

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 699 233**

51 Int. Cl.:

F27B 7/34 (2006.01)

C04B 7/36 (2006.01)

F23G 5/20 (2006.01)

F27B 7/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.12.2015 PCT/EP2015/081248**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.06.2016 WO16102709**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.12.2015 E 15817394 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2018 EP 3237822**

54 Título: **Hornos rotatorios de contraflujo inclinados de caldeo directo y uso de los mismos**

30 Prioridad:

26.12.2014 EP 14398016

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.02.2019

73 Titular/es:

**L'AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS
GEORGES CLAUDE (50.0%)
75 Quai d'Orsay
75007 Paris, FR y
SOCIEDADE PORTUGUESA DO AR LIQUIDO
"ARLIQUIDO", LDA (50.0%)**

72 Inventor/es:

**LABEGORRE, BERNARD;
RENNA, CARLO;
TSIAVA, RÉMI y
FERNANDES, SERGIO**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 699 233 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

Hornos rotatorios de contraflujo inclinados de caldeo directo y uso de los mismos

La presente invención está relacionada con hornos rotatorios de contraflujo inclinados largos de caldeo directo.

5 Un horno rotatorio es un envase cilíndrico calentado sustancialmente recubierto de refractario que rota alrededor de un eje longitudinal y en el que se somete material a tratamiento térmico a temperaturas elevadas.

Los hornos rotatorios de caldeo directo se calientan por combustión de un combustible con oxidante dentro del horno.

En lo que sigue, a combustible y oxidante se les hace referencia colectivamente como reactantes de combustión.

10 En hornos rotatorios de contraflujo de caldeo directo, el material a tratar se introduce en el horno en un extremo de entrada ubicado en una de las extremidades longitudinales del horno y se desplaza a través del horno en la dirección longitudinal del mismo. El material tratado se evacua desde el extremo de salida ubicado en la extremidad longitudinal opuesta del horno. A fin de calentar el horno, en el horno se introducen combustible y oxidante en el extremo de salida para generar combustión del combustible con el oxidante en el horno y los gases de combustión generados se desplazan de ese modo a través del horno en contraflujo al material (es decir, desde el extremo de salida hacia el extremo de entrada) antes de que se les haga salir del horno en el extremo de entrada.

15 Usualmente los hornos rotatorios de contraflujo se inclinan ligeramente con respecto a la horizontal, el extremo de entrada tiene una posición más alta que el extremo de salida, promoviendo de ese modo el movimiento del material a través del horno desde el extremo de entrada hacia la salida, mientras también se promueve el movimiento de los gases de combustión calientes desde el extremo de salida al escape de gases de combustión en el extremo de entrada.

20 Los hornos rotatorios y en particular hornos rotatorios inclinados pueden tener una gran variedad de dimensiones que dependen típicamente de factores que determinan el tiempo de residencia requerido del material en el horno rotatorio, tales como: la naturaleza del material a tratar y el proceso de tratamiento físico y/o químico/térmico al que se somete el material en el horno. El diámetro interno de horno se selecciona en función del caudal gas a través del horno y la velocidad requerida de gas en el horno en funcionamiento estándar/nominal del horno.

25 En el presente contexto, un horno rotatorio se considera que es "largo" cuando la longitud interna L_{int} es al menos 20 m, típicamente de 20 a 100 m, y cuando el diámetro interno D_{int} es como mucho la décima parte (1/10) de la longitud interna L_{int} .

Los hornos rotatorios inclinados largos de caldeo directo se usan comúnmente para calcinar material tal como cemento o cal.

30 Dentro de un horno rotatorio inclinado largo de caldeo directo, se distinguen típicamente dos zonas distintas: una zona de combustión primaria y una zona de intercambio de calor. La zona de combustión primaria o, abreviado, zona de combustión, es la parte del horno rotatorio en el extremo de salida del horno donde tiene lugar la combustión del combustible con el oxidante. La zona de intercambio de calor, que típicamente abarca el medio longitudinal M del horno rotatorio, es la parte del horno aguas arriba de la zona de combustión (desde el punto de vista de la dirección de desplazamiento del material) y en la que el material es calentado por los gases de combustión calientes generados por dicha combustión conforme se desplazan al escape de gases de combustión en el extremo de entrada. La zona de intercambio de calor es así importante para maximizar el uso hecho del calor generado en la zona de combustión.

