

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 622 713**

51 Int. Cl.:

<b>C03B 5/235</b>	(2006.01)
<b>C03B 5/237</b>	(2006.01)
<b>F23L 15/04</b>	(2006.01)
<b>F25J 3/04</b>	(2006.01)
<b>F27D 17/00</b>	(2006.01)
<b>F23L 7/00</b>	(2006.01)
<b>F02C 1/05</b>	(2006.01)
<b>F27B 3/10</b>	(2006.01)
<b>F27B 17/00</b>	(2006.01)
<b>F27D 19/00</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.12.2013 PCT/FR2013/052956**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **26.06.2014 WO14096611**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.12.2013 E 13815058 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2017 EP 2935132**

54 Título: **Recuperación energética de los humos de un horno de fusión con una turbina de gas e intercambiadores de calor**

30 Prioridad:

**20.12.2012 FR 1262375**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.07.2017**

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:

**DAVIDIAN, BENOIT;  
JOUMANI, YOUSSEF;  
LE DIRACH, JOCELYN y  
TRANIER, JEAN-PIERRE**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 622 713 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**

Recuperación energética de los humos de un horno de fusión con una turbina de gas e intercambiadores de calor

5 En un horno de fusión, las materias primas son transformadas en material fundido merced a un aporte de energía térmica que generalmente se suministra, al menos en parte, mediante combustión. La parte mayoritaria de la energía térmica generada por la combustión se transfiere a la carga (materias primas sólidas y material fundido). Sin embargo, con los humos de combustión se expulsa del horno energía residual.

10 Así, en el caso de un horno de fusión en aerocombustión, o combustión al aire, es conocido utilizar intercambiadores en contracorriente alternada compuestos por cerámicas (regeneradores) o intercambiadores de acero (recuperadores) para precalentar el aire de combustión aguas arriba del horno, en orden a aumentar no solo el rendimiento de la combustión dentro del horno, sino también el de la instalación en su totalidad, por cuanto que una parte de la energía térmica contenida en los humos expulsados se recupera y utiliza como energía de precalentamiento para el aire de combustión.

15 En un horno para vidrio con recuperadores, el aire de combustión es precalentado a 700 °C, en tanto que los regeneradores permiten alcanzar temperaturas de aire de combustión de 1200 °C, e incluso 1250 °C, al comienzo de la vida útil de la instalación.

Los operarios de los hornos de fusión, y especialmente los vidrieros, están adoptando cada vez más la oxicomcombustión, tecnología a un tiempo más eficaz (por eliminar el lastre térmico del nitrógeno) y menos contaminante (reducción de los NOx y del CO<sub>2</sub>, siendo este mismo nitrógeno el originante de los NOx formados).

20 Sin embargo, los sistemas de recuperación de energía de los humos desarrollados para la aerocomcombustión (regeneradores y recuperadores) no están adaptados para la recuperación de energía térmica de los humos generados por la oxicomcombustión.

25 El documento EP-A-1338848 describe un sistema de recuperación de energía de los humos de un horno para vidrio y, en particular, de un horno para vidrio en oxicomcombustión. Dicho sistema comprende al menos un intercambiador de calor para el precalentamiento de un gas rico en oxígeno y/o de un combustible gaseoso por intercambio térmico con los humos expulsados del horno, una caldera situada aguas abajo del al menos un intercambiador de calor y apta para generar vapor sobrecalentado por intercambio térmico con los humos y una turbina de vapor para la expansión del vapor sobrecalentado con producción de energía mecánica.

30 Según el documento EP-A-1338848, la energía mecánica generada por la turbina se puede utilizar para abastecer al menos una parte de las necesidades energéticas de una instalación de separación de los gases del aire que suministra oxígeno de combustión para el horno para vidrio.

Para la producción de vapor sobrecalentado dentro de la caldera con una eficiencia industrialmente aceptable, los humos en la entrada de la caldera y, con ello, en la salida del intercambiador de calor, tienen que presentar una temperatura de al menos 1000 °C, e incluso de 1200 °C a 1500 °C.

35 Pese a las correctas resistencias a tales temperaturas de los materiales identificados en el documento EP-A-1338848, los vidrieros prefieren utilizar sistemas de recuperación de energía a más baja temperatura, que se estiman más duraderos.

Tal sistema alternativo particularmente fiable para la recuperación de energía de los humos de un horno para vidrio de oxicomcombustión se encuentra descrito en el documento EP-A-0872690.

40 Según el documento EP-A-0872690, los humos procedentes del horno de oxicomcombustión son utilizados para el precalentamiento indirecto del oxígeno y/o del combustible aguas arriba del horno. En un primer intercambiador de calor, los humos procedentes del horno calientan un fluido intermedio, tal como, por ejemplo, aire, por intercambio térmico entre los dos fluidos. El fluido intermedio calentado procedente del primer intercambiador es utilizado en un segundo intercambiador térmico para calentar oxígeno de combustión y/o el combustible.

