



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 584**

51 Int. Cl.:
F23D 14/22 (2006.01)
F23D 14/32 (2006.01)
C03B 5/235 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08805943 .1**
96 Fecha de presentación : **05.06.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2153128**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.02.2010**

54 Título: **Combustión diluida.**

30 Prioridad: **08.06.2007 FR 07 55580**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
11.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
11.04.2011

73 Titular/es: **SAINT-GOBAIN EMBALLAGE**
18, avenue d'Alsace
92400 Courbevoie, FR
SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE

72 Inventor/es: **Galley, David;**
Goncalves-Ferreira, Paula y
Pierrot, Laurent

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 356 584 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

La invención se refiere a un procedimiento de combustión diluida que genera poco óxido de nitrógeno aplicable particularmente en los hornos de vidrio.

5 El experto designa generalmente por « NOx » a las emisiones de óxido de nitrógeno del tipo NO y/o NO₂ que provienen de la oxidación no deseada del nitrógeno. Una fuente importante de nitrógeno es el contenido en el comburente tal como el aire o el aire enriquecido en oxígeno.

10 La mayoría de los procedimientos de combustión, particularmente los utilizados en los hornos de vidrio, se enfrentan a problemas de emisión no deseada de NOx en los humos de combustión. Los NOx tienen una influencia nefasta a la vez sobre el ser humano y sobre el medioambiente. En efecto, por una parte el NO₂ es un gas irritante que está en el origen de enfermedades respiratorias. Por otra parte, en contacto con la atmósfera, pueden formar progresivamente lluvias ácidas. Finalmente, generan una contaminación fotoquímica puesto que en combinación con los compuestos orgánicos volátiles y la radiación solar, los NOx están en el origen de la formación del ozono llamado troposférico cuyo aumento de concentración a baja altitud resulta nocivo para el ser humano, sobre todo en periodo de mucho calor.

15 Es por lo que las normas en vigor sobre la emisión de NOx son cada vez más exigentes. Por el hecho mismo de la existencia de estas normas, los fabricantes y los explotadores de hornos tales como los de los hornos de vidrio se preocupan de manera constante de limitar al máximo las emisiones de NOx, preferentemente a una tasa inferior a 800, incluso inferior a 600 mg por Nm³ de humos.

20 La temperatura es un parámetro que influye mucho en la formación de los NOx. Por encima de 1300 °C, la emisión de los NOx crece de manera muy importante.

La reducción de los NOx puede hacerse según dos principios llamados métodos primarios y métodos secundarios. Los métodos primarios consisten en impedir la formación de los NOx mientras que los métodos secundarios se dirigen a destruir los NOx después de su formación.

25 Un método secundario para reducir los NOx consiste en hacer intervenir un agente reductor sobre los gases emitidos con el fin de que los NOx sean convertidos en nitrógeno. Este agente reductor puede ser amoníaco pero esto crea inconvenientes tales como la dificultad de almacenar y manipular tal producto. La presencia de gases reductores en ciertas partes del horno tales como los regeneradores puede además provocar una corrosión acelerada de los refractarios de estas zonas.

30 Teniendo en cuenta las limitaciones precedentes, los métodos primarios son preferibles. Con el fin de limitar la formación de los NOx al nivel de la llama, se puede particularmente buscar reducir el exceso de aire de combustión. Es igualmente posible buscar limitar los picos de temperatura aumentando el volumen del frente de la llama. Tal solución se describe por ejemplo en los documentos US6047565 y WO9802386. La alimentación en combustible y la alimentación en comburente se efectúan las dos de manera que se escalona en el tiempo el contacto combustible/comburente y/o se aumenta el volumen de este contacto con el objeto de reducir la emisión de NOx.

35 El documento EP413309 enseña que los NOx pueden ser reducidos mediante las medidas conjuntas siguientes:

- escalonando mucho las entradas de comburente y de combustible una de otra, y esto a más de 4 veces el diámetro de entrada del comburente,

40 - inyectando el oxidante a gran velocidad, de 200 a 1070 pies por segundo (sea entre 60 m/s y 326 m/s) y preferentemente de 500 a 1070 pies por segundo (sea entre 152 m/s y 326 m/s).

Los ejemplos de este documento han sido realizados con un comburente muy rico en oxígeno (50% de oxígeno). La reducción en NOx va de 17 a 43%. La figura muestra entradas de comburente y fuel a través de tubos metálicos del mismo diámetro.

