentado y un fluido de transferencia calorífica templado a una temperatura de como máximo 650°C, preferiblemente entre 200°C y 650°C. El fluido de transferencia calorífica templado se abastece luego al ciclo de Rankine. Puede ser útil que la temperatura del fluido de transferencia calorífica templado tras precalentar el al menos un reactivo sea de no más de 400°C, preferiblemente entre 200°C y 400°C.

- 20 Según una realización alternativa, en la etapa (c) el fluido de transferencia calorífica calentado en la etapa (b) primero se abastece como fuente de calor al ciclo de Rankine con el fin de generar energía mecánica y obtener un fluido de transferencia calorífica templado, y luego se utiliza el fluido de transferencia calorífica templado para precalentar el al menos un reactivo.

- 25 Según una realización ventajosa, el calentamiento del fluido de transferencia calorífica en la etapa (b) y el precalentamiento del o de los reactivos en la etapa (c) tienen lugar en instalaciones de transferencia de calor separadas. En ese caso, el fluido de transferencia calorífica se calienta en el intercambiador de calor primario mencionado anteriormente, mientras que el o los reactivos se precalientan en un intercambiador de calor separado al que se llamará de aquí en adelante como «intercambiador de calor secundario».

El fluido de transferencia calorífica es preferiblemente un fluido gaseoso de transferencia calorífica. Algunos ejemplos de fluidos gaseosos de transferencia calorífica son el aire, CO₂, N₂, o mezclas de al menos dos de estos gases. Generalmente se prefiere el aire como fluido de transferencia calorífica debido a su seguridad y disponibilidad.

- 30 La etapa (c) preferiblemente incluye precalentar tanto el oxidante rico en oxígeno como el combustible. Tanto el oxidante rico en oxígeno precalentado como el combustible precalentado se abastecen luego al horno de forma ventajosa como reactivos de combustión.

Se pueden utilizar dos intercambiadores de calor secundarios distintos para precalentar los reactivos: un segundo intercambiador de calor secundario de oxidante para precalentar el oxidante rico en oxígeno y un intercambiador de calor secundario de combustible para precalentar el combustible.

- 35 El intercambiador de calor secundario de oxidante y el intercambiador de calor secundario de combustible se pueden disponer en serie o en paralelo (con respecto al flujo del fluido de transferencia calorífica). Preferiblemente se disponen en serie con el intercambiador de calor secundario de oxidante precediendo de forma ventajosa al intercambiador de calor secundario de combustible, aunque también se pueden precalentar los dos reactivos en el orden inverso.

- 40 También se pueden precalentar el oxidante rico en oxígeno y el combustible en un intercambiador de calor secundario diseñado específicamente, tal como un intercambiador de calor secundario con vías de circulación o vías de flujo separadas para el oxidante rico en oxígeno y para el combustible. En el proceso según la invención se pueden utilizar combustibles tales como los combustibles gaseosos, como el gas natural, gas de leño, gas de carbón, o gas de síntesis, combustibles líquidos tales como el aceite combustible, que incluye el aceite combustible liviano y pesado, y combustibles sólidos, tales como el carbón particulado y coque de petróleo.

- 45 También se pueden quemar en el horno una combinación de combustibles. Los combustibles sólidos normalmente se inyectan en el horno como combustible sólido particulado arrastrado por fluidos o impulsado por fluidos, en donde el fluido puede ser líquido o gaseoso. En ese caso, la etapa (c) del proceso de precalentar el combustible puede ser precalentar el combustible sólido arrastrado por fluidos, tal como, en el caso de un combustible sólido arrastrado por líquidos, al precalentar la suspensión, o de forma alternativa, calentar el fluido de arrastre líquido o gaseoso antes de utilizarlo para impulsar o arrastrar el fluido sólido particulado.
- 50

Cuando se inyecta fluido líquido en el horno por medio de atomización asistida por gas, la etapa (c) del proceso de precalentar el combustible puede ser precalentar el combustible líquido antes de atomizarlo, precalentar el gas antes de utilizarlo para la atomización asistida por gas del combustible líquido, o precalentar tanto el combustible líquido y

el gas. Cuando el combustible líquido tiene una alta viscosidad, precalentar el combustible líquido también tiene la ventaja de disminuir su viscosidad.

5 El oxidante rico en oxígeno tiene la ventaja de tener una cantidad de oxígeno entre el 80% y el 100% del su volumen, preferiblemente al menos 90% de su volumen, más preferiblemente al menos 95% de su volumen, y lo más preferiblemente al menos 98% de su volumen.

La Tabla 1 da ejemplos de intervalos de temperatura a los que se puede precalentar un reactivo de combustión en la etapa (c).