Temperaturas más altas en la zona de combustión normalmente implican capacidad de producción y eficiencia más altas. Sin embargo, temperaturas excesivas en la zona de combustión pueden provocar daño de refractario y material quemado.

40 La compensación correspondiente da como resultado un compromiso que, en hornos rotatorios largos de caldeo directo tales como hornos de cal, generalmente lleva a bajas temperaturas de gas de combustión en el extremo de entrada del horno, también conocido como "extremo frío".

La aparición de bajas temperaturas de gas de combustión en el extremo frío restringe severamente la transferencia de calor al material, por ejemplo: lodo calizo, en esa parte del horno.

45 Una manera conocida de superar al menos parcialmente este problema es instalar una "cortina" de cadenas de metal en el extremo frío del horno. Estas cadenas facilitan la transferencia de calor entre los gases de combustión a temperatura relativamente baja y el lodo calizo. Un ejemplo de este tipo de cortina de cadenas se describe en el documento US-A-2006169181. Estos sistemas de cortina de cadenas pueden ser complicados y caros de instalar y mantener.

50 Una intención de la presente invención es aumentar la transferencia de calor al material dentro del horno rotatorio cerca del extremo de entrada de un horno rotatorio inclinado largo de caldeo directo sin tener que recurrir al sistema de cortina de cadenas.

- 5 Según la presente invención, esto se logra mediante el siguiente método para hacer funcionar un horno rotatorio a contraflujo de caldeo directo para el tratamiento térmico de material, el horno rotatorio presenta un eje longitudinal alrededor del que rota el horno y que tiene una longitud interna L_{int} de 20 m a 100 m y un diámetro interno D_{int} y además presenta una relación L_{int}/D_{int} de 10 a 100. El eje longitudinal del horno se inclina con respecto al plano horizontal y se extiende entre un extremo de entrada superior del horno y un extremo de salida inferior del horno.
- El material a tratar se introduce en el horno en el extremo de entrada. Se somete a tratamiento térmico dentro del horno, tras el que el material así tratado se evacúa del horno en el extremo de salida.
- 10 En el horno se genera energía térmica al introducir un combustible principal y un oxidante principal en el horno en el extremo de salida para generar una combustión principal de dicho combustible principal con dicho oxidante principal en una zona de combustión principal que se extiende dentro del horno en una distancia de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ de la longitud interna L_{int} del horno desde el extremo de salida.
- 15 Gases de combustión generados por dicha combustión principal se desplazan a través del horno desde la zona de combustión principal hacia el extremo de entrada a través de una zona de intercambio de calor en la que no tiene lugar combustión, pero en la que se trasfiere calor desde los gases de combustión al material que se desplaza en contracorriente/contraflujo con los gases de combustión. La zona de intercambio de calor se ubica aguas arriba de la zona de combustión principal, típicamente inmediatamente aguas arriba de la zona de combustión principal.
- 20 Si el combustible principal se combustiona completamente en la zona de combustión principal, entonces los gases de combustión que dejan la zona de combustión principal están libres de sustancias combustibles. Sin embargo, cuando la combustión del combustible principal en la zona de combustión principal es incompleta, entonces los gases de combustión que dejan la zona de combustión principal contienen sustancias combustibles tales como, por ejemplo, CO.
- Finalmente, los gases de combustión se evacúan del horno por medio de una salida de gases de combustión situada en el extremo de entrada del horno.
- 25 Según la presente invención, oxidante suplementario y opcionalmente también combustible suplementario se introducen en el horno en el extremo de entrada para combustionar:
- a) sustancias combustibles en los gases de combustión desde la zona de combustión principal, si están presentes, y,
 - b) si se introduce combustible suplementario en el horno, el combustible suplementario con dicho oxidante suplementario dentro de la zona de combustión suplementaria del horno.
- 30 A esta combustión con el oxidante suplementario se le hace referencia como "combustión suplementaria".
- La combustión suplementaria tiene lugar en una zona de combustión suplementaria dentro del horno aguas arriba de la zona de intercambio de calor y que se extiende en una distancia desde el extremo de entrada de como mucho $\frac{1}{4}$ de la longitud interna L_{int} . Los gases de combustión generados por dicha combustión suplementaria se evacúan del horno junto con los gases de combustión generados por la combustión principal por medio de la salida de gases de combustión del horno.
- 35 Se usa un oxidante suplementario con un contenido de oxígeno del 50 % en volumen al 100 % en volumen, preferiblemente de al menos el 80 % en volumen, más preferiblemente de al menos el 90 % en volumen y lo más preferiblemente de al menos el 97 % en volumen para lograr dicha combustión suplementaria dentro del horno.
- 40 Introducir oxidante suplementario sin combustible suplementario se concibe únicamente cuando los gases de combustión generados por la combustión principal contienen sustancias combustibles, también conocidas en la técnica como "combustible residual", tal como CO.
- 45 En el presente contexto, se entiende que la "zona de combustión principal" se extiende desde el extremo de salida del horno al punto dentro del horno, es decir, aguas arriba del extremo de salida, donde se detiene la combustión principal. De manera semejante, se entiende que la "zona de combustión suplementaria" se extiende desde el extremo de entrada del horno al punto dentro del horno, es decir, aguas abajo del extremo de entrada, donde se detiene la combustión suplementaria.
- En el presente contexto y a menos que se especifique de otro modo, los términos "aguas arriba" y "aguas abajo" se usan con respecto a la dirección de desplazamiento del material (que se va a tratar) en el horno rotatorio.
- 50 Ya se ha propuesto en la patente europea EP-A-0451648 inyectar oxidante y combustible en el extremo de salida en combinación con inyectar oxidante y opcionalmente combustible en el extremo de entrada de hornos rotatorios cortos y en particular de hornos rotatorios móviles. En la patente europea EP-A-0451648, la intención era proporcionar un perfil de temperatura deseable con gradientes reducidos de temperatura y con una temperatura más uniforme desde el extremo de entrada de alimentación al extremo de salida de alimentación del horno para aumentar el rendimiento del horno rotatorio, sin crear un alto potencial de daño de refractario o condiciones favorables para formación de NOx.