El documento EP896189 pretende mejorar esta técnica preconizando:

- 5 - utilizar un comburente más rico en oxígeno que el aire,
- la inyección del comburente y del combustible a velocidades entre mach 0,25 y 1. Las velocidades del sonido en el aire en el metano a temperatura ambiente ($T=25^{\circ}\text{C}$) son respectivamente 346 m/s y 450 m/s. El valor 0,25 Mach corresponde a una velocidad de 87 m/s para el aire y 112 m/s para el CH_4 a temperatura ambiente. Cuando la temperatura aumenta, estas velocidades aumentan con la raíz cuadrada de la temperatura. Este documento preconiza por otra parte una velocidad de de más de 100 m/s para el combustible y más de 75 m/s para el comburente.

10 El documento US-A-20030054301 enseña un procedimiento de combustión que comprende una entrada de comburente que contiene 10% a 30% de oxígeno, una entrada de combustible que desemboca en el horno de la entrada de comburente y a una distancia de éste comprendida entre 0,3 y 4 veces el diámetro equivalente de la entrada de comburente, desembocando el comburente en el horno con una velocidad comprendida entre 10 y 60 m/s. La sección de la entrada de comburente es como mucho igual aproximadamente a $44,2 \text{ cm}^2$.

15 El documento EP-A-0343746 enseña un procedimiento de alimentación de aire y un orificio de alimentación de combustible a una cierta distancia uno de otro en el horno. El conducto de aire tiene un diámetro de 200 mm, o sea una sección de $0,0314 \text{ m}^2$.

20 Los documentos FR 2 892 497 A1 y EP 0 782 973 A1 divulgan un funcionamiento de combustión para un horno en el cual varias entradas de combustibles que desembocan en el horno están situadas a una cierta distancia por debajo de una entrada de aire.

La reducción de los NOx se basa en el principio de la dilución de los componentes de reacción en los humos del laboratorio, produciendo temperaturas de llama menores y más homogéneas. Se habla a veces de combustión sin llama, lo que significa simplemente que la llama no es visible para el ojo desnudo.

25 La enseñanza de estos documentos es difícilmente adaptable a los hornos de vidrio que funcionan con aire o con aire moderadamente enriquecido en oxígeno puesto que estos hornos disponen de entradas de comburente de secciones importantes, pudiendo particularmente estar comprendidas entre $0,5$ y 3 m^2 . De acuerdo con la técnica anterior, el inyector de combustible está siempre situado justo por debajo o en el interior (a menudo en la parte baja) de la entrada de comburente, justo antes de desembocar en el laboratorio del horno. Particularmente, la configuración característica de un quemador de horno de vidrio es la de la figura 6. Los grandes diámetros de entradas de comburente se deben a las razones siguientes:

30 - son necesarios grandes volúmenes de gases (sobre todo si el comburente es aire) y un diámetro grande limita las pérdidas de carga;

35 - un pequeño diámetro se traduce en elevadas velocidades de gas que pueden provocar el desprendimiento de materias vitrificables en polvo que sobrenadan en la superficie del baño de vidrio; en efecto, materias vitrificables que sobrenadan en polvo se encuentran en la superficie del vidrio al menos en el primer tercio de aguas arriba del horno (en referencia a la dirección de colado del vidrio) e incluso en la mitad de aguas arriba del horno; estos polvos arrastrados por los gases se propagan entonces sobre las paredes y la bóveda o en el interior de las canalizaciones de recuperación de los humos en lugar de participar en la fabricación del vidrio; además, contienen a menudo materias corrosivas (óxido de alcalín, derivado del boro, etc) que reaccionan y dañan las superficies sobre las cuales se van a depositar; en el caso de hornos de recuperador, las canalizaciones de recuperación de los humos son relativamente estrechas y los vuelos de polvos deben impedirse para evitar el atasco de estas canalizaciones;

- estas entradas de comburente (generalmente de aire) son a menudo de material refractario desmenuzable (particularmente en el caso de los hornos de regeneradores: hornos de quemadores transversales y hornos de bucle) y sujetos a una erosión tanto más fuerte cuanto más elevado sea el caudal de gases. No es deseable que partículas de refractarios contaminen el vidrio fundido;

5 - estas entradas de aire funcionan a menudo alternativamente como entrada de aire y como colectores de humos cuando el horno es del tipo de inversión y está equipado con regeneradores; un diámetro demasiado pequeño entorpece la recogida de los humos, obliga a utilizar ventiladores de aspiración más grandes, produce una aceleración de los gases, lo que genera erosión de los refractarios, haciendo que se acumulen más partículas en los regeneradores.