Reactivo	Temperatura de precalentamiento [°C]
Oxidante con 70% a 89% de su volumen	300°C a 700°C
Oxidante con 90% a 100% de su volumen	300°C a 650°C
Gas natural	200°C a 550°C

Tabla 1

10 Cuando el combustible es un combustible gaseoso, preferiblemente se precalienta hasta al menos 400°C en la etapa (c). Cuando el combustible es un combustible líquido, el combustible líquido preferiblemente se precalienta hasta al menos 100°C. La temperatura máxima de precalentamiento del combustible se selecciona de modo tal que se encuentra por debajo de las temperaturas a las que el combustible en cuestión sufre degradación térmica, por ejemplo, agrietamiento del combustible.

15 Se pueden utilizar diferentes tipos de ciclos de Rankine en el proceso según la invención. El ciclo de Rankine puede, por ejemplo, utilizar agua/vapor como fluido de trabajo. El ciclo de Rankine también puede utilizar un fluido orgánico tal como n-pentano o tolueno como fluido de trabajo. La naturaleza del fluido de trabajo normalmente se elige en función del intervalo de temperatura en el que el ciclo de Rankine debe operar, y esta temperatura al menos en parte se determina por medio de la temperatura a la que el fluido de transferencia calorífica se abastece como fluido fuente de calor al ciclo de Rankine en la etapa (c). En dicha etapa (c), el fluido de transferencia calorífica normalmente calienta el fluido de trabajo del ciclo de Rankine, es decir, el fluido a calentar, en otro intercambiador de calor, al que se refiere como «intercambiador de calor terciario».

20 La energía mecánica generada por el ciclo de Rankine en la etapa (c) es, al menos en parte, utilizada para producir electricidad. Según la presente invención, al menos parte de la electricidad producida se utiliza para generar impulsos eléctricos en el horno de fundición de vidrio y por lo tanto se abastece a los electrodos de impulso eléctrico en el horno.

25 Cuando el ciclo de Rankine genera más energía mecánica de la necesaria para generar la electricidad para los impulsos eléctricos, la energía adicional se puede utilizar en un amplio número de aplicaciones, donde se prefieren los usos que reduzcan los requerimientos energéticos/la dependencia energética del horno/del proceso de fundición.

30 La energía mecánica adicional generada por el ciclo de Rankine se puede utilizar, por ejemplo, para (ayudar a) comprimir el oxidante rico en oxígeno antes de abastecerlo al horno, o si el oxidante rico en oxígeno se precalienta en la etapa (c), para (ayudar a) comprimir el oxidante rico en oxígeno antes de precalentarlo.

El proceso de la presente invención es apto para utilizarse en esencialmente todo tipo de horno de fundición de vidrio a llama directa, tales como hornos para la producción de vidrios planos, hornos para la producción de recipientes de vidrio, para la producción de vajillas de vidrio, etc., y para hornos de fundición de vidrio a llama directa de cualquier tamaño, por ejemplo con tasas de alimentación desde 100 a 800 tpd de vidrio fundido.

35 La presente invención también se refiere a una instalación para fundir materia vitrificable, tal como vidrio, apta para utilizarse en el proceso descrito arriba.

Dicha instalación para fundir materia vitrificable comprende un horno de fundición a llama directa con una salida de gas de combustión, al menos una entrada de combustible, al menos una entrada de oxidante de combustión y electrodos de impulso eléctrico.

40 La instalación también comprende un intercambiador de calor primario con una entrada de gas de combustión, una salida de gas de combustión, una entrada de fluido de transferencia calorífica y una salida de fluido de transferencia calorífica.

La instalación también comprende un intercambiador de calor secundario con una entrada de fluido de transferencia calorífica, una salida de fluido de transferencia calorífica, una entrada de reactivo y una salida de reactivo.

Además, un ciclo de Rankine para generar energía mecánica y un generador de electricidad también forman parte de la instalación según la invención, en la que el ciclo de Rankine está adaptado para operar con un fluido de trabajo y comprende un intercambiador de calor terciario.

5 El intercambiador de calor primario está adaptado para calentar el fluido de transferencia calorífica por intercambio de calor con el gas de combustión del horno.

La entrada de gas de combustión del intercambiador de calor primario tiene conexión fluida con la salida de gas de combustión del horno. Su entrada de fluido de transferencia calorífica tiene conexión fluida con una fuente de fluido de transferencia calorífica.

10 El intercambiador de calor secundario está adaptado para precalentar al menos un reactivo seleccionado entre oxidante rico en oxígeno y combustible al intercambiar calor con el fluido de transferencia calorífica. La entrada de fluido de transferencia calorífica del intercambiador de calor secundario tiene conexión fluida con la salida de fluido de transferencia calorífica del intercambiador de calor primario. La entrada de reactivo del intercambiador de calor secundario tiene conexión fluida con una fuente de reactivo. Si el reactivo es oxidante rico en oxígeno, la salida de reactivo del intercambiador de calor secundario tiene conexión fluida con una entrada de oxidante de combustión del horno, por ejemplo: una entrada de oxidante de combustión de uno o más quemadores del horno. Si el reactivo es combustible, la salida de reactivo del intercambiador de calor secundario tiene conexión fluida con una entrada de combustible del horno.