5 Los hornos rotatorios descritos en la patente europea EP-A-0451648 claramente no constituyen hornos rotatorios largos como se define en el contexto de la presente invención. Además, debido a diferentes dimensiones, más en particular longitud más corta, de dichos hornos y/o a la naturaleza del material tratado en el horno, tal como basura que contiene materia combustible, estos hornos no presentan una zona de transferencia de calor que abarque el medio longitudinal M del horno en el que no tiene lugar combustión. En cambio, en los hornos según la patente europea EP-A-0451648 tiene lugar combustión en la longitud entera del horno rotatorio.

Como consecuencia, si se usa este tipo de horno para el tratamiento térmico de material no combustible, al material se transferirá un menor porcentaje del calor generado por la combustión que en el caso en hornos rotatorios largos de caldeo directo.

10 Como se ha indicado anteriormente, la presente invención hace posible aumentar la transferencia de calor al material en el extremo frío del horno sin necesidad de instalar cortinas de cadenas o equipo similar en dicho extremo frío.

15 Desde la patente europea EP-A-2631582, se conoce además un método para fabricar clínker de cemento por medio de un sistema que no tiene equipo dedicado pre-calcinador, suministrado con combustible, y que comprende un tubo rotatorio térmicamente aislado, que actúa como horno rotatorio, un quemador principal colocado en un primer extremo del tubo rotatorio, un conducto ascendente colocado en el segundo extremo aguas arriba del tubo rotatorio, un segundo quemador opuesto al quemador principal para inyectar partículas de combustible trituradas esponjosamente propulsadas por aire desde basuras al tubo rotatorio con una velocidad de manera que la combustión de las partículas de combustible trituradas esponjosamente tiene lugar principalmente en el conducto ascendente aguas arriba del horno para subir la temperatura en el conducto ascendente aguas arriba del horno a un nivel de temperatura en el que puede tener lugar eficiente descarbonatación de la piedra caliza.

Según la patente europea EP-A-2631582, la combustión de las partículas de combustible trituradas esponjosamente con el aire propelente, ambos se inyectan por medio del segundo quemador, principalmente tiene lugar aguas arriba del horno rotatorio en el conducto ascendente para provocar descarbonatación del material antes de que se introduzca en el horno rotatorio.

25 El método según la patente europea EP-A-2631582 no busca así aumentar la transferencia de calor al material dentro del horno rotatorio por medio de combustión suplementaria dentro del horno en el extremo de entrada.