45 No obstante, el sistema de recuperación de energía de los humos según el documento EP-A-0872690 no permite una recuperación suplementaria de energía de los humos en forma de vapor sobrecalentado, como es el caso en el documento EP-A-1338848, debido a que, a efectos prácticos, los humos en la salida del primer intercambiador presentan una temperatura netamente inferior a 1000 °C.

El documento US 2012/135362 A1 representa el estado de la técnica más próximo a las reivindicaciones 1 y 7 y describe las características de los preámbulos de estas reivindicaciones.

50 La presente invención tiene como objetivo incrementar la eficiencia de recuperación de calor de los humos de un horno de fusión que utiliza un combustible gaseoso y/u oxígeno como comburente y en el que son precalentados oxígeno de combustión y/o combustible gaseoso por intercambio de calor indirecto con los humos expulsados del horno.

- Más en particular, la presente invención se refiere a un procedimiento de fusión en un horno que incluye una cámara de fusión. De acuerdo con este procedimiento, se calienta la cámara de fusión por medio de combustión, generando así energía térmica y humos calientes en la cámara de fusión. Los humos calientes son expulsados de la cámara de fusión y se calienta aire, utilizado en calidad de gas caloportador, por intercambio térmico con al menos una parte de los humos calientes expulsados de la cámara de fusión, con obtención de aire caliente. Se precalienta al menos un reactivo seleccionado de entre oxígeno y/o combustible gaseoso por intercambio térmico con el aire caliente, con obtención de al menos un reactivo precalentado y aire atemperado, y se utiliza el al menos un reactivo precalentado como reactivo de combustión para el calentamiento de la cámara de fusión. Según la invención, se comprime el aire atemperado, obtenido tras el precalentamiento del al menos un reactivo, en un compresor de aire en orden a obtener aire atemperado comprimido. A continuación, este aire atemperado comprimido es calentado por intercambio térmico con humos calientes generados por la combustión dentro de la cámara de fusión, en orden a obtener aire comprimido calentado con el que se genera energía mecánica y/o eléctrica mediante expansión de este aire comprimido calentado en una turbina de expansión.
- Se observa, según la invención, una sinergia significativa entre, por una parte, el sistema de recuperación de energía térmica de los humos procedentes de la cámara de fusión y, por otra, la energía recuperada por la turbina de expansión. En efecto, se advierte un rendimiento global netamente por encima del rendimiento energético que cabe prever para una simple yuxtaposición de una turbina de expansión y de una instalación de recuperación de energía térmica por precalentamiento de reactivos por medio de los humos calientes.
- Es de señalar que no necesariamente la combustión es el único medio de calentamiento de la cámara de fusión y que el horno puede estar dotado de medios de combustión auxiliares, tales como electrodos.
- De manera ventajosa, se precalienta, en calidad de reactivo de combustión, oxígeno por intercambio térmico con el aire caliente. Se puede igualmente precalentar combustible gaseoso en calidad de reactivo de combustión, solo o, preferentemente, en combinación con oxígeno.
- El oxígeno precalentado puede ser el único comburente utilizado para la combustión en la cámara de fusión. El oxígeno precalentado se puede utilizar igualmente en combinación con aire en calidad de comburente, típicamente aire precalentado.
- De este modo, el horno de fusión puede ser un horno de oxicomustión (cuyo único comburente es oxígeno), un horno de combustión enriquecido (que utiliza aire enriquecido con oxígeno en calidad de comburente) o también un horno de oxidante mixto (que utiliza una combinación de combustión con oxígeno y una combinación de combustión con aire, pudiendo estar este aire, ocasionalmente, enriquecido con oxígeno).
- En el presente contexto, el término "oxígeno" hace referencia a un gas que tiene un contenido en O<sub>2</sub> de al menos el 75 % en volumen, preferentemente entre el 80 % en volumen y el 100 % en volumen, y aún más preferentemente, entre el 90 % en volumen y el 100 % en volumen.
- Análogamente, el combustible gaseoso precalentado puede ser el único combustible utilizado para la combustión en la cámara de fusión, o el combustible gaseoso precalentado se puede utilizar en combinación con otro combustible.
- El horno es preferentemente un horno de oxicomustión.
- El gas natural es un combustible gaseoso preferido.
- El precalentamiento de al menos un reactivo de combustión por intercambio térmico con el aire caliente se realiza típicamente en un intercambiador de calor, llamado intercambiador de calor primario.
- El calentamiento del aire, utilizado como gas caloportador, análogamente se realiza típicamente en un segundo intercambiador de calor, llamado intercambiador de calor secundario.
- Según un primer modo de realización, el aire atemperado comprimido es calentado igualmente en el intercambiador de calor secundario por intercambio térmico con los humos calientes.
- Según un modo de realización alternativo, el aire atemperado comprimido es calentado por intercambio térmico con humos calientes en un tercer intercambiador térmico, llamado intercambiador térmico terciario. El intercambiador secundario y el intercambiador terciario pueden funcionar en serie o en paralelo. En el último caso, se dividen los humos calientes en varias fracciones. Una primera fracción es introducida entonces en el intercambiador secundario para el calentamiento del aire que se utiliza como gas caloportador. Una segunda fracción es introducida en el intercambiador terciario para el calentamiento del aire atemperado comprimido aguas arriba de la turbina de expansión.
- La energía mecánica y/o eléctrica generada por la turbina de expansión puede ser suministrada, al menos en parte, a uno o varios compresores de aire. El o los compresores de aire se seleccionan especialmente de entre: un compresor de aire que comprime el aire atemperado, un compresor de aire que alimenta una unidad de separación de los gases del aire y otro compresor de aire tal como, por ejemplo, un compresor de aire que suministra aire