20 El intercambiador de calor secundario también puede comprender múltiples entradas de reactivo y múltiples salidas de reactivo, por ejemplo, una entrada de oxidante rico en oxígeno en conexión fluida con una fuente de oxidante rico en oxígeno y una salida de oxidante rico en oxígeno en conexión fluida con una entrada de oxidante de combustión del horno, así como una entrada de combustible en conexión fluida con una fuente de combustible y una salida de combustible en conexión fluida con una entrada de combustible del horno.

25 Como se ha explicado arriba con respecto al proceso según la invención, cuando el combustible es un combustible sólido particulado arrastrado por fluidos o impulsado por fluidos, el intercambiador de calor secundario puede comprender una entrada para el combustible sólido arrastrado por fluidos o impulsado por fluidos con una fuente de combustible sólido arrastrado por fluidos o impulsado por fluidos y una salida para dicho combustible sólido arrastrado por fluidos o impulsado por fluidos en conexión fluida con una entrada de combustible del horno. De manera alternativa, el intercambiador de calor secundario puede comprender una entrada para el fluido de arrastre utilizado para arrastrar o impulsar el combustible sólido en conexión fluida con una fuente de dicho fluido de arrastre y una salida para dicho fluido de arrastre, en donde la salida de fluido tiene conexión fluida con una entrada de combustible del horno por medio de un dispositivo para mezclar el fluido con el fluido sólido particulado.

30 Cuando un fluido es un combustible líquido, el intercambiador de calor secundario puede comprender una entrada para el combustible líquido en conexión fluida con una fuente de dicho combustible líquido y una salida de combustible líquido en conexión fluida con una entrada de combustible del horno, en donde dicha entrada de combustible normalmente está equipada con un atomizador para poder pulverizar el combustible líquido precalentado, en donde dicho atomizador puede ser asistido por gas o no. De manera alternativa o en combinación con lo anterior, cuando se utiliza un atomizador asistido por gas para pulverizar combustible líquido en el horno, el intercambiador de calor secundario puede comprender una entrada para dicho pulverizado del gas de atomización, que tiene conexión fluida con una fuente de dicho gas de atomización, así como una salida de dicho gas de atomización, en donde dicha salida de gas tiene conexión fluida por medio de una entrada de combustible del horno equipado con un atomizador de combustible asistido por gas.

45 El intercambiador de calor terciario del ciclo de Rankine está adaptado para calentar el fluido de trabajo al intercambiar calor con el fluido de transferencia calorífica. Dicho intercambiador de calor terciario presenta una entrada de fluido de transferencia calorífica, una salida de fluido de transferencia calorífica, una entrada de fluido de trabajo y una salida de fluido de trabajo.

El generador de electricidad está conectado al ciclo de Rankine y está adaptado para transformar al menos parte de la energía mecánica generada por el ciclo de Rankine en electricidad. El generador de electricidad también está conectado a los electrodos de impulso eléctrico para poder abastecer a los mismos de la energía generada.

50 Según una realización preferente, la entrada de fluido de transferencia calorífica del intercambiador de calor secundario tiene conexión fluida con la salida del fluido de transferencia calorífica y la salida de transferencia calorífica del intercambiador de calor secundario tiene conexión fluida con la entrada de fluido de transferencia calorífica del intercambiador de calor terciario.

55 De manera alternativa, la entrada de fluido de transferencia calorífica del intercambiador de calor terciario puede tener conexión fluida con la salida del fluido de transferencia calorífica con la salida de transferencia calorífica del intercambiador de calor terciario, que tiene conexión fluida con la entrada de fluido de transferencia calorífica del intercambiador de calor secundario.

Las realizaciones específicas descritas arriba con respecto a los procesos de la invención también se aplican a la instalación de la invención.

De esta manera, la fuente de fluido de transferencia calorífica puede ser una fuente de un fluido de transferencia calorífica seleccionado del grupo de aire, CO₂, N₂ o mezclas de al menos dos gases.

5 La fuente de fluido de transferencia calorífica es ventajosamente una fuente de fluido gaseoso de transferencia calorífica. Por ejemplo, cuando el fluido de transferencia calorífica es aire, la fuente de fluido de transferencia calorífica puede ser una bomba o compresor de aire con el que la entrada de fluido de transferencia calorífica del intercambiador de calor primario tiene conexión fluida.

10 Según una realización de la instalación según la invención, el intercambiador de calor secundario está adaptado para precalentar tanto el oxidante rico en oxígeno como el combustible al intercambiar calor con el fluido de transferencia calorífica. Dicho intercambiador de calor secundario tiene una primera entrada de reactivo y una segunda entrada de reactivo, así como una primera salida de reactivo y una segunda salida de reactivo. La primera entrada de reactivo tiene conexión fluida con una fuente de oxidante rico en oxígeno. La primera salida de reactivo tiene conexión fluida con una entrada de oxidante de combustión del horno. La segunda entrada de reactivo tiene conexión fluida con una fuente de combustible. La segunda salida de reactivo tiene conexión fluida con una entrada de combustible del horno.