Se apreciará que la presente invención hace posible aumentar la transferencia de calor a la carga dentro del horno incluso cuando se ha alcanzado la máxima capacidad del sistema de suministro de oxidante principal.

El oxidante principal de los hornos rotatorios largos de contraflujo es usualmente aire.

30 El oxidante principal también puede ser aire enriquecido con oxígeno. El oxidante principal se puede introducir además en el horno como una combinación de chorros de aire y oxígeno.

La capacidad máxima del sistema de suministro de oxidante principal puede ser debida:

- a) A un límite superior del volumen de oxidante principal que puede proporcionar el sistema de suministro de oxidante principal y/o
- 35 b) A un límite superior de la caída de presión (en el horno) que puede superar el sistema de suministro de oxidante principal. Ciertamente, debido a la longitud del horno y a la relación relativamente baja D_{int}/L_{int} del horno, la caída de presión en el horno es sustancial.

40 Al inyectar el oxidante suplementario y opcionalmente también el combustible suplementario en el extremo de entrada del horno, se aumenta la transferencia de calor al material sin aumentar significativamente la caída de presión en el horno. En efecto, conforme se introduce el oxidante suplementario y opcionalmente también el combustible suplementario en el extremo de entrada del horno, los gases de combustión generados por la combustión suplementaria únicamente se desplazan a través de la zona de combustión suplementaria aguas arriba y difícilmente provocan un aumento de la caída de presión en el horno.

45 Por esta razón, la presente invención también hace posible aumentar la transferencia de calor al material en el extremo de entrada del horno incluso cuando la caída de presión en el horno está casi en el nivel de la caída de presión máxima con la que puede tratar el sistema de extracción de gases de combustión del horno.

La presente invención es de particular interés cuando el material a tratar térmicamente tiene un alto contenido de humedad, en particular cuando el material a tratar se introduce en el horno como lodo o lechada.

50 En ese caso, la primera etapa en el proceso de tratamiento térmico es una etapa de secado. Al aumentar la transferencia de calor al material en el extremo de entrada del horno, se acelera el secado y se disminuye la distancia recorrida por el material durante la etapa de secado, aumentando así la capacidad de tratamiento térmico del horno.

La presente invención también es útil para hacer funcionar un horno rotatorio a contraflujo de caldeo directo para el

tratamiento térmico de material cuando al menos parte del material se trata en un pre-calcinador suministrado con combustible antes de ser introducido en el horno rotatorio, por ejemplo en un proceso para producción de clínker en un horno rotatorio.

5 La presente invención también puede ser particularmente útil cuando el combustible suplementario contiene agua, por ejemplo cuando el combustible suplementario es en forma de pasta o lechada que contiene agua, y en particular en forma de líquido o pasta de basura combustible.

10 Como se ha indicado anteriormente, los gases de combustión desde la zona de combustión principal pueden contener sustancias combustibles tales como CO como consecuencia de combustión incompleta del combustible principal en la zona de combustión principal. Esto ocurre frecuentemente cuando el oxidante principal y el combustible principal se introducen en el horno en una relación de equivalencia principal de 0,85 a 1,05, preferiblemente de 0,85 a 0,95.

En el presente contexto, la expresión "relación de equivalencia" se usa con su significado convencional, es decir:

$$\frac{(F/O)_{real}}{(F/O)_{estequiométrico}}$$

por lo que:

- 15 • F = caudal de combustible (por el que el combustible puede ser un único combustible o una combinación de varios combustibles)
- O = caudal de oxidante (por el que el oxidante puede ser un único oxidante o una combinación de varios oxidantes).

20 La "relación de equivalencia principal" se refiere a la relación de equivalencia en la zona de combustión principal, es decir, la relación de equivalencia del combustible principal y el oxidante principal. La "relación de equivalencia suplementaria" se refiere a la relación de equivalencia del combustible suplementario y el oxidante suplementario.

En el presente contexto, se dice que la combustión es sustancialmente completa cuando la presión parcial de combustibles residuales en los productos de combustión es menor que 50 mbar.

25 Cuando los gases de combustión desde la zona de combustión principal contienen sustancias combustibles, es posible introducir únicamente oxidante suplementario y no combustible suplementario en el horno. Cuando los gases de combustión desde la zona de combustión principal contienen sustancias combustibles, también es posible introducir oxidante suplementario y combustible suplementario en el horno. En ese caso, la relación de equivalencia suplementaria es menor que 1.