comprimido en calidad de gas caloportador al intercambiador de calor secundario. En efecto, la instalación de fusión no solo está equipada con un compresor de aire, muchas veces denominado soplante, para la compresión de aire atemperado para el intercambiador secundario, sino que también incluye generalmente un compresor de aire para el suministro del aire antes de su utilización como gas caloportador.

- 5 La instalación también puede comprender una unidad de separación de los gases del aire y/u otras unidades consumidoras de aire comprimido suministrado por un compresor de aire.

La instalación puede comprender especialmente una unidad de separación de los gases del aire que suministra el oxígeno de combustión, instalaciones de refrigeración con aire comprimido, etc. La turbina de expansión puede suministrar entre el 75 % y el 100 %, preferentemente el 100 % del consumo energético del compresor de aire que alimenta el intercambiador de calor secundario con aire comprimido.

10 Preferentemente, la turbina de expansión suministra entre el 25 % y el 100 %, preferentemente entre el 50 % y el 100 % y, en particular, el 100 % del consumo energético del compresor de aire que alimenta la unidad de separación de los gases del aire. Esta unidad de separación de los gases del aire genera preferentemente oxígeno utilizado como reactivo de combustión en el procedimiento de fusión. La unidad de separación de los gases del aire puede incluir especialmente una columna de destilación criogénica de los gases del aire, aunque también son concebibles otros tipos de unidades de separación de los gases del aire.

Es útil prever un depósito de oxígeno líquido como fuente de oxígeno de combustión en un paro o una reducción de la producción de oxígeno de combustión mediante la unidad de separación de los gases del aire. Tal depósito de oxígeno presenta un volumen de almacenamiento que permite la alimentación de oxígeno de combustión a una capacidad de la cámara de fusión durante 6 a 8 horas en un paro de la unidad de separación de los gases del aire. Es útil asimismo prever una fuente auxiliar de energía tal como un generador, para suministrar energía mecánica y/o energía eléctrica destinada a su utilización en un paro de la turbina de expansión.

20 Los parámetros del procedimiento dependen del material que haya de fundirse, tal como vidrio, metal, esmalte, etc., del tamaño y del tipo de la cámara de fusión, del caudal de material fundido, etc.

25 Se han identificado como ventajosos los siguientes parámetros operativos, solos o en combinación, en especial, aunque no únicamente, cuando el procedimiento es un procedimiento de fusión de vidrio:

- la temperatura de los humos calientes expulsados de la cámara de fusión es de 1000 °C a 2000 °C,
- la temperatura del oxígeno en la salida del intercambiador primario (oxígeno precalentado) es del orden de 250 °C a 600 °C,
- 30 • la temperatura del combustible gaseoso en la salida del intercambiador primario (combustible precalentado) es del orden de 250 °C a 550 °C,
- la temperatura del aire caliente procedente del intercambiador secundario es de 600 °C a 800 °C,
- la temperatura del aire comprimido calentado procedente, según sea el caso, del intercambiador secundario o terciario es de 600 °C a 800 °C,
- 35 • la temperatura del aire atemperado procedente del intercambiador primario es de 150 °C a 400 °C.

La presente invención se refiere asimismo a una instalación de fusión adaptada para la puesta en práctica de uno cualquiera de los modos de realización del procedimiento según la invención.

Así, la invención se refiere a una instalación de fusión que incluye un horno que define una cámara de fusión calentada por combustión. La cámara de fusión incluye al menos una salida de humos para la expulsión de los humos generados por esta combustión.

La instalación incluye asimismo un intercambiador de calor primario para el precalentamiento de oxígeno de combustión y/o de combustible gaseoso aguas arriba de la cámara de fusión por intercambio térmico con aire en calidad de gas caloportador. Dicho intercambiador primario presenta (a) una entrada de gas caloportador (caliente) y una salida de gas caloportador (atemperado) y (b) una entrada de oxígeno de combustión (para el oxígeno de combustión que ha de precalentarse) y una salida de oxígeno de combustión (para el oxígeno de combustión precalentado) y/o una entrada de combustible gaseoso (para combustible gaseoso que ha de precalentarse) y una salida de combustible gaseoso (para el combustible gaseoso precalentado).

El intercambiador primario presenta, de manera útil, una entrada y una salida de oxígeno de combustión y asimismo, preferentemente, una entrada y una salida de combustible gaseoso.