15 Según otra realización, el oxidante rico en oxígeno y el combustible se precalientan en intercambiadores de calor separados. La instalación entonces comprende un primer intercambiador de calor secundario que es un intercambiador de calor secundario de oxidante y un segundo intercambiador de calor secundario que es un intercambiador de calor secundario de combustible. El primer intercambiador de calor secundario, es decir, el intercambiador de calor secundario de oxidante, tiene una entrada de reactivo en conexión fluida con una fuente de oxidante rico en oxígeno así como una salida de reactivo en conexión fluida con una entrada de combustión del horno. El segundo intercambiador de calor secundario, es decir, el intercambiador de calor secundario de combustible, tiene una entrada de reactivo en conexión fluida con una fuente de combustible así como una salida de reactivo en conexión fluida con una entrada de combustión del horno.

20 Como se ha mencionado arriba, el intercambiador de calor secundario de oxidante y el intercambiador de calor secundario de combustible se pueden disponer en paralelo o en serie con respecto al flujo del fluido de transferencia calorífica. Se considera particularmente útil disponerlos en serie, especialmente cuando el intercambiador de calor secundario de oxidante precede al intercambiador de calor secundario de combustible, aunque también se los puede disponer en el orden inverso.

30 La fuente de combustible es una fuente de combustible gaseoso, o combustible líquido o de combustible sólido. Cuando el combustible se precalienta en un intercambiador de calor secundario, el combustible a precalentar preferiblemente es un combustible gaseoso o un combustible líquido.

35 La fuente de oxidante rico en oxígeno es una fuente de oxidante que tiene una cantidad de oxígeno mayor que la del aire (que es 21% de su volumen), y ventajosamente tiene entre 50% y el 100% de su volumen. Dicha fuente abastece oxidante rico en oxígeno que tiene la utilidad de tener una cantidad de oxígeno de al menos 80%, preferiblemente al menos 90% de su volumen, más preferiblemente al menos 95% de su volumen, y lo más preferiblemente al menos 98% de su volumen.

Ejemplos de dichas fuentes son unidades de separación de aire, tuberías de oxígeno y reservas de oxígeno líquido.

El fluido de trabajo del ciclo de Rankine puede ser agua/vapor. También puede ser un fluido de trabajo orgánico.

40 La naturaleza del fluido de trabajo se selecciona en función del intervalo de temperatura en el que opera el ciclo de Rankine, ya que por ejemplo, ciertos fluidos de trabajo orgánicos son particularmente eficientes en ciclos de Rankine que operan en intervalos de temperatura más bajos.

45 Si el ciclo de Rankine genera más energía mecánica de la necesaria para los impulsos eléctricos, se puede utilizar parte de la energía mecánica generada para comprimir el oxidante rico en oxígeno antes de abastecerlo como reactivo de combustión al horno. Cuando, si es preferible, el oxidante rico en oxígeno se precalienta en la etapa (c) del proceso, dicha energía mecánica sobrante se utiliza preferiblemente para comprimir el oxidante rico en oxígeno antes de ser precalentado. En efecto, algunas fuentes de oxidante rico en oxígeno tales como las unidades de separación de aire VSA (adsorción de oscilación al vacío) a menudo generan oxidantes ricos en oxígeno a presiones demasiado bajas para poder utilizar dicho oxidante rico en oxígeno como reactivo de combustión en el horno.

50 La instalación es de un interés particular cuando el horno es un horno de fundición de vidrio. Como se ha mencionado arriba, la presente invención se puede aplicar a esencialmente todos los hornos de fundición de vidrio a llama directa. Un horno de fundición de vidrio de la instalación puede ser entonces un horno para la producción de vidrio plano, un horno para la producción de recipientes de vidrio, un horno para la producción de vajilla de vidrio, etc. La tasa de alimentación de dicho horno de fundición de vidrio puede variar, por ejemplo, de 100 a 800 tpd de vidrio fundido.

La presente invención y sus ventajas se ilustran en los siguientes ejemplos, haciendo referencia a las figuras 1 y 2 que son representaciones esquemáticas de instalaciones de fundición de vidrio según la presente invención.

La Figura 1 muestra un horno 1 de fundición de vidrio a llama directa. Dicho horno está equipado con un número de quemadores 2 de oxicomcombustible (solo se muestra un quemador). El gas de combustión 7 evacuado del horno 1 se abastece a la entrada de gas de combustión del intercambiador 20 de calor primario. De manera simultánea, el fluido 22 de transferencia calorífica (aire en este caso) se abastece al intercambiador 20 de calor primario por la entrada de fluido de transferencia calorífica.

Dentro del intercambiador 20 de calor primario, dicho fluido 22 de transferencia calorífica se calienta hasta alcanzar una temperatura de 700°C al intercambiar calor con gases 7 de combustión calientes.

El gas 21 de combustión templado abandona el intercambiador 20 de calor primario por la salida de gas de combustión y se envía a una instalación de tratamiento de gas de combustión (no se muestra) antes de enviarlo a la chimenea (no se muestra).