10 Los regeneradores, bien conocidos por el experto, sirven para recuperar calor de los humos de combustión. Están constituidos por ladrillos refractarios situados en compartimentos separados que funcionan alternativamente. Pueden equipar particularmente los hornos de bucle o los hornos de quemadores transversales. Estos hornos están generalmente equipados con al menos dos quemadores que funcionan uno después de otro y con al menos dos regeneradores que funcionan uno después de otro para calentar el comburente y para recoger los humos. Mientras que un primer quemador funciona y produce una llama cuyo comburente es transportado y calentado mediante un primer regenerador situado cerca de él, los hornos son recogidos y encaminados hacia un segundo regenerador que recupera el calor. De manera cíclica, se invierte el funcionamiento, deteniendo el funcionamiento del primer quemador y poniendo en funcionamiento el segundo quemador en el cual el comburente es transportado y calentado por el segundo regenerador (el cual durante la etapa precedente servía de colector de humos). El primer regenerador sirve entonces de colector de humos. Se hace por consiguiente funcionar el horno en un sentido hasta la obtención de una temperatura de al menos 1250 °C en el regenerador que recupera los humos, y después se invierte el funcionamiento del horno. El uso de ciertas cerámicas permite incluso alcanzar temperaturas superiores a 1450 °C, e incluso del orden de 1500 °C.

20 Se recuerda que un recuperador funciona basándose en el principio de los intercambiadores de calor, recorriendo los humos un conducto del recuperador mientras que el comburente recorre otro conducto del recuperador. Los humos transmiten su calor al comburente a través de las paredes de estos conductos. El recuperador no funciona por consiguiente basándose en el principio de la inversión como el regenerador.

25 En el caso de un horno de quemadores transversales, los regeneradores están igualmente situados detrás de las paredes laterales del horno. En el caso de un horno de bucle, están generalmente situados detrás de la pared de aguas arriba del horno.

30 En los hornos de vidrio, por el hecho del elevado diámetro de la entrada de comburente, es generalmente difícil separar las entradas de comburente y de combustible una de otra más de 4 veces el diámetro de entrada del comburente. Además, como ya se ha explicado, son deseables bajas velocidades de introducción del comburente en la atmósfera del horno.

Habitualmente, en un horno de vidrio equipado con entradas de aire tan grandes, el inyector de combustible está situado justo por debajo o en el interior (generalmente en la parte baja) de la propia entrada de comburente.

35 De acuerdo con la invención, se ha descubierto ahora que reducciones de NOx extremadamente importantes, que pueden sobrepasar 45% e incluso sobrepasar 60%, podían ser obtenidas en el caso de entradas de comburente de elevada sección, generalmente superiores a 0,5 m², con velocidades de entradas de comburente relativamente pequeñas. Esta nueva configuración permite además conservar una buena transmisión de la energía térmica a la carga (materias vitrificables y vidrio líquido).

40 La invención se refiere a un funcionamiento de combustión en un horno provisto de un quemador que comprende una entrada de comburente que comprende entre 10% y 30% de oxígeno y una entrada de combustible que desemboca en el horno fuera de la entrada de comburente y a una distancia de ésta comprendida entre 0,3 y 4 veces el diámetro equivalente de la entrada de comburente, desembocando el citado comburente en el horno con una velocidad comprendida entre 10 y 60 m/s, siendo la sección de la entrada de comburente al menos igual a 0,25 m² e inferior a 3 m².

45

5 La invención procura una reducción de los NOx muy significativa para cualquier tipo de horno que utilice al menos un quemador con combustión de comburente y de combustible. La invención es particularmente aplicable a cualquier tipo de horno de vidrio como los hornos de bucle, los hornos de quemadores transversales, de regeneradores o de recuperador (unit-melter). Pueden obtenerse reducciones de NOx espectaculares en el caso de los hornos de bucle.

La sección de entrada del comburente al horno es generalmente al menos igual a $0,25 \text{ m}^2$ e incluso superior a $0,5 \text{ m}^2$ e incluso generalmente superior a $0,8 \text{ m}^2$, y generalmente inferior a 3 m^2 y más generalmente inferior a 2 m^2 .

10 En el marco de la invención, el comburente es generalmente calentado antes de entrar en la atmósfera del horno, a una temperatura de al menos $400 \text{ }^\circ\text{C}$, incluso de al menos $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Los regeneradores calientan generalmente el aire entre 1100 y $1400 \text{ }^\circ\text{C}$. Los recuperadores calientan el aire entre $300 \text{ }^\circ\text{C}$ y $900 \text{ }^\circ\text{C}$. Preferentemente, se calienta el comburente al menos a la temperatura de auto-inflamación del combustible.

El comburente es el aire o el aire ligeramente enriquecido en oxígeno de manera que la proporción total de oxígeno en el comburente es inferior a 30% e incluso generalmente inferior a 25%. Esta proporción total de oxígeno en el comburente es superior a 10%.

