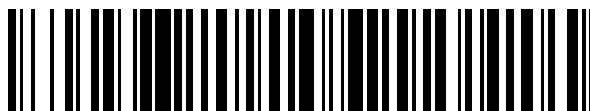


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 617 876**

51 Int. Cl.:

**C03B 3/02** (2006.01)

**C03B 5/04** (2006.01)

**C03B 5/235** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.08.2010 PCT/IB2010/053526**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.02.2011 WO2011015994**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.08.2010 E 10748149 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2016 EP 2462066**

54 Título: **Horno de fusión de materias primas vitrificables con zona optimizada de precalentamiento**

30 Prioridad:

**07.08.2009 FR 0903898**

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

**20.06.2017**

73 Titular/es:

**FIVES STEIN (100.0%)  
108-112, avenue de la Liberté  
94701 Maisons-Alfort Cedex, FR**

72 Inventor/es:

**KUHN, WOLF STEFAN;  
TABLOUL, SAMIR;  
STROCK, BERTRAND y  
PANARD, GÉRARD**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 617 876 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**

Horno de fusión de materias primas vitrificables con zona optimizada de precalentamiento

La invención concierne a un horno de calentamiento y/o fusión de materias, como los que comprenden:

- una cuba cubierta por una bóveda que contiene un baño de materias en fusión,

5 - una zona de combustión provista de medios de calentamiento, en particular, quemadores,

- al menos una entrada situada previamente al horno para el enhornado de las materias a calentar,

- al menos una zona de recuperación de energía entre la entrada y la zona de combustión donde circulan mayoritariamente los humos de combustión,

- al menos una salida posterior para las materias calentadas o fundidas,

10 - al menos una abertura de evacuación de los humos prevista previamente a la zona de recuperación.

La invención se refiere, más concretamente, a un horno de calentamiento y/o fusión para materias vitrificables, cuyo equipamiento de calentamiento es, parcialmente al menos, de oxi-combustión, en donde la cuba contiene un baño de materias en fusión cuando el horno funciona. En un horno tal, las materias a vitrificar introducidas por la entrada forman una alfombra que flota sobre el baño y que entra progresivamente en fusión,

15 La invención se refiere preferiblemente a hornos de oxi-combustión y hornos mixtos, es decir, parcialmente de oxi-combustión.

En el caso de un horno mixto, es ventajoso utilizar los humos de la sección de oxi-combustión para el precalentamiento de las materias primas.

20 El documento FR 1 256 831 describe un horno de fusión de materias vitrificables de aero-combustión. La recuperación de la energía de los humos se realiza principalmente a través del precalentamiento del aire de combustión en regeneradores. El enhornado de la materia a vitrificar se ha realizado a través de un dispositivo orientado verticalmente en el cual la materia a vitrificar pasa de arriba abajo a contracorriente de una pequeña parte de humos que se evacuan hacia arriba. Esta salida a contracorriente está destinada a precalentar las materias primas a vitrificar. Para evitar la colmatación de las mismas en este dispositivo, la temperatura de los humos debe limitarse a aproximadamente 700 a 800°C. Para reducir la temperatura de los humos procedentes de la combustión, estos cruzan anteriormente una zona de agotamiento que comprende una bóveda más baja que la que está situada en la zona de combustión. La baja altura de la bóveda se explica por la necesidad de limitar la altura de caída de las materias primas y la necesidad de introducir los humos abajo del precalentador vertical. Esta patente se refiere a un horno de aero-combustión y no trata el problema de optimización de una zona de recuperación de un horno en el que circula lo esencial de los humos de una oxi-combustión, objeto de la invención.

35 El documento FR 2 711 981 (9313021) describe un horno de fusión de materias vitrificables de oxi-combustión que comprende una zona de recuperación, separada de la zona de combustión por una pantalla de protección contra la radiación. La altura de la bóveda se reduce ligeramente en la zona de recuperación con objeto de acelerar la velocidad de los humos de combustión que convergen hacia las materias vitrificables. Sin embargo, la altura de la bóveda en esta zona de recuperación se mantiene muy por encima de la cara inferior de la pantalla 11 con objeto de mantener un volumen de humos importante. Se supone que este volumen importante es necesario para el experto en la técnica para garantizar una buena emitancia de los humos semitransparentes. Esta altura de bóveda importante no permite una eficacia óptima de la zona de recuperación como lo muestra nuestra invención.

40 El documento US 5 536 291 describe un horno de fusión de materias vitrificables de aero-combustión. Esta patente revela una concepción de horno que permite reducir las emisiones de óxidos nitrosos Nox. Un medio conocido por el experto en la técnica para reducir la formación de Nox consiste en realizar la combustión en defecto de aire. El horno según esta patente comprende una zona de combustión en donde están implantados quemadores. Cuando está previsto que estos quemadores funcionen en defecto de aire, el horno comprende una zona suplementaria destinada a completar la combustión. Esta zona va equipada de un par de quemadores abastecidos con un exceso de aire elevado, con objeto de aportar el oxígeno complementario para terminar la combustión de los humos procedentes de la zona de fusión. Para favorecer una mezcla eficaz entre los humos procedentes de la zona de fusión y el oxígeno aportado en la zona suplementaria, la altura de la bóveda se reduce en esta zona. La presencia de pantallas por una y otra parte de esta zona suplementaria y el descenso de la bóveda en esta zona también permiten reforzar la transferencia de calor por convección entre los humos y la alfombra de materias primas resultante del aumento de la velocidad de los humos. De esta manera, la transferencia por convección puede compensar la escasa emitancia de los humos. Sin embargo, esta configuración solo conviene para un elevado tipo de residuos de vidrio en el lote para limitar que el polvo vuele.

50 La función de esta zona suplementaria, que está principalmente vinculada a la oxidación de los residuos sin quemar, no está optimizada para agotar térmicamente humos, en particular, de oxi-combustión.

La invención tiene por objeto, sobre todo, mejorar los intercambios térmicos entre los humos y las materias a calentar, en particular, las que están constituidas por una alfombra de materias a vitrificar, con objeto de agotar lo mejor posible la energía térmica de los humos antes de su evacuación por la chimenea.

5 Según la invención, un horno de calentamiento y/o fusión de materias a vitrificar cuyo equipamiento de calefacción es, parcialmente al menos, de oxi-combustión, comprende:

- una cuba cubierta por una bóveda que contiene un baño de materias en fusión,

- una zona de combustión provista de medios de calentamiento, de modo que la cuba (3) contiene un baño (7) de materias en fusión cuando el horno está en funcionamiento, la combustión del horno, en particular la oxi-combustión, que genera humos a alta temperatura con un caudal  $Flow_{flue}$ ,

10 - al menos una entrada situada previamente al horno para el enhornado de las materias a calentar,

- al menos una zona de recuperación entre la entrada y la zona de combustión que cubre al menos una parte de la alfombra de materias primas flotante sobre el baño en fusión, en donde la mayoría de los humos de oxi-combustión circula en las zonas de recuperación,

- al menos una salida posterior para las materias calentadas o fundidas,

15 se caracteriza al menos por una abertura de evacuación de los humos prevista previamente a la zona de recuperación, en donde la altura media optimizada ( $H_{opt}$ ) de cada zona de recuperación es tal que se favorece la radiación vertical de los humos hacia la superficie de la alfombra, en detrimento de la radiación horizontal paralela a la superficie de la alfombra y en donde la bóveda superior de la zona de recuperación presenta una superficie interior que es más baja que el borde inferior del piñón, a la salida de la zona de recuperación en la zona de  
20 combustión, y la superficie interior de la zona de recuperación es continua, según la dirección longitudinal del horno, desde la zona de combustión al menos hasta la abertura de evacuación de los humos.

Según el modo de construcción de la bóveda, esta tendrá una forma en bóveda doblada o plana. La altura optimizada  $H_{opt}$  según la invención representa el valor medio transversal de la altura de la bóveda.