El fluido 33 de transferencia calorífica calentado se evacua del intercambiador 20 de calor primario por la salida de fluido de transferencia calorífica y entra en el intercambiador 30 de calor secundario por la entrada de fluido de transferencia calorífica del mismo.

El intercambiador 30 de calor secundario es un intercambiador de calor multiflujo que tiene una entrada de oxidante y una salida de oxidante así como una entrada de combustible y una salida de combustible.

En un intercambiador 30 de calor secundario, un oxidante 32 rico en oxígeno con una cantidad de oxígeno del 90% al 100% de su volumen y combustible 31 gaseoso tal como gas natural se precalientan al intercambiar calor con el fluido 33 de transferencia calorífica. El oxidante 5 rico en oxígeno y el combustible 6 gaseoso se abastecen de esta manera a los quemadores 2 de oxi del horno 1 para así producir la combustión y por lo tanto calor dentro del horno 1, y dicho calor se utiliza para fundir materiales sólidos para fabricar vidrio y generar un baño de fundido de vidrio en el tanque 3 de vidrio ubicado en la parte inferior del horno 1.

Se ha de notar que, en lugar de utilizar un intercambiador 30 de calor multiflujo, también se pueden utilizar dos intercambiadores de calor secundarios distintos (en serie o en paralelo con respecto al flujo del fluido de transferencia calorífica), donde un primer intercambiador de calor secundario se utiliza para precalentar el oxidante 32 rico en oxígeno, y el segundo intercambiador de calor secundario se utiliza para precalentar el combustible 31 (gaseoso).

Según la presente invención, el calor residual presente en el fluido 15 de transferencia calorífica que abandona el intercambiador de calor secundario, por ejemplo a unos 400°C, se aprovecha y se utiliza para calentar un fluido 13 de trabajo de un ciclo de Rankine en un intercambiador 14 de calor terciario.

Por medio de la unidad 12 de alimentación del ciclo de Rankine, el calor que se absorbe de esta manera con un fluido 13 de trabajo se utiliza para generar energía mecánica. Dicha energía mecánica luego se transforma en energía eléctrica por medio de un generador 10 de electricidad, y dicha energía eléctrica se abastece a los electrodos 4 de impulso eléctrico ubicados en la cuenca 3 de fundición del horno 1 (se muestra un solo electrodo) para poder proveer energía de impulso eléctrico a la fundición de vidrio, lo que mejora la eficiencia de dicho horno 1.

La figura 2 muestra una instalación de fundición de vidrio similar a la que se muestra en la figura 1, con la excepción que el fluido 33 de transferencia calorífica primero se abastece al ciclo de Rankine como fuente de calor, después de lo cual el fluido 15 de transferencia calorífica templado que sale del ciclo de Rankine se introduce como un fluido fuente de calor en un intercambiador 30 de calor secundario.

Ejemplo

Se abastecen 3.400 Nm³/h de oxígeno industrial de 95% de pureza a 550°C y 1.500 Nm³/h de gas natural (6) a 450°C a un horno de vidrio equipado con 10 quemadores para producir 440 tpd de vidrio de sílice de cal soldada. El tanque de vidrio también se calienta con 1.600 kW_e generados por medio de electrodos. Los vapores salen del horno (1) a 1.400°C. Tras diluirse con el aire del ambiente, se obtienen vapores con un volumen de 7.400 Nm³/h a 1.250°C. Dos intercambiadores de calor primarios, cada uno ubicado en cada pared lateral del horno, pueden calentar una corriente de aire de 9.200 Nm³/h a 700°C. Los vapores salen de dichos intercambiadores de calor primarios a 850°C. La corriente de aire caliente generada fluye dentro de dos conjuntos de intercambiadores de calor secundarios, uno a cada lado del horno. Cada conjunto comprende un intercambiador de calor de oxígeno y de gas natural que funcionan en serie. Se abastece el oxígeno y el gas natural por medio de un tren de válvulas a los intercambiadores de calor secundarios a una presión de alrededor de 100 a 1000 mbar.

Las corrientes de aire salen de los conjuntos de intercambiadores de calor secundarios en cada lado a una temperatura entre 250°C y 300°C. La energía térmica residual de este aire es entre 880 kW y 950 kW_{th}.

El fluido orgánico del ciclo de Rankine extrae calor de estas corrientes de aire de 100°C a 200°C y transforma este calor extraído en energía mecánica en un expansor. El generador eléctrico conectado a dicho expansor puede

ES 2 701 246 T3

recuperar hasta un 25% de la energía que entra, es decir, 219 KWe. En este caso, el Ciclo de Rankine Orgánico provee el 14% de la electricidad necesaria para producir los impulsos eléctricos. A 105 €/MWh, la electricidad que genera el ciclo de Rankine resulta en una reducción de costes anual de 202.356 €.