15 De acuerdo con la invención, la velocidad de entrada del comburente en el horno es superior a 10 m/s y preferencialmente superior a 15 m/s . De acuerdo con la invención, la velocidad de entrada del comburente en el horno es inferior a 60 m/s y preferentemente inferior a 50 m/s , por ejemplo inferior a 45 m/s .

20 Las entradas de comburente y de combustible al horno desembocan en orificios diferentes en el horno (la entrada de comburente no contiene por consiguiente ningún inyector del combustible) y están separadas al menos 0,3 veces y preferentemente al menos 0,5 veces, por ejemplo al menos 0,6 veces el diámetro equivalente de la entrada de comburente. Por diámetro equivalente se entiende el diámetro que tendría un círculo de la misma sección que la entrada de aire. Esta definición resulta necesaria por el hecho de que las entradas de aire de los hornos de vidrio no son habitualmente circulares. Las entradas de comburente y de combustible en el horno están separadas al menos 4 veces el diámetro equivalente de la entrada de comburente y preferentemente al menos 3 veces el diámetro equivalente de la entrada de comburente. En general, esta distancia es de al menos 20 cm e incluso de al menos 50 cm y puede llegar hasta 4 m . Estas distancias entre entradas de combustible y de comburente son las que hay entre los dos puntos más próximos entre la entrada de combustible por una parte y la entrada de comburente por otra parte. El término quemador designa al conjunto que comprende la entrada de comburente y la o las entradas de combustible asociadas para mantener una reacción de combustión. Si varios inyectores de combustible están asociados con una entrada de comburente, el conjunto de los inyectores se sitúan de manera que la reacción de combustión se inicia sensiblemente al mismo tiempo para todos los citados inyectores.

Generalmente, el inyector o los inyectores asociados a una entrada de comburente (es decir que participan en la misma zona de reacción) se sitúa o sitúan en el mismo plano (misma pared) que la citada entrada de comburente. No obstante, las entradas de comburente y de combustible no desembocan necesariamente sobre la misma pared.

35 En el caso de un combustible gaseoso (tal como gas natural, el metano, el butano, el propano), la velocidad de entrada del combustible en el horno es superior a 30 m/s y preferencialmente superior a 50 m/s . De acuerdo con la invención, la velocidad de entrada del combustible en el horno es inferior a 250 m/s y preferencialmente inferior a 200 m/s .

La utilización de un combustible líquido, tal como el fueloil pesado es posible.

40 Las figuras 1 y 2 representan un horno de bucle visto desde arriba.

La figura 3 representa, visto desde arriba, un horno de quemadores transversales equipado con un recuperador.

La figura 4 representa, visto desde arriba, un horno de quemadores transversales equipado con regeneradores.

La figura 5 representa una entrada de comburente y de combustible que forma un quemador de acuerdo con la invención.

5 La figura 6 representa una entrada de comburente y de combustible que forma un quemador según la técnica anterior.

10 La figura 1 representa un horno de bucle utilizable en el marco de la presente invención, visto desde arriba. Este horno comprende una cara de aguas arriba 1, dos caras laterales 2 y 2' y una cara de aguas abajo 3. Está provisto de dos regeneradores 4 y 4' idénticos, yuxtapuestos y situados los dos detrás de la cara de aguas arriba. Cada regenerador está situado detrás de una mitad de la cara de aguas arriba. Cavidades 6 y 6' está situadas en las paredes laterales 2 y 2' para la introducción de las materias vitrificables. Estas cavidades están situadas en el primer tercio de aguas arriba de las paredes laterales. Una barrera 5 sumergida en el baño de fusión está prevista en la mitad de aguas abajo del horno. En el caso de la figura 1, la llama es emitida desde una mitad 1a de la cara de aguas arriba. Forma un bucle en la atmósfera del horno para volver hacia la otra mitad 1b de la cara de aguas arriba. Los humos atravesarán entonces el regenerador 4' situado detrás de la mitad 1b de la cara de aguas arriba. Cuando los ladrillos refractarios en el regenerador 4' están suficientemente calientes, el funcionamiento del horno se invierte de acuerdo con la figura 2. En este caso, la llama es emitida desde la mitad 1b de la cara de aguas arriba y el calor de los humos es recuperado en el otro regenerador 4. El comburente de la llama es aire recalentado al atravesar el regenerador 4'. El vidrio fluye a través del orificio 7 dispuesto en la cara de aguas abajo 3 del horno. Los inyectores de combustible no están representados. Están alejados de las entradas de aire, de acuerdo con la invención.