30 Preferiblemente, las sustancias combustibles que contienen gases de combustión desde la zona de combustión principal entran a la zona de combustión suplementaria a una temperatura de al menos 650 °C, preferiblemente de al menos 700 °C y más preferiblemente de al menos 750 °C, pero que generalmente no superan 1200 °C, asegurando así una combustión rápida de dichas sustancias combustibles dentro del horno cuando las sustancias combustibles entran en contacto con dicho oxidante suplementario.

35 Según una realización diferente de la invención, el oxidante principal y el combustible principal se introducen en el horno en el extremo de salida para proporcionar combustión completa o combustión sustancialmente completa del combustible principal en la zona de combustión principal. En ese caso, los gases de combustión desde la zona de combustión principal contienen poco o nada de sustancias combustibles y ambos combustible suplementario y oxidante suplementario se introducen en el horno en el extremo de entrada. El combustible suplementario y el oxidante suplementario se introducen entonces en el horno en el extremo de entrada para proporcionar combustión completa o combustión sustancialmente completa del combustible suplementario en la zona de combustión suplementaria.

40 Según la invención, el oxidante principal se puede introducir en el horno en múltiples chorros de oxidante principal. En particular, en el horno se puede introducir una primera porción del oxidante principal como uno o más chorros de oxidante primario en contacto con un chorro del combustible principal y una segunda parte del oxidante principal puede ser introducida en el horno como uno o más chorros de secundario oxidante por separado del combustible principal. Por ejemplo, el oxidante primario puede ser aire proporcionado por un soplante de aire u oxígeno de una fuente de oxígeno (tal como un recipiente de oxígeno), con oxidante secundario que es aire de un enfriador de material para el enfriamiento por aire del material tratado térmicamente que deja el horno.

45 Al menos parte y preferiblemente todo el oxidante suplementario se inyecta ventajosamente en el horno supersónicamente. Esto permite al oxidante suplementario penetrar además aguas abajo en el horno desde el extremo de entrada, aumentando de ese modo el tiempo de residencia del oxidante suplementario en el horno rotatorio. El tiempo de residencia del oxidante suplementario en el horno también se puede aumentar inyectando al menos parte y preferiblemente todo el oxidante suplementario en el horno por medio de una lanza que se extiende en el horno desde el extremo de entrada. Una distancia de penetración más alta del oxidante suplementario en el horno también

es ventajosa, en particular cuando los gases de combustión desde la zona de combustión principal contienen sustancias combustibles, en que dichos gases de combustión están en una temperatura más alta cuando entran en contacto con el oxidante suplementario.

5 Según una realización ventajosa, el oxidante suplementario se inyecta en el horno en una dirección paralela al eje longitudinal del horno.

10 Como alternativa varios chorros de oxidante suplementario se inyectan en el horno con una dirección de inyección de modo que las direcciones de inyección de dichos chorros de oxidante suplementario se encuentran en un punto ubicado sobre o en las inmediaciones del eje longitudinal del horno. La última configuración se considera que es particularmente útil cuando los gases de combustión desde la zona de combustión principal contienen sustancias combustibles.

La zona de intercambio de calor se ubica típicamente inmediatamente aguas arriba de la zona de combustión principal.

Como se indica anteriormente, la presente invención es particularmente útil cuando el material a tratar térmicamente tiene que ser secado al menos parcialmente en la zona de combustión suplementaria.

15 El material a tratar puede ser introducido, por ejemplo, en el horno en el extremo de entrada con un contenido de agua del 20 al 35 % en peso, preferiblemente del 24 al 29 % en peso, como es típicamente el caso para lodo calizo.

El oxidante principal es típicamente aire, aire enriquecido con oxígeno o una combinación de chorros de aire y chorros de oxígeno.

La presente invención también está relacionada con el uso del método según la invención para el tratamiento térmico de material, por ejemplo para la producción de cal, en particular a partir de lodo calizo.

20 En otras palabras, la presente invención también está relacionada con un método para el tratamiento térmico de material en un horno rotatorio a contraflujo de caldeo directo, por el que dicho horno presenta un eje longitudinal alrededor del que rota el horno y por el que dicho horno tiene una longitud interna L_{int} de 20 m a 100 m y un diámetro interno D_{int} y presenta una relación L_{int}/D_{int} de 10 a 100. El método para el tratamiento térmico de material comprende además las etapas de una cualquiera de las realizaciones del método para hacer funcionar un horno rotatorio como se ha descrito anteriormente.