50 La instalación de fusión también incluye un intercambiador de calor secundario para el calentamiento de aire, que es utilizado como gas caloportador en el intercambiador primario, por intercambio térmico con los humos procedentes

de la cámara de fusión. Dicho intercambiador secundario presenta (a) una entrada de aire (para el fluido caloportador que ha de calentarse) y una salida de aire comprimido (para el aire comprimido calentado) y (b) una entrada de humos (calientes) y una salida de humos (atemperados).

- 5 La entrada de humos del intercambiador secundario está unida a al menos una salida de humos de la cámara de fusión. La salida de oxígeno de combustión del intercambiador primario está unida a al menos un inyector de comburente de la cámara de fusión. La salida de comburente gaseoso del intercambiador primario está unida a al menos un inyector de combustible de la cámara de fusión.

Por regla general, en el presente contexto, el término “unido” se utiliza en el sentido de “unido fluidicamente”, por ejemplo por medio de una canalización.

- 10 La salida de aire (atemperado) del intercambiador de calor primario está unida a una entrada de aire de un compresor de aire, llamado primer compresor de aire, el primer compresor de aire tiene una salida de aire comprimido que está unida a un intercambiador de calor para el calentamiento de aire comprimido, en el que el aire comprimido es calentado por intercambio térmico con humos generados por la combustión en la cámara de fusión. El intercambiador de calor para el calentamiento del aire comprimido tiene una salida de aire comprimido calentado que está unida a una entrada de gas comprimido de una turbina de expansión, para la generación de energía mecánica y/o eléctrica mediante la expansión, en esta turbina de expansión, del aire comprimido calentado.

- 20 Según un modo preferido de realización de la instalación, la turbina de expansión suministra energía mecánica y/o eléctrica a al menos un compresor de aire. La turbina de expansión puede suministrar especialmente energía mecánica y/o eléctrica a al menos un compresor de aire seleccionado de entre: el primer compresor de aire, un compresor de aire que alimenta una unidad de separación de los gases del aire y otro compresor de aire, tal como un compresor de aire, llamado “segundo compresor”, que suministra aire comprimido a al menos otra unidad de la instalación consumidora de aire comprimido. Así, el segundo compresor puede ser un compresor de aire que suministra aire en calidad de gas caloportador al intercambiador de calor secundario.

- 25 Cuando la turbina de expansión suministra energía mecánica a al menos un compresor de aire, esto se realiza ventajosamente por medio de un árbol de transmisión que une la turbina de gas a dicho compresor de aire.

- 30 Cuando la instalación según la invención incluye una unidad de separación de los gases del aire, esta presenta preferentemente una salida de oxígeno unida a al menos un inyector de comburente de la cámara de fusión, para el suministro de oxígeno de combustión mediante la unidad de separación a dicho al menos un oxiquemador. De manera preferida, la salida de oxígeno de la unidad de separación de los gases del aire está unida, para este fin, a la entrada de oxígeno de combustión del intercambiador primario. La salida de oxígeno de la unidad de separación de los gases del aire está unida entonces a al menos un inyector de comburente por mediación del intercambiador primario, cuya salida de oxígeno de combustión está unida a dicho al menos un inyector de comburente.

- 35 Tal como se ha indicado antes, la unidad de separación de los gases del aire incluye preferentemente una columna de destilación criogénica de los gases del aire. La unidad de separación de los gases del aire también puede ser un sistema basado en la técnica llamada VSA (Vacuum Swing Adsorption).

Asimismo, la instalación incluye ventajosamente un depósito de oxígeno en calidad de fuente de oxígeno de combustión en un paro o una productividad reducida de la unidad de separación de los gases del aire. La instalación puede asimismo incluir, de manera útil, una fuente auxiliar de energía mecánica y/o de energía eléctrica, tal como un generador, para el suministro de energía mecánica y/o eléctrica en un paro de la turbina de expansión.

- 40 Tal como se ha indicado anteriormente, la combustión puede ser el único medio de calentamiento de la cámara de fusión o puede estar combinada con otros sistemas de calentamiento, tales como electrodos.

El oxígeno de combustión (caliente) puede ser el único comburente o se puede combinar con otros comburentes, tales como, en particular, aire. El combustible gaseoso puede ser el único combustible o se puede combinar con otros combustibles.

- 45 Un inyector de comburente unido a la salida de oxígeno de combustión del intercambiador primario puede formar parte de un quemador de la cámara de fusión. Tal inyector de oxígeno puede formar parte, asimismo, de una lanza de comburente de la cámara de fusión y, en particular, de una lanza de oxígeno.

- 50 Análogamente, un inyector de combustible gaseoso unido a la salida de combustible gaseoso del intercambiador primario puede formar parte de un quemador de la cámara de fusión o puede estar integrado en una lanza de combustible de dicha cámara.

Según un modo preferido de realización, el horno de fusión es un horno para vidrio y, en particular, un horno para vidrio de tipo llamado horno float (es decir, un horno para baño de flotación, también denominado baño de metal), pero la invención es también útil para otros hornos de fusión, inclusive hornos de fusión de metales tal como, por ejemplo, los metales no ferrosos.