25 Del mismo modo, si la altura de la bóveda varía sobre la longitud de la zona de recuperación, la altura optimizada  $H_{opt}$  según la invención, representa el valor medio de la altura de la bóveda a lo largo de la zona de recuperación.

Cuando la altura de la bóveda varía sobre la anchura y la longitud, la altura optimizada  $H_{opt}$  según la invención representa el valor medio de la altura de la bóveda sobre el conjunto de la superficie de la zona de recuperación.

Según un modo de construcción de la bóveda, esta tiene una superficie interior estructurada destinada a aumentar su emisividad. En ese caso, la altura optimizada  $H_{opt}$  representa el valor medio.

30 Cuando el nivel de la superficie de la alfombra varía sobre la anchura y la longitud de la zona, la altura optimizada  $H_{opt}$  representa la distancia media entre la superficie de la alfombra y la bóveda.

Por emisividad de la alfombra se entiende la emisividad total hemisférica.

El caudal específico de humos  $sFlow_{flue}$  se expresa en kg/s por  $m^2$  de superficie de la zona de recuperación.

Según la invención, el número  $N_{recu}$  es igual a 2.

35 Para la determinación de la altura de la zona de recuperación según la invención, es necesario determinar de antemano la superficie de la zona de recuperación. Esta se define, entre otras cosas, por la tasa de recuperación de energía deseada en la zona de recuperación. La superficie que se tiene en cuenta para el cálculo de la altura de la zona, es la de la alfombra de materias primas en la zona de recuperación. Esta superficie es sensiblemente horizontal, pero puede ondular según el tipo de enhornado y la velocidad de fusión. Por simplificación, se utiliza para  
40 el cálculo la superficie de la alfombra proyectada en plano. Para un máximo aprovechamiento del agotamiento de los humos, es deseable que la alfombra de materias primas cubra lo mejor posible la superficie del vidrio en la zona de recuperación. La determinación de la superficie óptima se aborda con mayor detalle en el ejemplo de realización de la invención.

45 Para una geometría estándar rectangular, la superficie de la zona es dada por longitud x anchura. Preferiblemente, la zona de recuperación es de anchura reducida con una forma alargada. Una anchura reducida permite limitar la radiación horizontal y favorece una salida unidireccional y homogénea de los humos. Sin embargo, su anchura se define según el tipo de enhornado, la disposición de la alfombra sobre el baño y la concepción global del horno. Después de determinar la anchura de la zona de recuperación según estas consideraciones, la longitud se determina según la superficie requerida.

50 La tasa contemplada de recuperación de la energía de los humos es dictada por datos como: el coste de la energía, los posibles impuestos de  $CO_2$ , las pérdidas térmicas suplementarias debidas a la prolongación del horno resultante

de la adición de la zona de recuperación y el coste de inversión de esta zona.

El análisis de estos datos lleva a elegir un valor mínimo de la densidad de flujo de recuperación media sobre la zona de recuperación. Es del orden de 30 kW/m<sup>2</sup> para un horno vidrio hueco tradicional, sabiendo que varía según la evolución de los costes.

- 5 A partir de este flujo, la superficie de la zona de recuperación se define según la invención por:

$$S_{recu} = q^{-1,7} \cdot 10570 \cdot Flow_{flue} \cdot \varepsilon_{batch}^{0,65}$$

en donde la superficie de la zona de recuperación  $S_{recu}$  se expresa en m<sup>2</sup> en función de la densidad de flujo  $q$ , expresado en kW/m<sup>2</sup>, el caudal de humos  $Flow_{flue}$  expresado en kg/s y la emisividad media de la alfombra  $\varepsilon_{batch}$  en la zona de recuperación.

- 10 En el horno según la invención, la bóveda que domina la zona de recuperación presenta una superficie interior que es más baja que el borde inferior del piñón a la salida de la zona de recuperación en la zona de combustión, y la superficie interior de la zona de recuperación es continua, según la dirección longitudinal del horno, desde la zona de combustión al menos, hasta la abertura de evacuación de los humos.

- 15 En la zona de recuperación, la bóveda puede ser plana y constituida de bloques refractarios pegados a una estructura portadora.

La sección de paso de los humos por encima de las materias primas en la zona de recuperación se reduce suficientemente para favorecer una salida unidireccional y homogénea de los humos. La baja altura de bóveda permite también reducir los intercambios de calor radiativos en los humos según la dirección horizontal.

- 20 El horno según la invención comprende ventajosamente, cerca de la entrada de enhornado, un medio de calentamiento intenso para hacer fundir una capa superficial de las materias introducidas y aumentar la emisividad de la alfombra de materias a vitrificar.

El espesor de la capa superficial puesta en fusión puede ser de algunos milímetros, preferiblemente al menos 1 mm.

- 25 El medio de calentamiento intenso puede estar constituido por una cortina de llamas dirigidas hacia abajo a partir de una rampa de quemadores que se extienden sobre toda la anchura del horno, por encima de la alfombra de materias a vitrificar.

Como alternativa, el medio de calentamiento intenso puede estar constituido por una radiación electromagnética que se extiende sobre toda la anchura del horno, por encima de la alfombra de materias a vitrificar.

- 30 Ventajosamente, la abertura de salida de los humos se extiende sobre toda la anchura de la zona de recuperación a su extremidad anterior, en la parte alta. La abertura de salida de los humos puede presentar una forma alargada rectangular cuya dimensión grande se orienta según la anchura de la zona de recuperación.

Para reforzar la radiación vertical hacia la alfombra, la superficie interior de la bóveda puede, ventajosamente, estructurarse para aumentar su emisividad. Sin embargo, estas estructuras no deben tener un relieve demasiado marcado para no generar recirculación en la salida de los humos. La superficie debe seguir siendo globalmente continua.

- 35 El horno puede constar de un medio de dopaje de los humos en la zona de recuperación para aumentar la emitancia de los humos, mediante siembra con ayuda de partículas apropiadas, en particular, polvo de residuos de vidrio o materias a vitrificar. El medio de dopaje puede comprender medios de inyección de las partículas desde la bóveda de la zona de recuperación.

- 40 Pueden preverse algunos medios de inyección para garantizar la formación de una cortina de partículas contra la radiación a la salida de la zona de recuperación en la zona de combustión.

La invención consiste, además de las disposiciones expuestas anteriormente, en una serie de otras disposiciones que se explicará, de forma más explícita posteriormente con respecto a ejemplos de realización descritos con referencia a los dibujos anexados, pero que no son de ninguna manera restrictivas. En estos dibujos:

la fig. 1 es un corte vertical longitudinal parcial de un horno de fusión de materias vítreas,

- 45 la fig. 2 es un diagrama que ilustra la variación de la emitancia de los humos llevada en ordenadas en función del espesor de la capa de humos en metros.

la fig. 3 representa en la parte superior una vista simplificada de una zona de recuperación clásica con una salida de la alfombra de materias primas y humos a contracorriente, y en la parte inferior un gráfico de la evolución de la temperatura en ordenadas, en función de la posición sobre la longitud de la zona.

la fig. 4 es una representación similar a la fig. 3 para una zona de recuperación con una altura de bóveda limitada según la invención.

la fig. 5 es una curva que ilustra el flujo térmico (en kW) de recuperación transmitido por los humos en la alfombra llevada en ordenadas, en función de la altura de la bóveda, y

- 5 la fig. 6 es un corte vertical longitudinal similar al de la fig. 1 de un horno con zona de recuperación con bóveda plana.

Un horno según la invención difiere de la fig. 1 en el hecho de que la bóveda de recuperación según la invención no estará al mismo nivel que el borde inferior (11) del piñón, pero los métodos según la invención son aplicables a un horno según la fig. 1.

- 10 En una zona de recuperación de la energía térmica de los humos por una carga, como las materias primas, se pretende maximizar el flujo térmico entre los humos, la bóveda y la carga. La naturaleza semitransparente de los humos causa una variación de su emitancia en función de su volumen. Para humos de oxi-combustión, la fig. 2 muestra un ejemplo del aumento de la emitancia en función del espesor de la capa de humos, en donde estos tienen una temperatura de 1500 °K.