25 La presente invención también está relacionada con una instalación para el tratamiento térmico de material. Dicha instalación comprende un horno largo de contraflujo de caldeo directo que es rotatorio alrededor de un eje longitudinal. Dicho eje se extiende entre un extremo de entrada superior y un extremo de salida inferior y se inclina con respecto al plano horizontal. El horno presenta una longitud interna L_{int} de 20 m a 100 m. Tiene un medio longitudinal M a medio camino entre el extremo de entrada y el extremo de salida. El horno también presenta un diámetro interno D_{int} de modo que la relación L_{int}/D_{int} es de 10 a 100.

La instalación comprende además un sistema de suministro de material para suministrar material a tratar al horno. El sistema de suministro de material está en conexión de fluidos con el extremo de entrada del horno y se adapta para introducir material a tratar en una tasa de suministro controlada en el horno en el extremo de entrada.

35 La instalación también incluye un sistema de evacuación de material en conexión de fluidos con el extremo de salida y adaptado para evacuar material tratado térmicamente del horno.

40 Al menos un inyector de combustible principal y al menos un inyector de oxidante principal se ubican en el extremo de salida del horno. Se adaptan para introducir combustible principal, respectivamente oxidante principal a una zona de combustión principal del horno que está adyacente al extremo de salida del horno. El al menos un inyector de oxidante principal y el al menos un inyector de combustible principal son parte preferiblemente de un quemador principal ubicado en el extremo de salida del horno.

Una salida de gases de combustión se sitúa en el extremo de entrada del horno y se adapta para evacuar gases de combustión del horno.

45 El horno también comprende al menos un inyector de oxidante suplementario y opcionalmente también al menos un inyector de combustible suplementario ubicado en el extremo de entrada del horno. El al menos un inyector de oxidante suplementario se adapta para introducir oxidante suplementario a una zona de combustión suplementaria adyacente al extremo de entrada del horno y, si está presente, el al menos un inyector de combustible se adapta para introducir combustible suplementario a dicha zona de combustión suplementaria.

50 Cuando está presente un inyector de oxidante suplementario y un inyector de oxidante suplementario y un inyector de combustible suplementario, estos inyectores suplementarios con parte útil de un quemador suplementario ubicado en la entrada del horno.

Adicionalmente, el horno comprende una sección media longitudinal que se extiende al menos el 50 % de la longitud

interna L_{int} del horno y en la que no hay presentes entradas de oxidante o combustible. Esta sección media abarca el medio longitudinal M del horno.

5 La realización de la instalación con únicamente al menos un inyector de oxidante suplementario en el extremo de entrada del horno y sin inyector de combustible suplementario ubicado en el extremo de entrada del horno, es útil para instalaciones en las que la combustión principal es incompleta, es decir, por lo que los gases de combustión generados por la combustión principal todavía contienen sustancias combustibles a combustionar con oxidante del inyector(es) de oxidante suplementario.

10 La realización de la instalación tanto con al menos un inyector de oxidante suplementario en el extremo de entrada del horno como al menos un inyector de combustible suplementario ubicado en el extremo de entrada del horno, es útil tanto para instalaciones en las que la combustión principal es incompleta como para instalaciones por las que la combustión principal es completa.

Según una realización preferida, al menos un inyector de oxidante suplementario es un inyector supersónico y/o en forma de lanza que se extiende longitudinalmente en el horno desde el extremo de entrada.

15 El sistema de evacuación de material puede comprender un enfriador para enfriar por aire el material tratado térmicamente aguas abajo del horno. En ese caso, dicho enfriador puede comprender una salida de aire en conexión de fluidos con una entrada de oxidante principal del horno, para suministrar aire de enfriamiento desde el enfriador como (parte o todo del) oxidante de combustión principal al horno.

20 El al menos un inyector de oxidante suplementario está en conexión de fluidos con una fuente de un oxidante que tiene un contenido de oxígeno del 50 % en volumen a 100 % en volumen, preferiblemente de al menos el 80 % en volumen, más preferiblemente de al menos el 90 % en volumen y lo más preferiblemente de al menos el 97 % en volumen. Como se ha indicado anteriormente, al inyectar oxidante rico en oxígeno de tales fuentes de oxidante como oxidante suplementario, se promueve una combustión completa o sustancialmente completa dentro del horno y más específicamente dentro de la combustión suplementaria del horno. Ejemplos de tales fuentes de oxidante son Unidades de Separación de Aire, recipientes que contienen oxidantes licuados ricos en oxígeno y conductos para el suministro de oxidante licuado o gaseoso rico en oxígeno.