20 La figura 3 representa un horno de quemadores transversales visto desde arriba. Las materias vitrificables son introducidas mediante cavidades 15 y 15' situadas aguas arriba en las paredes laterales. Numerosos quemadores transversales 16 equipan las paredes laterales. El calor de los humos es recuperado por el recuperador 17. El vidrio es recuperado por la salida 18. Debe recordarse que un recuperador funciona sobre el modelo de un intercambiador de calor, pasando los humos por un canal recalentador del aire que pasa por otro canal y que alimenta a los quemadores transversales. Los inyectores del combustible no están representados. Están alejados de las entradas de aire, de acuerdo con la invención.

30 La figura 4 representa un horno 41 de quemadores transversales y regeneradores. El horno 41 comprende una pared de aguas arriba 43, una pared de aguas abajo 44 y dos paredes laterales 45 y 45'. Las materias vitrificables son introducidas desde la pared de aguas arriba 43 mediante un dispositivo habitual no representado. Las materias vitrificables fundidas fluyen de aguas arriba a aguas abajo como se representa por las flechas. El vidrio pasa a una zona de acondicionamiento 47 con fines de acondicionamiento térmico antes de llegar a la unidad de transformación no representada y que puede ser una instalación de vidrio flotado para la producción de vidrio plano. El horno 41 está equipado a través de sus dos paredes laterales de dos filas de cuatro quemadores de aire que funcionan uno después del otro. Cada quemador de aire comprende un inyector de combustible alimentado con gas mediante las canalizaciones 8 y 8', y una entrada de aire caliente 9 y 9'. Se ve que los dos primeros quemadores de cada pared lateral están en el primer tercio de aguas arriba del horno (el límite de este primer tercio está indicado por una línea de puntos transversal 48). El inyector está situado por debajo de la entrada de aire, a distancia suficiente de acuerdo con la invención. Las aberturas 9 y 9' realizan la función alternativamente de entrada de aire caliente y la de colector de humos. Están conectadas cada una con un regenerador 10, 10'. Cuando los inyectores de la pared 45 funcionan, los de la pared 45' no funcionan. Los humos pasan a través de las aberturas 9' de la pared lateral 45' en frente de ellos y su calor es recuperado en los regeneradores 10. Al cabo de algunas decenas de minutos, se invierte el funcionamiento del horno, es decir que se detiene el funcionamiento de los quemadores de la pared 45 (detención del gas combustible a través de la canalización 8 y detención del aire a través de las aberturas 9) y se ponen en marcha los quemadores de aire de la pared 45' alimentando sus inyectores con gas mediante la canalización 8' y alimentando con aire caliente las entradas de aire 9'. El aire es caliente gracias al recalentamiento mediante los regeneradores 10. Al cabo de algunas decenas de minutos, se invierte también el funcionamiento del horno, y así sucesivamente (repetición del ciclo de inversión). El horno está provisto de una barrera sumergida 11 que favorece la formación de corrientes de convección en el vidrio fundido.

50 La figura 5 representa la asociación de una entrada de comburente 51 y de tres inyectores de combustible 52, 53, 54 de acuerdo con la invención, particularmente utilizable en la cara de aguas arriba de un horno de bucle (como para el de las figuras 1 y 2). Los inyectores están fuera de la entrada de comburente y las distancias 55, 56, 57 entre los

inyectores y la entrada de comburente está comprendida entre 0,3 y 0,5 veces el diámetro equivalente de la entrada de aire.

La figura 6 representa, de acuerdo con la técnica anterior, una entrada de aire 61 asociada a tres inyectores 62, 63, 64 situados en el interior y en la parte baja de la entrada de aire.

5 **Ejemplo 1**

10 Se ha utilizado un horno de quemadores transversales equipado con regeneradores, del tipo del representado en la figura 3. Los conductos de entrada de aire, de sección $0,25 \text{ m}^2$, están dispuestos en cada uno de los pies rectos (paredes laterales) del horno, de tal manera que el flujo principal del aire es perpendicular al flujo de vidrio. Los conductos de aire están agrupados por pares de conductos enfrentados. A cada conducto de entrada de aire están asociados dos inyectores de combustible (gas natural), dispuestos a una distancia igual a 1 vez el diámetro equivalente del conducto de aire asociado. Los conductos de cada uno de los pares funcionan de manera cíclica. En el curso de un ciclo, el aire llega por uno de los conductos, y el combustible por los inyectores asociados. Los humos producidos por la reacción de combustión salen preferencialmente por el conducto que está frente a él, y pasan a través de un apilamiento de materiales refractarios, a los cuales ceden una parte de su energía. Durante el ciclo siguiente, la entrada de aire se convierte en la salida y recíprocamente. El aire pasa a través del apilamiento de refractarios precedentemente calentados por los humos, y se recalienta en contacto con él.