- 15 Se ve claramente en esta fig. 2 la ventaja de una capa gruesa para aumentar la emitancia de los humos. Una capa gruesa emitirá una densidad de flujo de radiación más elevada para una temperatura dada. Se espera pues una mejor transferencia de energía y un mejor rendimiento de la zona de recuperación para un espesor de humos más importante.

- 20 La densidad de flujo neto entre los humos y la alfombra de las materias primas (carga) viene determinada luego por sus intercambios radiativos. Cuanto más importante es la diferencia de temperatura, más elevada es la densidad de flujo neto. Para mantener una diferencia de temperatura y, en consecuencia, una densidad de flujo neto suficiente en toda la longitud de una zona de recuperación, se concibe la salida de los humos y de la alfombra en contracorriente.

- 25 La fig. 3 comprende en la parte superior una vista simplificada de una zona de recuperación clásica con una salida de la alfombra de materias primas y humos a contracorriente y en la parte inferior un gráfico que muestra la evolución de la temperatura en ordenadas, en función de la posición sobre la longitud de la zona.

La curva  $T_{\text{humos}}$  representa la evolución de la temperatura de los humos a lo largo de la zona de recuperación. La curva  $T_{\text{superficie alfombra}}$  representa la evolución de la temperatura de la superficie de la alfombra a lo largo de la zona de recuperación.

- 30 En la fig. 3,  $\Delta T_{\text{humos-alfombra}}$  representa la diferencia de temperatura entre los humos y la alfombra de materias primas. Es deseable mantener esta diferencia de temperatura  $\Delta T_{\text{humos-alfombra}}$  importante a lo largo de la zona de recuperación ya que determina la densidad del flujo térmico.

Como se puede ver en esta figura, la temperatura de los humos baja progresivamente a lo largo de la zona de recuperación debido al agotamiento térmico de los humos.

Este conduce a un gradiente térmico  $T_{f_{in}} - T_{f_{out}} = \Delta T_{\text{humos}}$  entre la entrada y la salida de la zona de recuperación.

- 35 La presencia de un gradiente térmico horizontal en los humos también genera un flujo de radiación horizontal.

- 40 Esta radiación horizontal conduce a una homogeneización parcial de la temperatura de los humos sobre la longitud de la zona de recuperación. Para una temperatura de entrada  $T_{f_{in}}$  dada, la temperatura de los humos empieza cayendo rápidamente debido al flujo neto en la alfombra y también debido a las pérdidas por radiación horizontal. Las pérdidas por radiación horizontal son absorbidas luego por los humos y paredes situados posteriormente. De esta manera, la energía transmitida en la alfombra por los humos próximos a la salida es compensada parcialmente con la contribución de la radiación horizontal. Este fenómeno lleva a limitar la reducción de temperatura de los humos.

- 45 Para responder a este problema, la invención propone una disminución del espesor de la capa de humos sobre la alfombra, tal como se representa en la fig. 4. Tal disminución del volumen disminuye la emitancia de los humos. No obstante, esta bóveda reducida disminuye también la sección de paso de la radiación horizontal lo que se traduce en un flujo horizontal más escaso. De este modo, se disminuye eficazmente la homogeneización horizontal de los humos. Obviamente, la presencia de un gradiente horizontal de temperatura de los humos pronunciado conduce siempre a una densidad de flujo importante. Sin embargo, la disminución de la sección de paso según la invención conduce a una reducción global del flujo de radiación horizontal.

- 50 La fig. 4 representa nuevamente una vista simplificada de una zona de recuperación como en la fig. 3, pero con una altura de bóveda limitada según la invención. En esta figura, las curvas de temperatura de la fig. 3 aparecen en puntos. Como se puede ver en esta figura, la temperatura de los humos, representada por una curva en raya continua, baja de una manera más regular a lo largo de la zona de recuperación. De esta manera, el intercambio neto entre los humos y las alfombras se optimiza sobre toda la longitud de la zona de recuperación. Como resultado,

se obtiene un mejor intercambio térmico total y una temperatura de humos  $T_{f_{out}}$  reducida en comparación con la fig. 3.

5 La fig. 5 muestra una curva que expresa el flujo térmico transmitido por los humos hacia la alfombra de materias primas, llamado flujo térmico de recuperación, en una zona de recuperación en función de la altura de la bóveda. Esta curva viene determinada por simulación numérica para una zona de recuperación de 6,4 m de anchura y 3,7 m de longitud. La producción de los oxi-humos se fija en 1,5 kg/s, la emisividad de la alfombra en 0,7, la temperatura de los humos a la entrada de la zona de recuperación en alrededor 1400°C. En este cálculo se tienen en cuenta las pérdidas por la bóveda y la radiación parásita del horno. La curva del flujo térmico de recuperación representa solamente la fracción del agotamiento de los humos debida a la transmisión de calor de dichos humos hacia la alfombra en la zona de recuperación. Los flujos térmicos de las pérdidas por la bóveda y la radiación parásita del horno no están representados en la fig. 5

15 Como se puede ver en esta curva en la fig. 5, la reducción de la altura de la bóveda conduce a un aumento del flujo térmico de recuperación. También se ve en esta figura que una altura de bóveda demasiado baja conlleva una reducción del flujo térmico de recuperación debido a una reducción demasiado importante de la emitancia de los humos. Por ello, existe una altura óptima de la bóveda según la invención para maximizar el agotamiento térmico de los humos.

20 La curva muestra que puede obtenerse un flujo óptimo con una altura de tan solo 0,4 m. Según la curva de emitancia de los humos en función de la altura de la fig. 2, un valor de 0,4 m permitiría solamente una emitancia de aproximadamente 0,25. Tal valor parece demasiado escaso para garantizar un flujo térmico satisfactorio en la alfombra.

La invención tiene por objeto permitir determinar, de una manera tan sencilla como sea posible, una altura óptima de bóveda.

25 Esta altura óptima depende de una manera compleja de numerosos parámetros (propiedades semitransparentes de los humos y de su espectro; de absorción, emisividad de la alfombra y la bóveda, gradiente de temperatura horizontal, y por supuesto las temperaturas de los humos, la alfombra, la longitud y anchura de la zona, el flujo de los humos, las pérdidas por la bóveda...).

Para responder al problema de la determinación de la altura óptima para un juego de parámetros dados, podemos imaginar distintos métodos, por ejemplo:

Método 1.

30 Para un caudal de humos y una velocidad de materias primas dados, se realiza una simulación numérica de la térmica (caudal y radiación) para distintas alturas. Los resultados de la simulación se analizan para determinar el flujo térmico de recuperación de los humos en la alfombra en función de la altura de la zona.

Método 2.

35 Se realizan medidas sobre una maqueta de una zona de recuperación de anchura reducida. La superficie de la alfombra puede estar representada por un enfriador con una superficie variable (temperatura y emisividad). La altura de la bóveda de esta maqueta es ajustable. Las medidas de temperatura permitirán establecer el balance térmico de la maqueta y extraer el flujo térmico de recuperación de los humos en la carga. Una serie de pruebas a distintas alturas de la bóveda para un juego de parámetros dados permiten determinar posteriormente la altura óptima.

Método 3.

40 Se construye una pequeña serie de hornos de fusión idénticos con la única diferencia de una variación de la altura de la bóveda en la zona de recuperación. A continuación se elaboran los balances térmicos de los hornos y, en particular, en las zonas de recuperación. Ahora bien, en la práctica industrial, es improbable que se exploten estos hornos de una manera idéntica, aunque se consiga efectuar construcciones idénticas.

Estos métodos son más o menos tediosos y costosos.

45 Para solucionar el problema de la determinación de la altura óptima para un juego de datos, la invención propone un método de determinación sencillo, para humos de oxi-combustión. Los inventores encontraron que la emisividad de la alfombra, la producción de los humos y el tamaño de la zona de recuperación, desempeñan un papel preponderante, en particular, para la gama preferencial de valores siguiente.