Si bien la anterior descripción de la invención se limita a un modo de realización según el cual se utiliza aire en calidad de gas caloportador, según una variante de la invención, se puede utilizar, en calidad de gas caloportador, otro gas, tal como, por ejemplo, el nitrógeno.

5 El gas caloportador puede circular en circuito abierto o en circuito cerrado. En el último caso, el gas obtenido tras la expansión en la turbina de expansión se reutiliza en calidad de gas caloportador en el procedimiento / instalación. Este modo de realización está especialmente indicado cuando el gas caloportador es un gas distinto al aire.

La presente invención y sus ventajas se describen seguidamente con mayor detalle haciendo referencia a las figuras 1 y 2.

10 Las figuras 1 y 2 son representaciones esquemáticas de dos ejemplos de una instalación y de un procedimiento según la invención que utilizan aire en calidad de gas caloportador.

El horno de fusión incluye una cámara de fusión 100 de oxicomustión, calentada por cierto número de oxiquemadores (no representados). Dichos quemadores son alimentados con combustible, tal como, por ejemplo, el gas natural, por el conducto 105 y con oxígeno de combustión, por el conducto 104.

15 El oxígeno de combustión es generado por una unidad de separación de los gases del aire 160, que separa aire comprimido 161 en un flujo de oxígeno 40, que tiene un contenido en O<sub>2</sub> de al menos el 90 % en volumen, y un flujo (no representado) que principalmente consiste en N<sub>2</sub>.

Los humos 20 generados por la oxicomustión en la cámara de fusión 100 son expulsados de la cámara de combustión por la salida 101, teniendo dichos humos 20 una temperatura entre 1000 °C y 2000 °C, por ejemplo entre 1250 °C y 1750 °C.

20 Dichos humos calientes 20 o al menos una parte 21 de dichos humos son conducidos hacia un primer intercambiador de calor, llamado "intercambiador de calor secundario" 140. Los humos calientes (20, 21) entran al intercambiador secundario 140 por una entrada de humos 143 y salen por la salida de humos 144. En el interior del intercambiador secundario 140, los humos calientan aire 30 por intercambio térmico.

25 El aire 30 es introducido en el intercambiador secundario 140 por una entrada de aire 141. El aire calentado 31 sale del intercambiador secundario 140 por la salida de aire 142 a una temperatura entre 600 °C y 800 °C.

El aire calentado 31 procedente del intercambiador secundario 140 es conducido hacia e introducido en un segundo intercambiador de calor, llamado "intercambiador primario" 130, por la entrada de gas caloportador 131.

30 En las figuras se muestra un solo intercambiador primario 130. No obstante, dicho intercambiador primario 130 puede descomponerse en una serie de varios subintercambiadores primarios, es decir, una serie de intercambiadores gas caloportador / oxígeno de combustión y/o de intercambiadores gas caloportador / combustible gaseoso.

35 Por la entrada de oxígeno 133 es introducido en el intercambiador primario 130, procedente de la unidad de separación 160, un flujo de oxígeno 40, que sale del intercambiador primario, por la salida de oxígeno 134, en calidad de oxígeno precalentado 41. Por la entrada de combustible 135 es introducido en el intercambiador primario 130 un flujo de gas natural 50, que sale del intercambiador primario 130, por la salida de combustible 136, en calidad de gas natural precalentado 51.

40 En el interior del intercambiador primario 130, el flujo de oxígeno 40 es precalentado a una temperatura entre 350 °C y 650 °C, por ejemplo, a 550 °C, por intercambio térmico con el aire calentado 31, y el flujo de gas natural 50 es precalentado a una temperatura entre 250 °C y 550 °C, por ejemplo, a 450 °C, también por intercambio térmico con el aire calentado 31.

El oxígeno así precalentado 41 es transportado en calidad de oxígeno de combustión hacia la cámara de fusión 100 por el conducto 104 y el gas natural así precalentado 51 es transportado en calidad de combustible hacia la cámara de fusión 100 por el conducto 105.

45 Tras su utilización para el precalentamiento del oxígeno y del combustible gaseoso, el gas caloportador (aire) atemperado 32 es expulsado del intercambiador primario 130 por la salida de aire 132.

El aire atemperado 32 es conducido hacia un compresor de aire 110, en el que se comprime el aire atemperado a una presión entre 10 y 20 atm, por ejemplo a aproximadamente 15 atm, en orden a obtener, en la salida 112 del compresor 110, aire atemperado comprimido 33.

50 El aire atemperado comprimido 33 es conducido entonces hacia un intercambiador de calor para ser calentado por intercambio térmico con humos calientes 20 procedentes de la cámara de fusión 100.

Así, en el modo de realización ilustrado en la figura 1, el aire atemperado comprimido 33 es introducido en el

intercambiador secundario 140 por la entrada de aire comprimido 153, y el aire comprimido calentado 34 obtenido por intercambio térmico con los humos calientes 20 es expulsado del intercambiador secundario 140 por la salida de aire comprimido calentado 154.