La temperatura de entrada del aire en el horno es aproximadamente $1300 \text{ }^\circ\text{C}$, sea superior a la temperatura de auto-inflamación del combustible. La velocidad de inyección del aire en el horno es de aproximadamente 40 m/s . La velocidad de inyección del combustible es igualmente aproximadamente 40 m/s .

20 Las emisiones de óxido de nitrógeno son inferiores a 400 mg/Nm^3 .

Ejemplo 2 (comparativo)

25 Se procede como para el ejemplo 1 salvo que la velocidad de inyección del aire se reduce a 12 m/s mediante el aumento de la sección de entrada de aire a $0,9 \text{ m}^2$ y salvo que la distancia entre la entrada de aire y el inyector esté reducida a $0,2$ veces el diámetro equivalente del conducto de aire. Se miden emisiones de óxido de nitrógeno próximas a 800 mg/Nm^3 , lo que indica que la invención como se describe en el ejemplo 1 ha permitido reducir las emisiones de NOx en un factor 2 con relación a la configuración del presente ejemplo. La transferencia térmica a la carga (vidrio líquido y materias vitrificables) es idéntica a lo constatado en el ejemplo 1.

Ejemplo 3

30 Se ha utilizado un horno de bucle equipado con regeneradores, del tipo del representado en la figura 1. Los regeneradores, en número de dos, están situados detrás del piñón de aguas arriba del horno, que linda con las entradas de materia prima y está opuesto al lado por el que sale el vidrio fundido. En esta pared se encuentran los dos conductos que funcionan en alternancia, ya sea como entrada del aire precalentado por el regenerador, ya sea como salida para los humos producidos por la combustión. Como los dos conductos se encuentran en la misma pared ésta crea una llama que sigue al colado y tiene una forma de bucle característica. En el curso del ciclo siguiente, las funciones son intercambiadas y la llama es invertida: el conducto de entrada del aire se convierte en el nuevo conducto de salida de los humos, lo que permite transferir periódicamente el calor de los humos a los apilamientos de materiales refractarios del regenerador y precalentar de esta manera el aire de combustión. La temperatura de entrada del aire en el horno es de aproximadamente $1300 \text{ }^\circ\text{C}$, superior a la temperatura de auto-inflamación del combustible. El dimensionamiento de los conductos de entrada de aire está hecho para tener velocidades de entrada del aire en el horno de 25 m/s . A cada conducto de entrada de aire están asociados 4 inyectores de combustible que se encuentran a una distancia de $0,8$ veces el diámetro equivalente del conducto de aire, para dos de estos inyectores, y a una distancia de $1,6$ veces el diámetro equivalente del conducto de aire, para los otros dos inyectores. Los gases quemados son arrastrados por el chorro de aire y combustible antes de que la combustión tenga lugar, de manera que se produce una combustión muy diluida. Las emisiones de NOx son de 200 mg/Nm^3 .

Ejemplo 4 (comparativo)

5 Se procede como para el ejemplo 3 salvo que el dimensionamiento de los conductos de entrada de aire se hace para tener velocidades de entrada de aire en el horno del orden de 15 m/s y la distancia entre la entrada de aire y los inyectores disminuye a 0,1 veces el diámetro equivalente de la entrada de comburente, encontrándose los inyectores justo bajo la tubería de aire.

Se miden emisiones de NOx de 800 mg/Nm³, lo que indica que la invención como la descrita en el ejemplo 3 ha permitido reducir las emisiones de NOx un 75% con relación a la configuración del presente ejemplo.