Gama preferencial de valores:

50 Humos de oxi-combustión

Temperatura entrada de los humos: 1350-1500°C

Temperatura salida de los humos: 700°C-1300°C

Extracción del horno: superior a 50 t/día

La altura óptima puede determinarse en función de la emisividad de la alfombra  $\varepsilon_{alfombra}$  utilizando la siguiente fórmula:

$$5 \quad H_{opt} = 0,6^{1-\varepsilon_{batch}} \cdot N_{recu} \cdot sFlow_{flue}^{0,5}$$

en donde la altura media optimizada  $H_{opt}$  se expresa en metros en función de la emisividad media de la alfombra  $\varepsilon_{batch}$  en la zona de recuperación, de un número  $N_{recu}$  correspondiente a una constante sin dimensión y de la producción específica de humos  $sFlow_{flue}$  expresada en kg/s por  $m^2$  de superficie de la zona de recuperación.

10 Esta fórmula da la altura optimizada  $H_{opt}$  en metros en función de la emisividad de la alfombra  $\varepsilon_{batch}$  a la entrada del horno. Según la invención, el número  $N_{recu}$  es igual a 2.

15 Encontramos, para el ejemplo anterior en la fig. 5, una altura optimizada de 0,4 m. Este valor corresponde al máximo del flujo de recuperación según la curva de la fig. 5. Esta baja altura de bóveda de 0,4 m en la zona de recuperación conduce a una velocidad de los humos de cerca de 2-3 m/s en función de la temperatura de los humos. Este valor es totalmente aceptable para limitar el envío del polvo de la alfombra. No obstante, la calidad de las materias primas y el principio de la fusión de la superficie desempeñan un papel determinante para la tasa de despegue. Según la tasa de despegue de las materias primas, podrá ser necesario aumentar la altura de la zona de recuperación determinada según la invención con objeto de limitar la velocidad de los humos a un valor aceptable. Por ejemplo, para una alfombra de materias primas con poco sarro, es deseable permanecer por debajo de una velocidad de los humos de 5 m/s para limitar el despegue de partículas.

20 Por ello, se trata de una solución extremadamente sencilla y rápida para determinar la altura optimizada de una zona de recuperación. Solo se requiere conocer la emisividad de la alfombra.

Ejemplo de aplicación de la invención:

Se supone un horno de producción de vidrio hueco de una capacidad de 400 t/día, a partir de materias primas que contienen un 50% de residuos de vidrio

25 La emisividad media de la alfombra  $\varepsilon_{alfombra}$  en la zona de recuperación se estima en 0,7.

La combustión del horno genera humos de oxi-combustión con una producción  $Flow_{flue}$  de 1,5 kg/s. Por simplificación, no se tiene en cuenta la desgasificación del CO<sub>2</sub> de la alfombra para el flujo gaseoso que circula a la superficie de la alfombra.

30 El análisis técnico-económico de una zona de recuperación añadida a este horno conduce a un valor medio de densidad de flujo  $q$  deseable de 40 kW/m<sup>2</sup>. Un valor tal permite un retorno sobre inversión rápido en función de los costes energéticos.

Se determina en primer lugar la superficie de la zona de recuperación utilizando la siguiente fórmula:

$$S_{recu} = q^{-1,7} \cdot 10570 \cdot Flow_{flue} \cdot \varepsilon_{batch}^{0,65}$$

35 en donde la superficie de la zona; de recuperación  $S_{recu}$  se expresa en  $m^2$  en función de la densidad de flujo  $q$ , expresado en kW/m<sup>2</sup>, del caudal de humos  $Flow_{flue}$  expresado en kg/s y de la emisividad media de la alfombra  $\varepsilon_{batch}$  en la zona de recuperación.

40 Con los parámetros elegidos, la superficie  $S_{recu}$  es de 24  $m^2$ . Permite recuperar aproximadamente 1 MW sobre la energía de los humos para el precalentamiento de la alfombra. La menor energía necesaria para la fusión de la alfombra en el horno conduce a una ligera disminución de la producción de humos. Se puede volver a efectuar el cálculo para mejorar la precisión del dimensionamiento.

A continuación, se determina la altura óptima de la zona de recuperación a partir de la siguiente fórmula:

$$H_{opt} = 0,6^{1-\varepsilon_{batch}} \cdot N_{recu} \cdot sFlow_{flue}^{0,5}$$

45 en donde la altura media optimizada  $H_{opt}$  se expresa en metros en función de la emisividad media de la alfombra  $\varepsilon_{batch}$  en la zona de recuperación, un número  $N_{recu}$  correspondiente a una constante sin dimensión y la producción específica de humos  $sFlow_{flue}$  expresada en kg/s por  $m^2$  de superficie de la zona de recuperación.

Esta fórmula da la altura optimizada  $H_{opt}$  en metros en función de la emisividad de la alfombra  $\varepsilon_{batch}$  a la entrada del

horno. Según la invención, el número  $N_{\text{recu}}$  es igual a 2.

A modo de ejemplo, para una emisividad de 0,7, y un número  $N_{\text{recu}}$  de 1,8 y un  $s\text{Flow}_{\text{flue}}$  de 0,0625 correspondiente al ratio de 1,5/24, encontramos una altura de los 0,4 m.

Según el horno, los datos de entrada deberán determinarse individualmente.

- 5 Una emisividad de 0,2 representa un valor típico para una alfombra de materias primas sin residuos de vidrio.

En función de la longitud de la zona de agotamiento, la superficie de la alfombra comienza a fundirse, aumentando así la emisividad de dicha superficie. La adición de residuos de vidrio aumenta también la emisividad de la alfombra.

- 10 La variación de la emisividad de la alfombra sobre la longitud de la zona o la variación de la composición de las materias primas causa una variación de la altura optimizada para un horno dado. Como se puede ver en la curva de la fig. 5, una ligera desviación de la altura con relación a la altura optimizada implica solamente una degradación limitada del flujo de recuperación en la alfombra. Así, se puede encontrar un compromiso en torno a una altura optimizada que será satisfactoria por otros valores de emisividad de la alfombra y la producción de humos.

Una altura de 0,4 m presenta, por ejemplo, un buen compromiso para distintos valores de emisividad. Otra ventaja de esta altura reside en la limitación de la velocidad de los humos para reducir el riesgo de despegue de polvo.

- 15 En función de las dificultades constructivas, también se pueden encontrar desviaciones con relación a la altura optimizada. Esto es válido, en particular, para una bóveda doblada. Para una bóveda tal es ventajoso acercar las alturas mínimas y máximas lo más posible a la altura contemplada.

La bóveda en la zona de recuperación puede incluir generadoras horizontales, en cuyo caso la altura de la bóveda sigue siendo constante en toda la zona de recuperación.

- 20 En la zona de recuperación, la bóveda puede ser plana y estar constituida de bloques refractarios pegados a una estructura portadora.

- 25 Para una materia prima estándar, con pocos residuos de vidrio, la emisividad es de cerca de 0,2. Cuando la temperatura de las materias primas aumenta, en particular, hacia 850°C para vidrio sodo-cálcico con carbonato de sosa, hay formación de una fase líquida que modifica las propiedades de la superficie que se traduce en un aumento de su emisividad.

La altura de la bóveda puede también variar a lo largo de la zona de recuperación para optimizar la radiación vertical con relación a la radiación horizontal, por ejemplo, teniendo en cuenta la evolución de la emisividad de la alfombra de materias primas.

- 30 El horno según la invención comprende ventajosamente, cerca de la entrada de enhornado, un medio de calentamiento intenso para hacer fundir una capa superficial de las materias introducidas, aumentar la emisividad de la alfombra de materias a vitrificar a partir de la entrada del horno, mejorando así la transferencia de calor radiativa entre la alfombra y los humos en la zona de recuperación.

Esta solución es especialmente interesante para todos los hornos con tasa reducida de residuos de vidrio, como los hornos para el vidrio de float, tabla, fibra, vidrio solar. ...