5 En el modo de realización ilustrado en la figura 2, el aire atemperado comprimido 33 es introducido en un tercer intercambiador de calor, llamado "intercambiador terciario" 150, por la entrada de aire comprimido 153. Los humos calientes 20 se dividen en dos fracciones 21 y 22. La fracción de humos calientes 21 es introducida en el intercambiador secundario 140 para el calentamiento del aire 30 que se utiliza como gas caloportador. La fracción de humos calientes 22 es introducida en el intercambiador terciario 150 por la entrada de humos calientes 151 para el calentamiento del aire atemperado comprimido 33 obtenido por compresión, en el compresor 110, del aire atemperado procedente del intercambiador primario. Los humos atemperados son expulsados del intercambiador terciario 150 por la salida de humos 152 y el aire comprimido calentado es expulsado por la salida de aire comprimido 154.

15 La graduación de la fracción de humos calientes 21 enviada hacia el intercambiador secundario 140 y de la fracción de humos calientes 22 enviada hacia el intercambiador terciario 150 en función de la energía térmica necesaria, respectivamente, para el calentamiento del aire 30 utilizado en calidad de gas caloportador y el calentamiento del aire comprimido, permite optimizar la recuperación y el aprovechamiento de la energía térmica presente en los humos calientes 20, en la salida de la cámara de fusión 100.

20 El aire comprimido calentado 34 es conducido entonces hacia la entrada de gas comprimido 121 de una turbina de expansión 120. La expansión del aire comprimido calentado 34 en esta turbina de expansión 120 genera energía mecánica y eléctrica. Tras la expansión, el aire es expulsado de la turbina de expansión por la salida 122.

En los casos ilustrados, la energía obtenida mediante esta expansión del aire comprimido calentado se transmite:

- por una parte, al compresor de aire 34, en forma de energía mecánica, mediante el árbol de transmisión 123, y
- por otra, a la unidad de separación 160, en forma de energía eléctrica, mediante la conexión 124.

25 Ejemplo

La presente invención y sus ventajas se ilustran en el ejemplo comparativo que sigue.

El ejemplo según la invención corresponde al esquema de la figura 1.

La referencia corresponde al mismo esquema, con la salvedad de que el aire atemperado 32 procedente del intercambiador de calor primario 130 se envía directamente a la chimenea.

30 El horno es un horno de fusión de vidrio calentado por oxidación únicamente, con un consumo de oxígeno de 7000 Nm<sup>3</sup>/h y una producción aproximada de 620 t/d de vidrio.

El consumo eléctrico de la unidad de separación de los gases del aire se estima a 3 MWe.

En el intercambiador primario 130, el oxígeno es precalentado a 550 °C y el gas natural es precalentado a 450 °C.

En el intercambiador secundario 140, el aire es calentado a 650 °C.

35 En el ejemplo según la invención, los gases de combustión salen de la cámara de combustión 41 a la temperatura de 1300 °C.

El balance eléctrico se define tomando el consumo de energía para la compresión de aire para la alimentación de la unidad de separación 160, para la alimentación del intercambiador secundario con gas caloportador y para la compresión del aire atemperado 32 en el compresor 110.

40 Se han de considerar dos supuestos:

- un supuesto en el que el precio de la electricidad es de 40 €/MWh,
- un supuesto en el que el precio de la electricidad es de 140 €/MWh.

La tabla 1 proporciona los datos económicos resultantes de estos balances de material y energía, para el supuesto 1.

45 El coeficiente de inversión permitido se calcula basándose en una amortización en 4 años con una disponibilidad del equipo de 8600 horas/año.

## ES 2 622 713 T3

	Referencia	Inversión
Balance eléctrico (kWe)	-2991,0	-2347,9
OPEX (EUR/h)	209,37	164,35
Inversión adicional (EUR/kWh)		2408

Tabla 1: cálculo del coste de inversión (supuesto 1)

Para el supuesto 2, en el que el gas natural está a 40€/MWh y la electricidad, a 140€/MWh, los datos económicos figuran en la tabla 2:

	Referencia	Inversión
Balance eléctrico (kWe)	-2991	
OPEX (EUR/h)	418,74	328,71
Inversión adicional (EUR/kWh)		4816

Tabla 2: cálculo del coste de inversión (supuesto 2)