La presente invención también incluye instalaciones para el tratamiento térmico de material adaptado para uso en las diferentes realizaciones del método según la invención como se ha descrito anteriormente. Así, la presente invención también incluye tales instalaciones que comprenden equipo pre-calcinador suministrado con combustible aguas arriba del horno rotatorio.

30 La presente invención también está relacionada con el uso de una cualquiera de las realizaciones de la instalación según la invención para el tratamiento térmico de material, por ejemplo para la producción de cal o cemento.

La presente invención y sus ventajas se ilustran en el siguiente ejemplo, se ha hecho referencia a la figura que es una representación esquemática de un horno rotatorio largo a contraflujo adecuado para uso en la presente invención.

35 Este ejemplo ilustra cómo la invención descrita anteriormente puede ofrecer ventajas reales al funcionamiento de un horno rotatorio, más específicamente en caso de un horno rotatorio para la producción de cal con una capacidad de producción de alrededor de 115 t/día como se ilustra en la figura.

El horno rotatorio se caracteriza por los siguientes datos:

$$L_{int} = 50 \text{ m}$$

$$D_{int} = 2,4 \text{ m}$$

40 $L_{int}/D_{int} = 20,8$

$$\text{Velocidad rotacional} = 1,8 \text{ rpm}$$

$$\text{Ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal } (\alpha) = 3^\circ$$

45 En el horno se introduce lodo calizo en el extremo de entrada superior 2. El material 10 se desplaza a través del horno en la dirección 11, y entretanto se somete a tratamiento térmico en el horno, de modo que en el extremo de salida 1 de los hornos se obtiene cal quemada.

El quemador principal 3, situado en el extremo de salida 1 del horno, se alimenta con aire como oxidante principal y gas natural como combustible principal. También se usa algún fueloil líquido como combustible principal adicional.

$$\text{Gas natural} \sim 800 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{Fueloil líquido} \sim 210 \text{ kg/h}$$

5 La combustión del combustible principal y el combustible principal adicional con aire tiene lugar en la zona de combustión principal 6 (15 m de largo) y los gases de combustión generados por dicho desplazamiento de combustión principal a través del resto de las zonas 7 y 5 del horno en la dirección 12 al extremo de entrada 2 del horno, donde se evacúan del horno por medio de una salida de gases de combustión (no se muestra). El horno no está equipado con una cortina de cadenas cerca de su extremo de entrada 2.

Cuando el horno rotatorio funciona según prácticas de la técnica anterior, es decir, sin combustión suplementaria, se pueden distinguir así dos zonas en el horno: la zona de combustión principal 6 y el resto del horno (zonas 7 y 5) que actúan como zona de intercambio de calor.

10 En las condiciones de funcionamiento dadas de la técnica anterior (potencia de quemador principal y tasa de producción de horno), el sistema de succión de humos (el ventilador no se muestra) ya está funcionando al máximo, es decir, al 100 % de potencia.

En estas circunstancias y cuando no se hace uso de la presente invención, la tasa de producción está claramente limitada por la capacidad de transferencia de calor dentro del horno.

15 A fin de aumentar la tasa de producción, la temperatura en la entrada de horno es un parámetro clave. El lodo calizo introducido en el horno está generalmente a alrededor de 260 °C con un contenido de agua del 24 al 29 %. La temperatura dentro del horno en la entrada de horno debe ser superior a 500 °C a fin de garantizar que todo el contenido de H₂O del lodo calizo se seca completamente suficientemente aguas arriba en el horno, lo que es importante para obtener una producción suficiente y de buena calidad.

20 Aumentar la potencia de quemador del quemador principal 3, en particular a fin de aumentar la temperatura en el horno extremo de entrada 2, requiere aumentar la potencia de ventilador, lo que determina el caudal volumétrico de los gases de combustión a través del horno. Sin embargo, como el ventilador ya está en funcionamiento al máximo, esta no es una opción disponible. Además, cualquier aumento significativo en la potencia de quemador principal sobrecalentaría la zona de combustión principal 6 y dañaría el revestimiento de horno en esa parte del horno.