- 35 El espesor de la capa superficial puesta en fusión es del orden de algunos milímetros, preferiblemente de al menos 1 mm y debe permitir una emisividad superior a 0,4.

- 40 El medio de calentamiento intenso puede estar ventajosamente constituido por una cortina de llamas dirigidas hacia abajo a partir de una rampa de quemadores que se extienden sobre toda la anchura del horno, por encima de la alfombra de materias a vitrificar. El medio de calentamiento también puede estar constituido por una emisora de radiación electromagnética que se extienda sobre toda la anchura del horno, por encima de la alfombra de materias a vitrificar, como el infrarrojo o las microondas.

Ventajosamente, la abertura de salida de los humos se extiende sobre toda la anchura del horno a su extremidad superior en fase preliminar, preferiblemente según una forma alargada rectangular cuya dimensión superior se orienta según la anchura del horno. De esta manera, los humos se evacúan verticalmente.

- 45 El horno puede constar de un medio de dopaje de los humos en la zona de recuperación para aumentar la emitancia de los humos, mediante siembra con ayuda de partículas apropiadas, en particular polvo de residuos de vidrio o materias a vitrificar.

- 50 El medio de dopaje puede consistir en medios de inyección de las partículas desde la bóveda de la zona de recuperación. Ventajosamente, pueden preverse algunos medios de inyección para garantizar la formación de una cortina de partículas contra la radiación a la salida de la zona de recuperación en la zona de combustión. La cortina permite detener o reducir la radiación de la zona de combustión hacia la zona de recuperación, dejando al mismo



tiempo pasar los humos.

Al observar la fig. 1 de los dibujos, se puede ver un horno 1 de calentamiento y fusión de materias a vitrificar 2 que comprende una cuba 3 cubierta por una bóveda 4.

5 Los términos "previamente" y "posteriormente" deben comprenderse según el sentido de avance de las materias a vitrificar, es decir, según el sentido de izquierda a derecha en la fig. 1.

10 El horno comprende una zona de combustión 5 provista de medios de calentamiento, generalmente constituidos por quemadores 6, de modo que la cuba 3 contenga un baño 7 de materias en fusión cuando el horno está en funcionamiento. Se producen corrientes de convección en el baño 7, como se ilustra con las flechas 7a, entre la fase previa al baño a temperatura menos elevada y la parte posterior. Está prevista una entrada 8 previamente al horno para el enhorado de las materias a vitrificar 2.

Una zona de recuperación 9 está ubicada en el horno entre la entrada 8 y la zona de combustión 5. Una salida para el vidrio en fusión está ubicada a la extremidad posterior de la zona de combustión 5.

La conexión de la bóveda entre zona de combustión 5 y la zona de recuperación 9 se realiza por medio de un piñón 10.

15 La altura H de la bóveda 12 en la zona de recuperación 9 es inferior a la altura de la bóveda 4 en la zona de combustión.

Las materias introducidas en la entrada 8 forman una alfombra G que flota sobre el baño 7 y que entra progresivamente en fusión. El nivel superior del baño 7 es designado por la letra S.

20 Está prevista una abertura 13 de evacuación de los humos en la extremidad de la zona de recuperación 9 del lado del enhorado.

25 Según la invención, la bóveda 12 que está por encima de la zona de recuperación 9 presenta una superficie interior 12a que se encuentra más abajo que el borde inferior 11 del piñón 10 a la salida de la zona de recuperación 9 en la zona de combustión 5. La superficie interior 12a es continua según la dirección longitudinal del horno desde la zona de combustión 5 al menos hasta la abertura de evacuación 13 de los humos, y generalmente hasta la extremidad de la fase anterior, la superficie de la bóveda es continua, es decir, que no comprende salientes o desprendimientos importantes que puedan inducir recirculaciones de humos. Sin embargo, el cambio de la altura de la bóveda a lo largo de la zona de recuperación puede realizarse con una sucesión de pequeños peldaños.

30 La bóveda 12 puede ser doblada o plana como se muestra más adelante con referencia a la fig. 6. Cuando la bóveda 12 está doblada, la altura H en cuestión corresponde a la media de la bóveda sobre la anchura del horno. La superficie interior 12a comprende generadoras paralelas a la dirección longitudinal del horno. Estas generadoras pueden ser horizontales, en cuyo caso la sección transversal de la zona de recuperación 9 es constante. Como alternativa, las generadoras de la bóveda 12a se inclinan de arriba abajo hacia la fase anterior, en cuyo caso la sección transversal de la zona de recuperación disminuye desde la fase posterior hasta la fase previa.

35 De esta manera, la sección de paso de los humos, en la zona de recuperación 9, se encuentra suficientemente reducida para favorecer una salida sensiblemente unidireccional de los humos como muestran las flechas 14, evitando una recirculación de los humos que homogeneizaría la temperatura de los humos en la zona de recuperación. La superficie interior 12a de la bóveda 12 en la zona de recuperación está desprovista de cualquier saliente hacia la alfombra G, en particular, saliente vertical hacia abajo sobre toda la longitud de la bóveda, en donde un saliente tal podría crear remolinos y recirculaciones de humos.

40 La altura reducida de la sección transversal de la zona de recuperación 9 permite limitar la radiación parásita horizontal en la zona de recuperación que tiende a homogeneizar la temperatura de los humos y, en consecuencia, a calentar los humos hacia su salida, lo que no es favorable para un agotamiento máximo de los humos.

La disposición de la invención favorece el intercambio térmico por radiación vertical entre los humos y la alfombra de materias G, lo que corresponde al método de calentamiento preferido de la alfombra.

45 La abertura 13 de salida de los humos está prevista en la parte superior de la bóveda 12, hacia su extremidad en la fase anterior. Esta abertura 13 tiene la forma de una hendidura rectangular cuya dimensión superior es perpendicular al plan de la fig. 1 y paralela a la anchura de la zona de recuperación 9. La abertura de salida 13 se extiende siguiendo toda la anchura del horno, lo que favorece una salida laminar de los humos sobre toda la anchura de la zona de recuperación y evita la formación de bolsas en las que los gases quedan estancados. Esto permite también evitar bucles de recirculación. La anchura del horno puede alcanzar 6 metros y más, en particular, en el caso de un horno para producción de vidrio flotado.

50 De esta manera, se garantiza una circulación óptima de los humos por la zona de recuperación 9 según la invención, con convección a contracorriente de la alfombra G y producción homogénea de gas de humos sobre la anchura del horno. La salida de los humos se equipa con medios que permiten ajustar la distribución de la producción de humos