REIVINDICACIONES

- 1) Proceso para fundir materia vitrificable que comprende las etapas de:
- a) fundir una materia vitrificable en un horno (1) de fundición a llama directa equipado con electrodos (4) de impulso eléctrico,
- 5 b) recuperar calor de un gas de combustión (7) evacuado del horno (1) a una temperatura de al menos 1.100°C, preferiblemente entre 1.100°C y 1.500°C, al calentar un fluido de transferencia calorífica (22) a una temperatura de al menos 600°C, preferiblemente entre 600°C y 800°C, al intercambiar calor entre el fluido de transferencia calorífica y el gas de combustión (7) caliente; y
- 10 (c) utilizar el calor recuperado del gas (7) de combustión en la etapa (b) para calentar el horno (1) de fundición a llama directa:
- al precalentar al menos un reactivo seleccionado entre oxidante rico en oxígeno (32) y combustible (31) al intercambiar calor entre dicho al menos un reactivo (32, 31) y el fluido (33) de transferencia calorífica calentado en la etapa (b) con el fin de obtener un reactivo (5, 6) precalentado y abastecer el reactivo (5, 6) precalentado obtenido de esta manera como un reactivo de combustión al horno (1); y
 - 15 • al abastecer el fluido (33) de transferencia calorífica calentado en la etapa (b) como una fuente de calor a un ciclo de Rankine para generar energía mecánica a partir del mismo, usando al menos parte y preferiblemente toda dicha energía mecánica para producir electricidad y abastecer al menos parte de la electricidad a los electrodos (4) de impulso eléctrico del horno (1).
- 2) Proceso según la reivindicación 1, en el cual en la etapa (c) el fluido de transferencia calorífica (33) calentado en la etapa (b) primero se utiliza para precalentar el al menos un reactivo, obteniendo de esta manera al menos un reactivo precalentado y un fluido (15) de transferencia calorífica calentado y templado a una temperatura de como máximo 650°C, preferiblemente entre 200°C y 650°C, y en el cual el fluido (15) de transferencia calorífica calentado y templado luego se abastece como fuente de calor al ciclo de Rankine.
- 20 3) Proceso según la reivindicación 1, en el cual en la etapa (c) el fluido (33) de transferencia calorífica calentado en la etapa (b) primero se abastece como una fuente de calor al ciclo de Rankine para generar energía mecánica y obtener un fluido de transferencia calorífica calentado y templado, y en el cual luego el fluido de transferencia calorífica calentado y templado se utiliza para precalentar el al menos un reactivo.
- 25 4) Proceso según la reivindicación 1 o 2, en el cual el calentamiento del fluido de transferencia calorífica en la etapa (b) y el precalentamiento del reactivo en la etapa (c) tienen lugar en instalaciones (20, 30) de transferencia de calor separadas.
- 30 5) Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el fluido (22, 33, 15) de transferencia calorífica es un fluido gaseoso de transferencia calorífica.
- 6) Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la etapa (c) comprende precalentar tanto el oxidante (32) rico en oxígeno y el combustible (31), y en el cual luego tanto el oxidante (5) rico en oxígeno precalentado y el combustible (6) precalentado se abastecen como reactivos de combustión al horno (1).
- 35 7) Proceso según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el oxidante (32, 5) rico en oxígeno tiene una cantidad de oxígeno entre el 80% y el 100% del su volumen, preferiblemente al menos 90% de su volumen, más preferiblemente al menos 95% de su volumen, y lo más preferiblemente al menos 99% de su volumen.
- 8) Proceso para fundir vidrio según cualquier reivindicación precedente.
- 40 9) Instalación para fundir materia vitrificable que comprende:
- un horno (1) de fundición a llama directa con una salida de gas de combustión, al menos una entrada de combustible, al menos una entrada de oxidante de combustión y electrodos de impulso eléctrico.
 - un intercambiador (20) de calor primario con una entrada de gas de combustión, una salida de gas de combustión, una entrada de fluido de transferencia calorífica y una salida de fluido de transferencia calorífica, y la entrada de gas de combustión tiene conexión fluida con la salida de gas de combustión del horno (1), la entrada de fluido de transferencia calorífica tiene conexión fluida con una fuente de fluido de transferencia calorífica, y el intercambiador (20) de calor primario está adaptado para calentar el fluido (22) de transferencia calorífica al intercambiar calor con el gas (7) de combustión del horno (1).
 - 45 • un intercambiador (30) de calor secundario con una entrada de fluido de transferencia calorífica, una salida de fluido de transferencia calorífica, una entrada de reactivo y una salida de reactivo, y la entrada de reactivo tiene conexión fluida con una fuente de un reactivo seleccionado entre oxidante (32) rico en oxígeno y combustible (31), y el intercambiador (30) de calor secundario está adaptado para precalentar el reactivo (32, 31) al intercambiar calor con
 - 50

el fluido (33) de transferencia calorífica, en el cual si el reactivo es combustible (31), la salida de reactivo tiene conexión fluida con una entrada de combustible del horno (1), y en el cual si el reactivo es oxidante (32) rico en oxígeno, la salida de reactivo tiene conexión fluida con una entrada de oxidante de combustión del horno (1),