- 5 Para la referencia, se observa un balance eléctrico de -2991 kWe. Según la inversión, el balance eléctrico se reduce a -2347,9 kWe, es decir, una reducción de más del 20 %. Esto muestra que la inversión presenta un verdadero interés económico, en particular en regiones con alto precio de energía.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de fusión en un horno que incluye una cámara de fusión (100), procedimiento en el que:
    - se calienta la cámara de fusión (100) por medio de combustión, generando así energía térmica y humos calientes (20) en la cámara de fusión (100),
  - 5       • se expulsan los humos calientes (20) de la cámara de fusión (100) y se calienta aire (30), en calidad de gas caloportador, por intercambio térmico con humos calientes (20) expulsados de la cámara de fusión (100), con obtención de aire caliente (31),
  - 10       • se precalienta al menos un reactivo seleccionado de entre oxígeno (40) y/o combustible gaseoso (50) por intercambio térmico con el aire caliente (31), con obtención de al menos un reactivo precalentado (41, 51) y aire atemperado (32) y se utiliza el al menos un reactivo precalentado (41, 51) como reactivo de combustión para el calentamiento de la cámara de fusión (100),
- caracterizado por que:
- se comprime el aire atemperado (32) en un primer compresor de aire (110) en orden a obtener aire atemperado comprimido (33),
  - 15       • se calienta el aire atemperado comprimido (33) por intercambio térmico con humos calientes (20) en orden a obtener aire comprimido calentado (34), y
  - se genera energía mecánica y/o eléctrica mediante expansión del aire comprimido calentado (34) en una turbina de expansión (12).
- 20       2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que se precalienta el al menos un reactivo de combustión (40, 50) por intercambio térmico con el aire caliente (31) en un intercambiador de calor primario (130) y se calienta el gas caloportador (30) por intercambio térmico con humos calientes (20) expulsados de la cámara de fusión (100) en un intercambiador de calor secundario (140).
  - 25       3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que se calienta asimismo el aire atemperado comprimido (33) por intercambio térmico con humos calientes (20) expulsados de la cámara de fusión (100) en el intercambiador secundario (140).
  4. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que se calienta el aire atemperado comprimido (33) con humos calientes (20) expulsados de la cámara de fusión (100) en un intercambiador de calor terciario (150).
  - 30       5. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en el que la energía mecánica y/o eléctrica generada por la turbina de expansión (120) se suministra al menos en parte a uno o varios compresores de aire (110).
  6. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en el que el horno de fusión es un horno de fusión de vidrio, preferentemente un horno de fusión de vidrio de tipo float.
  7. Instalación de fusión que incluye:
    - 35       • un horno que define una cámara de fusión (100) calentada por combustión y que incluye al menos una salida de humos (101) generados por la combustión,
    - un intercambiador de calor primario (130) para el precalentamiento del oxígeno de combustión (40) y/o de combustible gaseoso (50) aguas arriba de la cámara de fusión (100) por intercambio térmico con aire (31) en calidad de gas caloportador, presentando dicho intercambiador primario (130) (a) una entrada (131) y una salida (132) de gas caloportador y (b) una entrada (133) y una salida (134) de oxígeno de combustión y/o una entrada (135) y una salida (136) de combustible gaseoso,
    - 40       • un intercambiador de calor secundario (140) para el calentamiento de aire (30) por intercambio térmico con los humos (20) procedentes de la cámara de fusión (100), presentando dicho intercambiador secundario (140) (a) una entrada (141) y una salida (142) de aire y (b) una entrada (143) y una salida (144) de humos,
- instalación en la que:
- 45       • la entrada de humos (143) del intercambiador secundario (140) está unida a una salida de humos (101) de la cámara de fusión (100),
  - la salida de oxígeno de combustión (134) del intercambiador primario (130) está unida a al menos un inyector de comburente (102) de la cámara de fusión (100) y/o la salida de combustible gaseoso (136) del

intercambiador primario (130) está unida a al menos un inyector de combustible (103) de la cámara de fusión (100),

y caracterizada por que:

- 5
  - la salida de aire (132) del intercambiador de calor primario (130) está unida a una entrada de aire (111) de un primer compresor de aire (110), teniendo dicho primer compresor de aire (110) una salida de aire comprimido (112) unida a una entrada de aire comprimido (143, 153) de un intercambiador de calor (140, 150) para el calentamiento de aire comprimido (33) por intercambio térmico con humos (20) generados por la combustión en la cámara de fusión (100), teniendo dicho intercambiador de calor una salida (146, 153) de aire comprimido calentado (34), estando unida dicha salida de aire calentado (34) a una entrada de gas comprimido (122) de una turbina de expansión (120) para la generación de energía mecánica y/o eléctrica mediante la expansión del aire comprimido calentado (34) en la turbina de expansión (120).
- 10 8. Instalación según la reivindicación 7, en la que el intercambiador de calor secundario (140) es utilizado igualmente en calidad de intercambiador de calor para el calentamiento de aire comprimido.
- 15 9. Instalación según la reivindicación 7, en la que un tercer intercambiador de calor, llamado intercambiador de calor terciario, es utilizado en calidad de intercambiador de calor para el calentamiento de aire comprimido (33).
- 10. Instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en la que la turbina de expansión (120) suministra energía mecánica y/o eléctrica a al menos un compresor de aire (110).
- 20 11. Instalación según la reivindicación 10, en la que la turbina de expansión (120) suministra energía mecánica y/o eléctrica a al menos un compresor de aire seleccionado de entre: el primer compresor de aire (120), un segundo compresor de aire que alimenta una unidad de separación de los gases del aire (110) y otro compresor de aire.
- 12. Instalación según la reivindicación 7 a 11, en la que la turbina de expansión (120) suministra energía mecánica o eléctrica a una unidad de separación de los gases del aire (160) y/o un compresor de aire de una unidad de separación de los gases del aire (160), presentando dicha unidad de separación de los gases del aire una salida de oxígeno unida a la entrada de oxígeno de combustión (133) del intercambiador primario (130).
- 25 13. Instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, en la que:
  - la salida de oxígeno de combustión (134) del intercambiador primario (130) está unida a al menos un inyector de comburente (102) integrado en un quemador de la cámara de fusión (100) y/o la salida de combustible gaseoso (136) del intercambiador primario (130) está unida a al menos un inyector de combustible (103) integrado en un quemador de la cámara de fusión (100);
- 30 y/o en la que
  - la salida de oxígeno de combustión (134) del intercambiador primario (130) está unida a al menos un inyector de comburente (102) integrado en una lanza de comburente de la cámara de fusión (100) y/o la salida de combustible gaseoso (136) del intercambiador primario (130) está unida a al menos un inyector de combustible (103) integrado en una lanza de combustible de la cámara de fusión (100).
- 35 14. Instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 13, en la que el horno de fusión es un horno para vidrio, preferentemente un horno para vidrio de tipo float.
- 15. Utilización de una instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 14 en un procedimiento según la reivindicación 1.