- sobre la anchura del horno para regular la distribución de los humos sobre la anchura de la zona de recuperación. La velocidad de los humos es suficiente sobre toda la longitud de la zona de recuperación 9 para evitar la formación de una capa estancada y más fría en la superficie de la alfombra. La velocidad de los humos también es suficiente para evacuar el gas carbónico CO<sub>2</sub> liberado por la reacción de las materias primas en su calentamiento y para favorecer su evacuación rápida por la salida 13 de la chimenea.
- 5
- Para mejorar el intercambio térmico entre los humos y la alfombra de materias a vitrificar, el horno comprende ventajosamente un medio de dopaje 15 de los humos en el conjunto de la zona de recuperación con el fin de reforzar la emitancia de los humos. El medio de dopaje 15 puede comprender dispositivos 16 de inyección de partículas, previstos en la bóveda de la zona de recuperación, distribuidos adecuadamente según la longitud de esta bóveda.
- 10
- Cerca de la salida de la zona de recuperación 9 en la zona de combustión 5, se puede prever un dispositivo 17 de inyección más intenso de partículas que permita realizar una cortina 17a de partículas contra la radiación de la zona de combustión 5. Esta cortina 17a permite el paso de los humos a la vez que frena o detiene al mismo tiempo la radiación procedente de la zona de combustión.
- 15
- Las partículas inyectadas por los dispositivos 16 y 17 para aumentar la emitancia de los humos pueden ser partículas de hollín, carbón, o *petroleum coke* (coque de petróleo) o partículas de residuos de vidrio o materias a vitrificar finamente machacadas.
- Se debe tener en cuenta que el agotamiento de los humos, es decir, el descenso de su temperatura a la salida 13 se traduce por un gradiente de temperatura según la dirección horizontal que genera un flujo térmico radiativo horizontal que tiende a equilibrar la temperatura de los humos y que, en consecuencia, es dañina para el agotamiento. Para un gradiente térmico horizontal dado, el flujo térmico horizontal es directamente proporcional a la sección de abertura de la zona de recuperación 9. Por ello, se ve inmediatamente el interés de reducir al mínimo la altura de esta zona de recuperación 9.
- 20
- También conviene tener en cuenta que las ventajas mencionadas anteriormente de la zona de recuperación 9 según la invención para mejorar el agotamiento de los humos y el calentamiento de las materias introducidas en el horno se refieren no solo al caso de materias a vitrificar, sino a cualquier tipo de materias a calentar, es el caso, en particular, de hornos de calentamiento de productos siderúrgicos a los cuales puede aplicarse directamente la invención.
- 25
- En el caso de una bóveda doblada, el experto en la técnica conoce medios para limitar la dimensión de la flecha de la bóveda. Uno de los medios consiste en reducir el ángulo en el centro de la bóveda, por ejemplo, a 40° en lugar de 60°. Sin embargo eso conduce a un empuje lateral importante, lo que limita la reducción admisible del ángulo,
- 30
- La fig. 6 ilustra, parcialmente, un ejemplo de realización de horno con zona de recuperación 9 según la invención, donde la bóveda 12 es plana y está formada con bloques refractarios 18 suspendidos de una estructura metálica 19 que domina exteriormente los bloques de la zona de recuperación. Las partes del horno de la fig. 6 que desempeñan un papel similar a partes ya descritas con respecto a la fig. 1 son designadas por las mismas referencias numéricas, sin que se repita su descripción. Podrá tenerse en cuenta una transición progresiva del piñón 10 de la cámara de combustión, la bóveda 12 de la zona de recuperación según una pared inclinada 20.
- 35
- La disposición de la fig. 6 también es aplicable a productos distintos de materias a vitrificar, en particular, a productos siderúrgicos que convendría calentar en la zona de recuperación.
- En la zona de recuperación 9, la alfombra G de materias a vitrificar presenta una superficie que tiene una baja emisividad, en particular, de cerca de 0,2, lo que no es favorable para una transferencia de calor elevada por radiación con los humos.
- 40
- Para aumentar la emisividad de la superficie de la alfombra G, se prevé, como ilustra la fig. 1, un medio de calentamiento intenso 21 cerca de la entrada de enhornado 8 para causar una sobrefusión rápida de la capa superficial de la alfombra G. El espesor de la capa superficial puesta en fusión es de unos milímetros, generalmente de 1 mm.
- 45
- El medio de calentamiento 21 puede situarse cerca de la entrada de enhornado 8, o exactamente a la entrada de enhornado 8.
- Este medio de calentamiento 21 se realiza ventajosamente con una rampa de quemadores 22 distribuidos según toda la anchura de la entrada de enhornado, y orientados de modo que sus llamas estén dirigidas hacia abajo. Los quemadores se fijan en una traviesa por encima de la alfombra de materias a vitrificar, orientados hacia abajo.
- 50
- Pueden considerarse otros medios de calentamiento intenso, por ejemplo, un dispositivo de radiación infrarrojo o de microondas.
- Esta disposición, que causa la sobrefusión rápida de la capa superficial de la alfombra, mejora sensiblemente la emisividad de la alfombra y la transferencia de calor por radiación entre los humos y la alfombra.
- Una disposición tal es especialmente interesante para todos los hornos con tasa reducida de residuos de vidrio como

los hornos para la producción de vidrio de mesa, de fibras de vidrio o de vidrio solar.

**REIVINDICACIONES**

1. Horno de fusión de materias a vitrificar cuyo equipamiento de calefacción es al menos de oxi-combustión, que comprende:
- 5 - una zona de combustión (5) provista de medios de calentamiento constituidos por quemadores (6) de modo que la cuba (3) contenga un baño (7) de materias en fusión cuando el horno está en funcionamiento, en donde la combustión del horno, en particular la oxi-combustión, genera humos a alta temperatura con un caudal  $FLOW_{flue}$ ,
- al menos una entrada (8) está prevista previamente al horno para el enhornado de las materias a vitrificar (2).
- al menos una zona de recuperación (9) entre la entrada (8) y la zona de combustión (5), que cubre al menos una parte de la alfombra de materias primas que flotante sobre el baño en fusión,
- 10 en donde la mayoría de los humos de oxi-combustión circula en la(s) zona(s) de recuperación,
- al menos una abertura (13) de evacuación de los humos prevista previamente a cada zona de recuperación, caracterizado por que:
- 15 - la altura media optimizada ( $H_{opt}$ ) de cada zona de recuperación es tal que se favorece la radiación vertical de los humos hacia la superficie de la alfombra en detrimento de la radiación horizontal paralela a la superficie de la alfombra,
- la bóveda (12) que domina la zona de recuperación presenta una superficie interior (12a) que es más baja que el borde inferior (11a) del piñón (11) a la salida de la zona de recuperación (9) en la zona de combustión (5), y la superficie interior (12a) de la zona de recuperación es continua siguiendo la dirección longitudinal del horno, desde la zona de combustión (5) hasta al menos la abertura (13) de evacuación de los humos.
- 20 2. Horno según la reivindicación 1, caracterizado por que, en la zona de recuperación (9), la bóveda (12) es plana y está constituida por bloques refractarios (18) colgados de una estructura portadora (19).
3. Horno de fusión de materias a vitrificar, según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende:
- 25 - una cuba (3) cubierta por una bóveda,
- una zona de combustión (5) provista de medios de calentamiento, en particular, quemadores (6),
- al menos una entrada (8) situada previamente al horno para el enhornado de las materias a calentar,
- al menos una salida posterior para las materias calentadas o fundidas,
- en donde la cuba contiene un baño (7) de materias en fusión cuando el horno funciona, las materias a vitrificar introducidas formando una alfombra (G) que flota sobre el baño y que entra progresivamente en fusión,
- 30 caracterizado por que consiste en, en proximidad a la entrada de enhornado (8), hacia atrás o más abajo de la entrada, o a esta entrada, un medio de calefacción intenso (21) para hacer fundir una capa superficial de las materias introducidas y aumentar la emisividad de la alfombra de materias a vitrificar.
4. Horno según la reivindicación 3, caracterizado por que el medio de calentamiento intenso (21) está constituido por una cortina de llamas dirigidas hacia abajo a partir de una rampa de quemadores (22) que se extienden sobre toda la anchura del horno, por encima de la alfombra de materias a vitrificar.
- 35 5. Horno según la reivindicación 3, caracterizado por que el medio de calentamiento intenso (21) está constituido por una radiación electromagnética que se extiende sobre toda la anchura del horno, por encima de la alfombra de materias a vitrificar.
6. Horno según una cualquiera de las pretensiones anteriores, caracterizado por que la abertura de salida (13) de los humos se extiende sobre toda la anchura del horno a su extremidad en la fase anterior, en la parte alta.
- 40 7. Horno según la reivindicación 6, caracterizado por que la abertura de salida (13) de los humos presenta una forma alargada rectangular incluida la gran dimensión y se orienta según la anchura del horno.
8. Horno según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende un medio de dopaje (15) de los humos en la zona de recuperación (9) para aumentar la emitancia de los humos mediante siembra con ayuda de partículas apropiadas, en particular, polvo de residuos de vidrio o materias a vitrificar.
- 45

9. Horno según la reivindicación 8, caracterizado por que el medio de dopaje (15) comprende medios de inyección (16) de las partículas desde la bóveda (12) de la zona de recuperación.