5 • un ciclo de Rankine para generar energía mecánica que funciona con un fluido (13) de trabajo y comprende un intercambiador (14) de calor terciario que tiene una entrada de fluido de transferencia calorífica, una salida de fluido de transferencia calorífica, una entrada de fluido de trabajo y una salida de fluido de trabajo, y la entrada de transferencia calorífica del intercambiador (14) de calor terciario tiene conexión fluida con la salida del fluido de transferencia calorífica del intercambiador (30) de calor secundario, y el intercambiador (14) de calor terciario está adaptado para calentar el fluido (13) de trabajo al intercambiar calor con el fluido (15) de transferencia calorífica,

10 • un generador (10) de electricidad conectado al ciclo de Rankine y adaptado para transformar al menos parte de la energía mecánica generada en electricidad,

en el cual el generador (10) de electricidad está conectado a los electrodos de impulso eléctrico para abastecer de electricidad a los mismos, y en el cual:

15 • o la entrada de fluido de transferencia calorífica del intercambiador (30) de calor secundario tiene conexión fluida con la salida de fluido de transferencia calorífica del intercambiador (20) de calor primario y la salida de transferencia calorífica del intercambiador (30) de calor secundario tiene conexión fluida con la entrada de fluido de transferencia calorífica del intercambiador (14) de calor terciario, o

20 • la entrada de fluido de transferencia calorífica del intercambiador (14) de calor terciario tiene conexión fluida con la salida de fluido de transferencia calorífica del intercambiador (20) de calor primario y la salida de transferencia calorífica del intercambiador (14) de calor terciario tiene conexión fluida con la entrada de fluido de transferencia calorífica del intercambiador (30) de calor secundario.

10) Instalación según la reivindicación 9, en la cual la fuente de fluido (22) de transferencia calorífica es una fuente de fluido gaseoso de transferencia calorífica.

25 11) Instalación según la reivindicación 9 o 10, en la cual el intercambiador (30) de calor secundario tiene una primera entrada de reactivo, una segunda entrada de reactivo, una primera salida de reactivo y una segunda salida de reactivo, y la primera entrada de reactivo tiene conexión fluida con una fuente de oxidante (32) rico en oxígeno y la segunda entrada de reactivo tiene conexión fluida con una fuente de combustible (31), y el intercambiador (30) de calor secundario está adaptado para precalentar el oxidante (32) rico en oxígeno y el combustible (31) al intercambiar calor con el fluido (33) de transferencia calorífica, en donde la primera salida de reactivo tiene conexión fluida con una
30 entrada de oxidante de combustión del horno (1), y la segunda salida de reactivo tiene conexión fluida con una entrada de combustible del horno (1).

12) Instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, que comprende un intercambiador de calor secundario de oxidante y un intercambiador de calor secundario de combustible,

35 - y el intercambiador de calor secundario de oxidante tiene una entrada de reactivo en conexión fluida con una fuente de oxidante rico en oxígeno y una salida de reactivo en conexión fluida con una entrada de combustión de oxidante del horno (1),

- y el intercambiador de calor secundario de combustible tiene una entrada de reactivo en conexión fluida con una fuente de combustible y una salida de reactivo en conexión fluida con una entrada de combustible del horno (1).

40 13) Instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en la cual el horno (1) es un horno de fundición de vidrio.