3. La transferencia térmica a la carga (vidrio líquido y materias vitrificables) es idéntica al constatado en el ejemplo

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de combustión en un horno (41) provisto de un quemador que comprende una entrada de comburente (51) que comprende entre 10% y 30% de oxígeno y una entrada de combustible (52, 53, 54) que desemboca en el horno (41) fuera de la entrada de comburente (51) y a una distancia de ésta comprendida entre 0,3 y 4 veces el diámetro equivalente de la entrada de comburente (51), desembocando el citado comburente en el horno (41) con una velocidad comprendida entre 10 y 60 m/s, siendo la sección de la entrada de comburente (51) al menos igual a $0,25 \text{ m}^2$ e inferior a 3 m^2 .
- 10 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación precedente, **caracterizado porque** la distancia entre la entrada de comburente (51) y la entrada de combustible (52, 53, 54) es inferior a 3 veces el diámetro equivalente de la entrada de comburente (51).
3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la distancia entre la entrada de comburente (51) y la entrada de combustible (52, 53, 54) es de al menos 0,5 veces el diámetro equivalente de la entrada de comburente (51).
- 15 4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la distancia entre la entrada de comburente (51) y la entrada de combustible (52, 53, 54) está comprendida entre 20 cm y 4 m.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el comburente desemboca en el horno (41) con una velocidad superior a 15 m/s.
6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el comburente desemboca en el horno (41) con una velocidad inferior a 50 m/s.
- 20 7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el comburente es calentado a una temperatura de al menos $400 \text{ }^\circ\text{C}$ antes de entrar en el horno (41).
8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación precedente, **caracterizado porque** el comburente es calentado a una temperatura de al menos $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ antes de entrar en el horno (41).
- 25 9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el comburente es calentado al menos a la temperatura de auto-inflamación del combustible antes de entrar en el horno (41).
10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la sección de la entrada de comburente (51) está comprendida entre $0,5$ y 3 m^2 .
- 30 11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación precedente, **caracterizado porque** la sección de la entrada de comburente (51) está comprendida entre $0,8$ y 3 m^2 .
12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el combustible es gaseoso y porque su velocidad de entrada en el horno (41) es superior a 30 m/s.
13. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación precedente, **caracterizado porque** la velocidad de entrada del combustible es superior a 50 m/s.

14. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el combustible es gaseoso y porque su velocidad de entrada en el horno (41) es inferior a 250 m/s.

5 15. Procedimiento de fusión de materias vitrificables en un horno (41) en el cual el vidrio fundido fluye de aguas arriba a aguas abajo, comprendiendo una alimentación (6, 6', 15, 15') de materias vitrificables en polvo situada en la mitad de aguas arriba del horno (41), y un quemador situado en la mitad de aguas arriba del horno (41), funcionando el citado quemador de acuerdo con el funcionamiento de combustión de una de las reivindicaciones precedentes.

16. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación precedente, **caracterizado porque** materias vitrificables en polvo sobrenadan en el primer tercio de aguas arriba del horno (41) **y porque** el quemador está situado en el primer tercio de aguas arriba (48) del horno (41).

10 17. Procedimiento de acuerdo con una de las dos reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el horno es un horno de bucle.

18. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado porque** el horno es un horno de quemadores transversales.

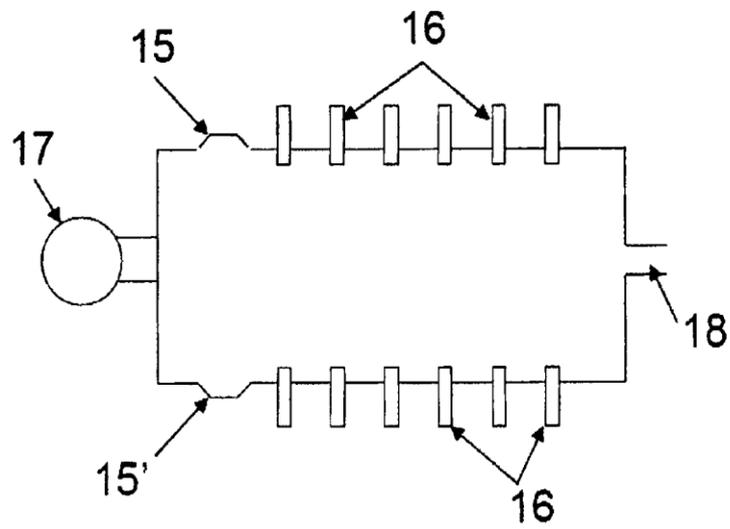
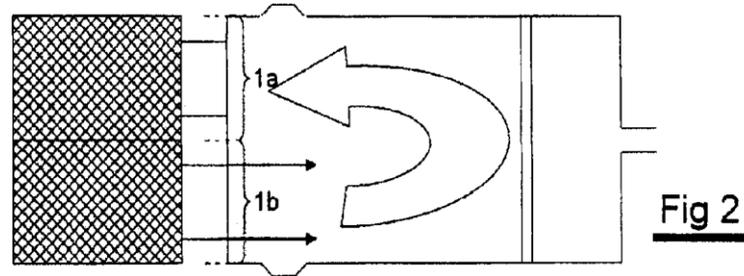
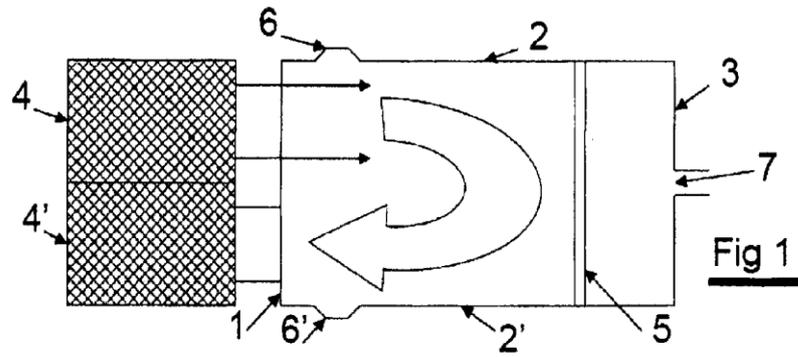