5 10. Horno según la reivindicación 1, caracterizado por que algunos medios de inyección (17) están previstos para garantizar la formación de una cortina (17a) de partículas contra la radiación a la salida de la zona de recuperación (9) en la zona de combustión (5).

11. Procedimiento que comprende una etapa de fusión de materia a vitrificar de emisividad  $\epsilon_{batch}$  media por un horno de fusión de materias a vitrificar cuyo equipamiento de calentamiento es parcialmente al menos de oxi-combustión, que comprende:

10 - una zona de combustión (5) provista de medios de calentamiento, constituidos por quemadores (6) de modo que la cuba (3) contiene un baño (7) de materias en fusión cuando el horno está en funcionamiento, en donde la combustión del horno, en particular la oxi-combustión, presenta un caudal específico de humos  $sFlow$ ,

- está prevista al menos una entrada (8) previa al horno para el enhornado de las materias a vitrificar (2),

15 el método comprende también una etapa de recuperación de los humos por, al menos, una zona de recuperación (9) entre la entrada (8) y la zona de combustión (5), que cubre al menos una parte de la alfombra de materias primas flotante sobre el baño en fusión, circulando la mayoría de los humos de oxi-combustión en las zonas de recuperación,

consistiendo la zona de recuperación en al menos una abertura (13) de evacuación de los humos prevista previamente a cada zona de recuperación,

caracterizado por que:

20 - la altura media optimizada ( $H_{opt}$ ) en el conjunto de la zona de recuperación de cada zona de recuperación es tal que se favorece la radiación vertical de los humos hacia la superficie de la alfombra en detrimento de la radiación horizontal paralela a la superficie de la alfombra,

- la altura ( $H_{opt}$ ), expresada en metros, de la parte central de la bóveda (12) en la zona de recuperación sobre la materia a calentar sigue la relación siguiente:

25 
$$H_{opt} = 0,6^{1-\epsilon_{batch}} \cdot N_{recu} \cdot sFlow_{flue}^{0,5}$$

en donde la altura media optimizada  $H_{opt}$  se expresa en metros en función de la emisividad media de la alfombra  $\epsilon_{batch}$  en la zona de recuperación, de un número  $N_{recu}$  que corresponde a una constante sin dimensión y de la producción específica de humos  $sFlow_{flue}$  expresada en kg/s por  $m^2$  de superficie de la zona de recuperación, en donde el número  $N_{recu}$  es igual a 2.

30 12. Procedimiento de construcción de una bóveda de zona de recuperación de horno de altura media  $H_{opt}$  sobre el conjunto de la superficie de la zona de recuperación para un horno de fusión de materias a vitrificar a partir de la emisividad  $\epsilon_{batch}$  media de una alfombra de materia a vitrificar y la producción específica *humo*  $sFlow$ , el horno de fusión de materias a vitrificar cuyo equipamiento de calentamiento es parcialmente al menos de oxi-combustión y que comprende:

35 - una zona de combustión (5) provista de medios de calentamiento, constituidos por quemadores (6) de modo que la cuba (3) contiene un baño (7) de materias en fusión cuando el horno está en funcionamiento, en donde la combustión del horno, en particular la oxi-combustión, presenta un caudal específico de humos  $sFlow$ ,

- al menos una entrada (8) prevista anterior al horno para el enhornado de las materias a vitrificar (2),

40 - al menos una zona de recuperación (9) entre la entrada (8) y la zona de combustión (5) que cubre, al menos, una parte de la alfombra de materias primas flotante sobre el baño en fusión,

circulando la mayoría de los humos de oxi-combustión en la(s) zona(s) de recuperación,

- al menos una abertura (13) de evacuación de los humos prevista previamente a cada zona de recuperación,

caracterizado por que:

45 - la altura media optimizada ( $H_{opt}$ ) en el conjunto de la zona de recuperación es tal que se favorece la radiación vertical de los humos hacia la superficie de la alfombra en detrimento de la radiación horizontal paralela a la superficie de la alfombra,

- la altura ( $H_{opt}$ ), expresada en metros, de la parte central de la bóveda (12) en la zona de recuperación sobre la materia que debe calentarse satisface la relación siguiente:

$$H_{opt} = 0,6^{1-\varepsilon_{batch}} \cdot N_{recu} \cdot sFlow_{flue}^{0,5}$$

5 en donde la altura media optimizada  $H_{opt}$  se expresa en metros en función de la emisividad media de la alfombra  $\varepsilon_{batch}$  en la zona de recuperación, de un número  $N_{recu}$  que corresponde a una constante sin dimensión y de la producción específica de humos  $sFlow_{flue}$  expresada en kg/s por m<sup>2</sup> de superficie de la zona de recuperación, en donde el número  $N_{recu}$  es igual a 2.