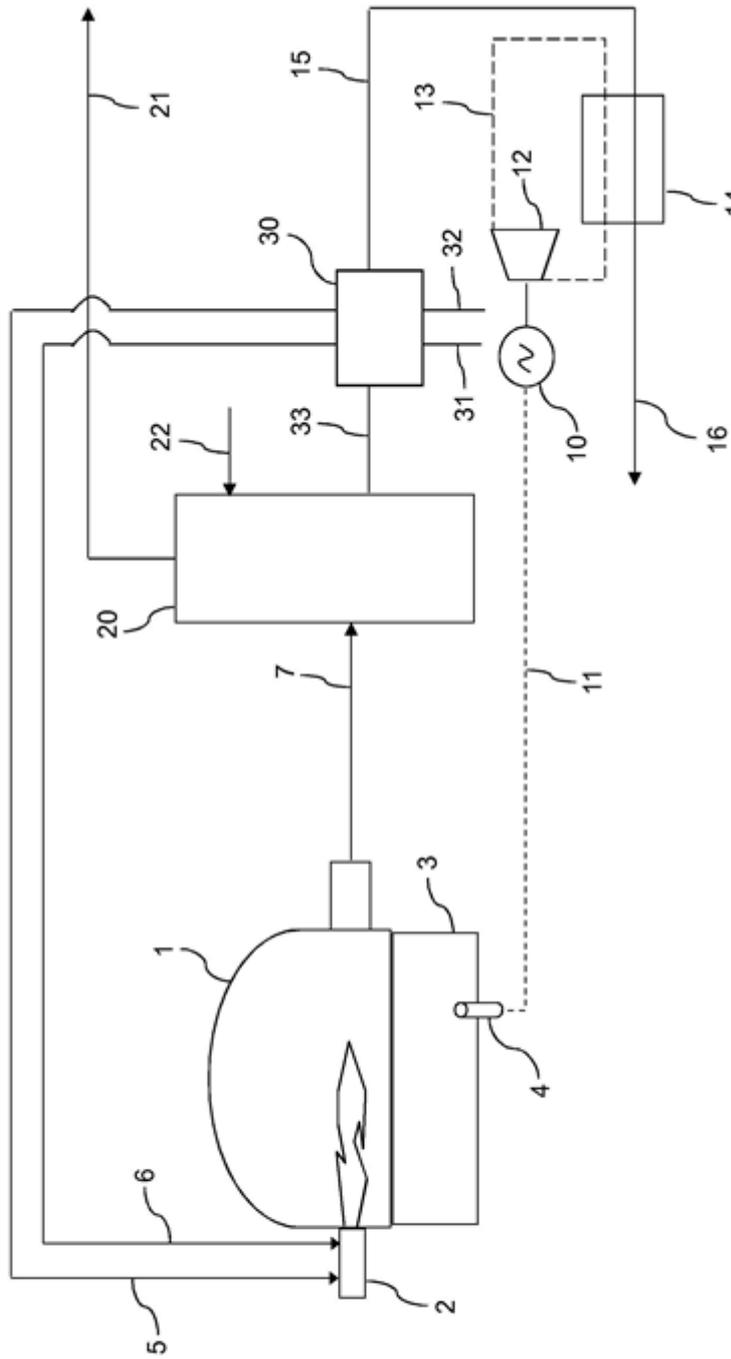


Figura 1

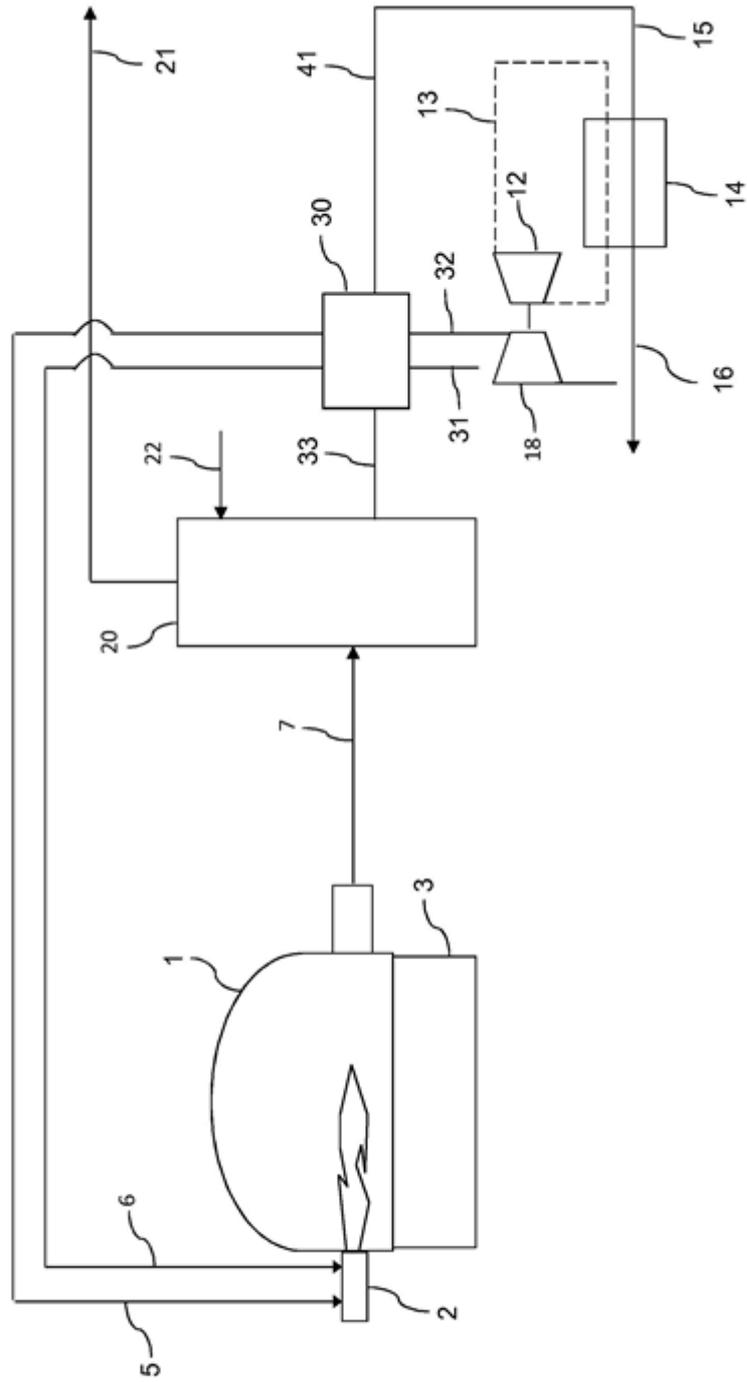


Figura 2