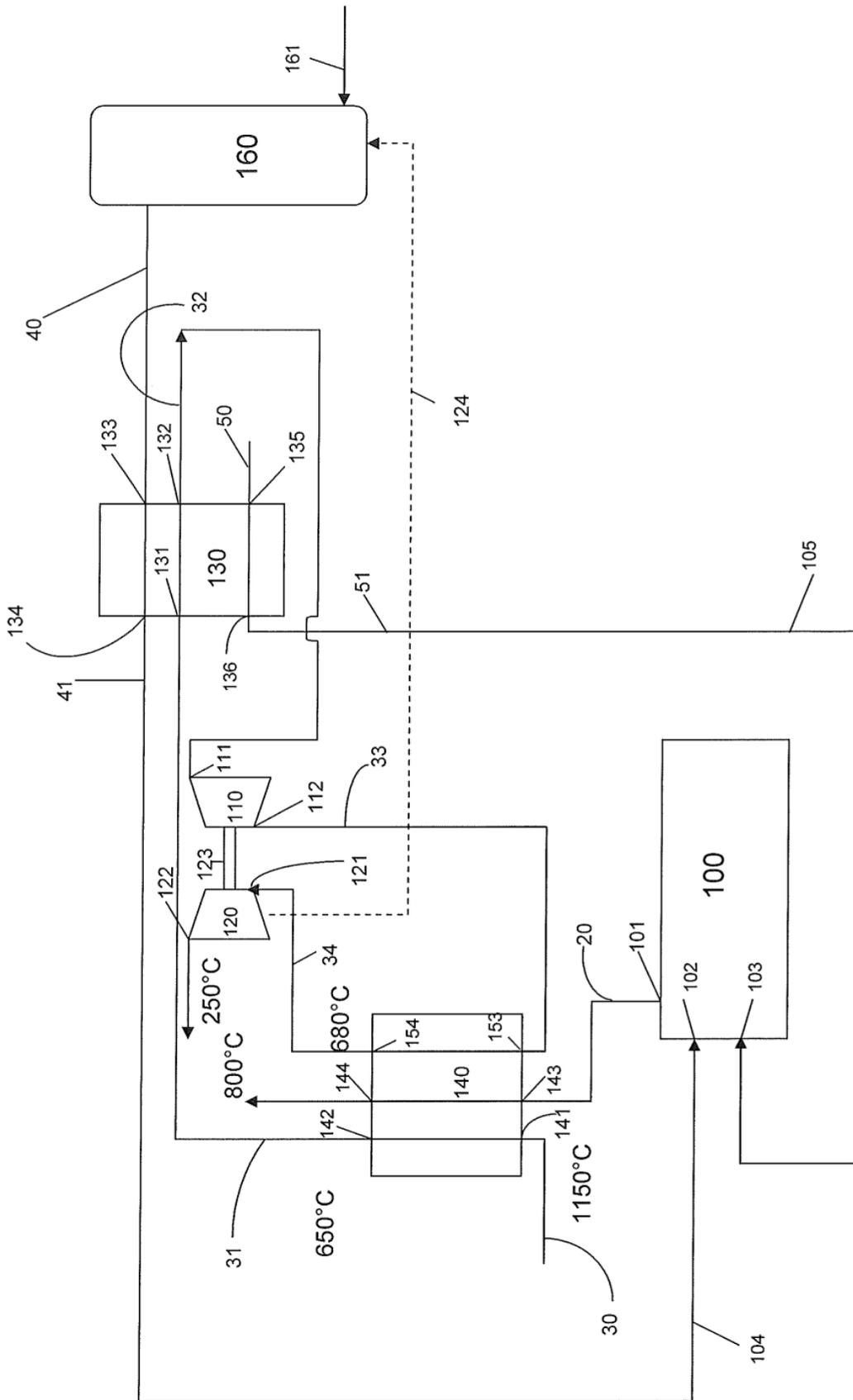


FIG 1