Fig 3

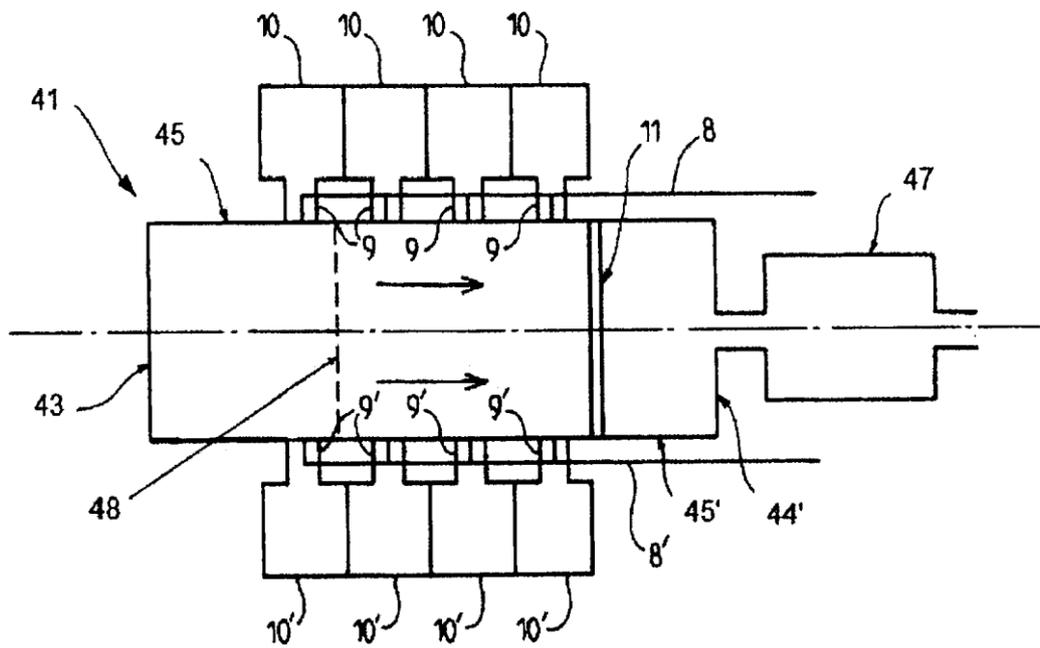


Fig 4

Fig 5

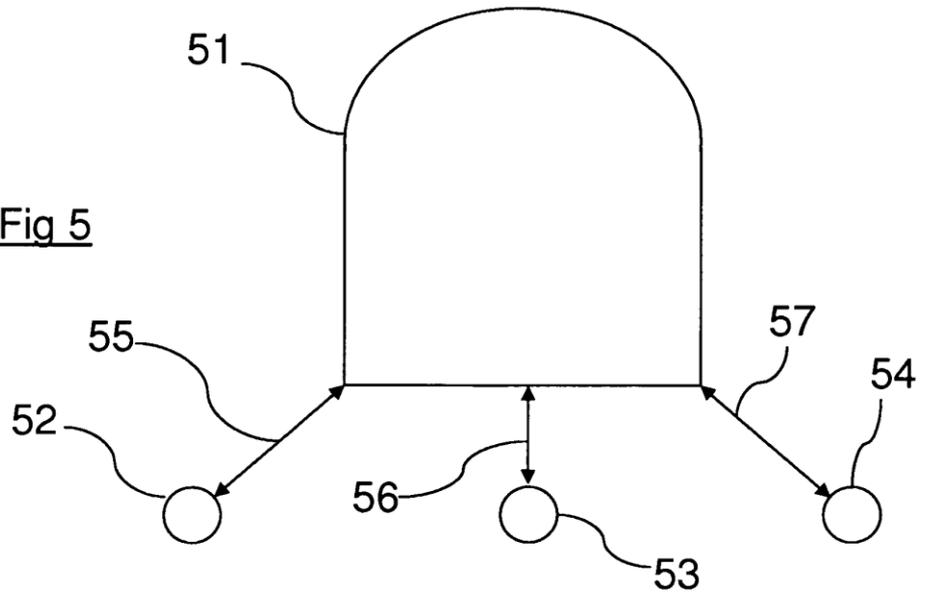


Fig 6
(TÉCNICA ANTERIOR)