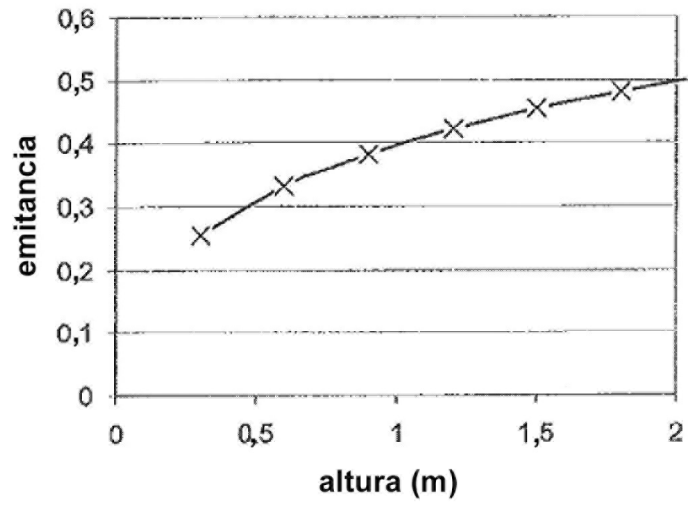


FIG.2

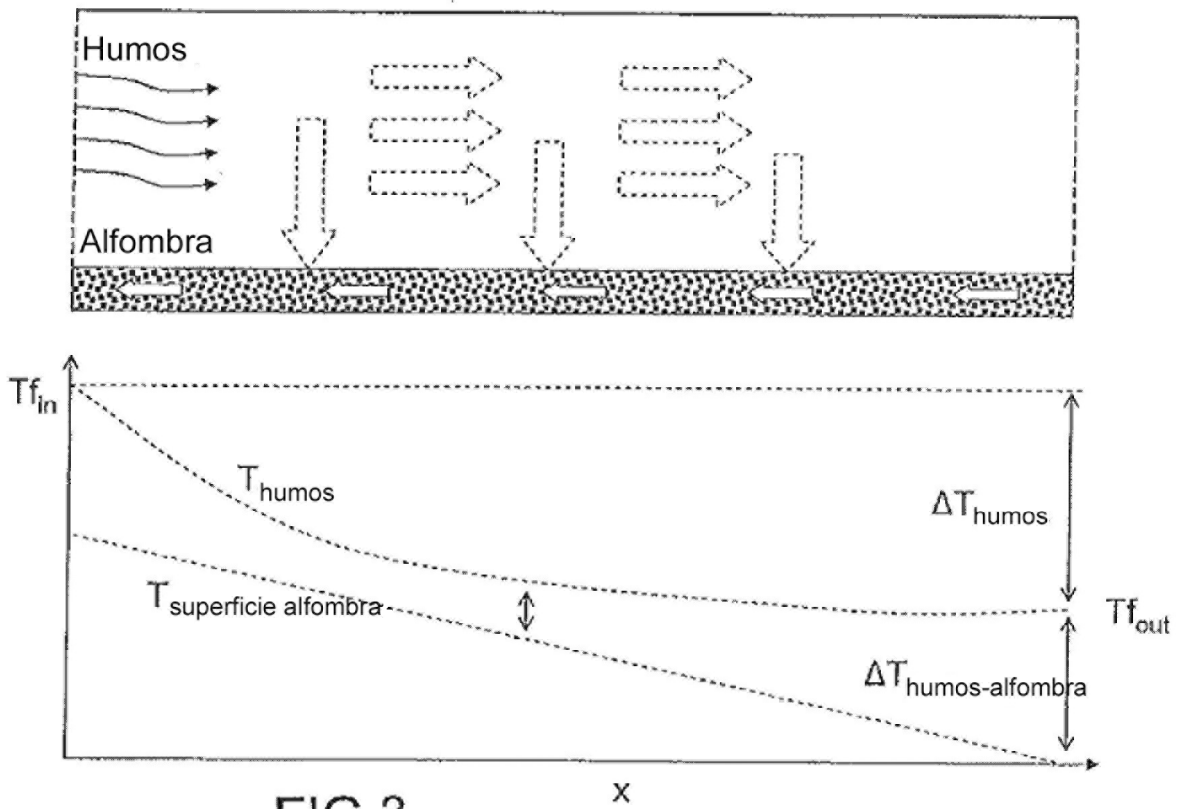


FIG.3



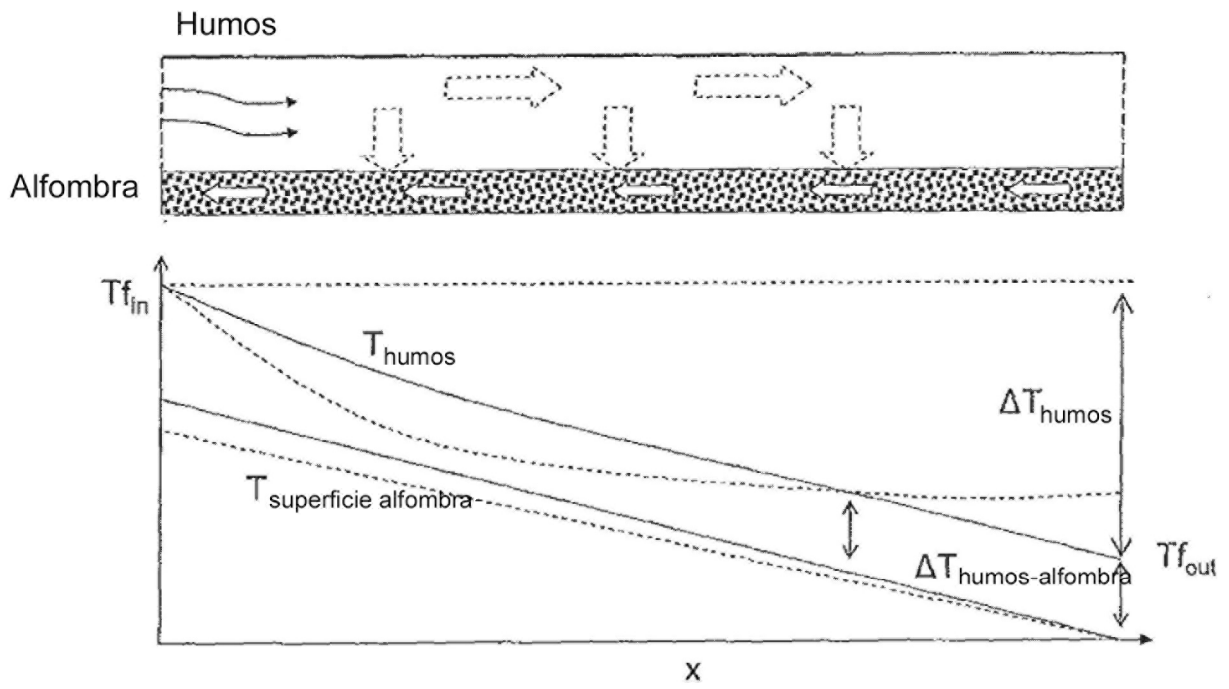


FIG.4

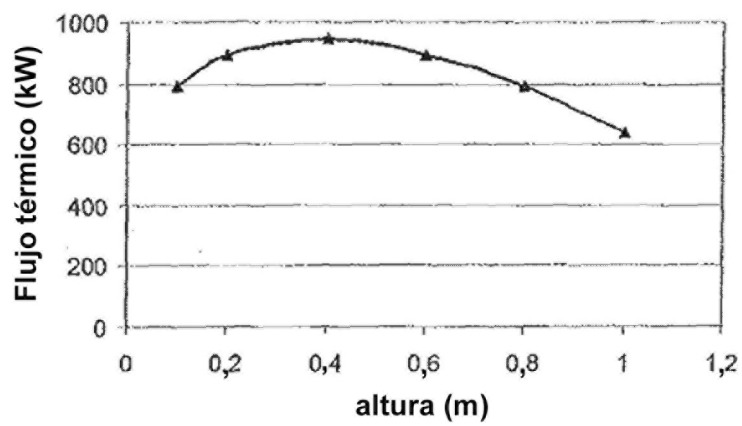


FIG.5

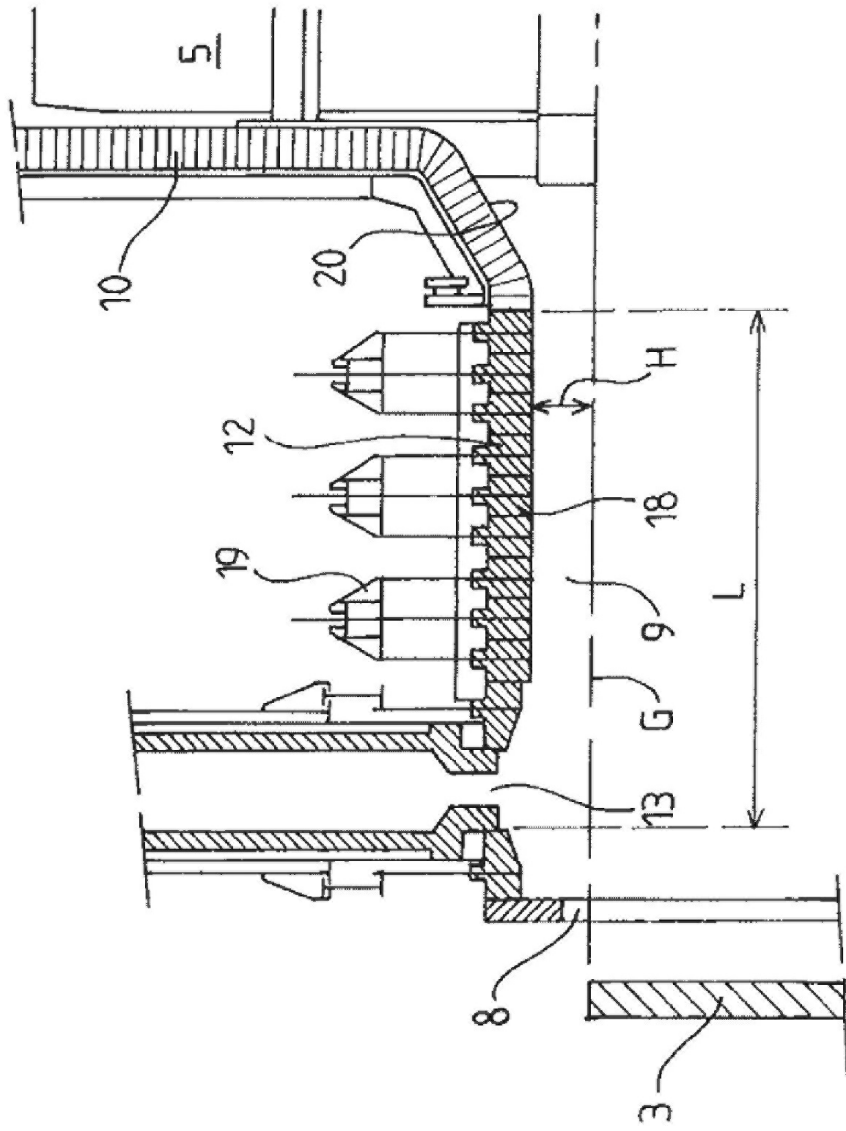


FIG. 6