25 Según el ejemplo que implementa la invención, tiene lugar una inyección suplementaria del oxígeno y combustible a través de un quemador suplementario 8 en una zona de combustión suplementaria 5 en el extremo de entrada de horno 2. Esto añade suficiente energía como para mantener la temperatura de los gases de combustión en la zona de combustión suplementaria 5 por encima de 500 °C y permite un aumento de la tasa de producción un 15 %.

Así se pueden identificar tres zonas a lo largo del horno cuando se usa el método según la invención:

- i. la zona de combustión principal 6 - 15 m de largo,
- 30 ii. la zona de intercambio de calor 7 - 20 m de largo, que incluye el medio longitudinal M del horno, y
- iii. la zona de combustión suplementaria 5 - 15 m de largo.

En el ejemplo dado, el quemador suplementario es un quemador simple de tubería en tubería con potencia nominal de 750 kW que usa gas natural como combustible y oxígeno como oxidante.

35 El uso de oxígeno como oxidante permite una temperatura de llama mucho más alta con consiguiente eficiencia más alta y menor consumo de combustible que se pueden lograr mediante combustión de aire. Además, un oxi-quemador es mucho más compacto que un quemador que quema aire de potencia equivalente, lo que facilita enormemente su instalación del quemador suplementario 8 en la entrada de horno 2 donde el espacio disponible es generalmente muy limitado.

REIVINDICACIONES

1. Método para hacer funcionar un horno rotatorio a contraflujo inclinado largo de caldeo directo para el tratamiento térmico de material, el horno rotatorio presenta un eje longitudinal alrededor del que rota el horno, dicho eje longitudinal está inclinado con respecto al plano horizontal y se extiende longitudinalmente entre un extremo de entrada superior (2) y un extremo de salida inferior (1) del horno, el horno tiene una longitud interna L_{int} de 20 m a 100 m y un diámetro interno D_{int} y presenta una relación L_{int}/D_{int} de 10 a 100, método:
- por el que el material a tratar se introduce en el horno en el extremo de entrada (2) y se somete a tratamiento térmico dentro del horno, tras el que el material tratado se evacua del horno en el extremo de salida (1),
 - por lo que en el horno se introduce un combustible principal y un oxidante principal en el extremo de salida (1) para generar una combustión principal del combustible principal con el oxidante principal, dicha combustión principal tiene lugar en una zona de combustión principal (6) dentro del horno rotatorio que se extiende en una distancia de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ de la longitud interna L_{int} del horno desde el extremo de salida (1),
 - por lo que gases de combustión generados por dicho desplazamiento de combustión principal a través del horno desde la zona de combustión principal (6) hacia el extremo de entrada (2) a través de una zona de intercambio de calor (7) en la que no tiene lugar combustión y en la que se trasfiere calor desde los gases de combustión al material que se desplaza en contraflujo con los gases de combustión, dicha zona de intercambio de calor (7) se ubica aguas arriba de la zona de combustión principal (6), los gases de combustión que dejan la zona de combustión principal (6) contienen opcionalmente sustancias combustibles generadas por una combustión principal incompleta del combustible principal,
 - por lo que los gases de combustión generados por dicha combustión principal se evacuan del horno por medio de una salida de gases de combustión situada en el extremo de entrada (2) del horno, y
 - por lo que oxidante suplementario y opcionalmente también combustible suplementario se introducen en el horno en el extremo de entrada (2), el método se caracteriza por que:
 - el oxidante suplementario introducido en el horno tiene un contenido de oxígeno del 50 % en volumen al 100 % en volumen, preferiblemente al menos el 80 % en volumen, más preferiblemente al menos el 90 % en volumen y lo más preferiblemente al menos el 97 % en volumen,
 - el oxidante suplementario y, si se introduce en el horno, el combustible suplementario se introducen en el horno en el extremo de entrada (2) para combustionar sustancias combustibles presentes en los gases de combustión desde la zona de combustión principal (6) y, si se ha introducido en el horno, el combustible suplementario con el oxidante suplementario en una zona de combustión suplementaria (5) dentro del horno rotatorio que se extiende una distancia desde el extremo de entrada (2) de como mucho $\frac{1}{4}$ de la longitud interna L_{int} , de modo que los gases de combustión generados por la combustión suplementaria se evacuan junto con los gases de combustión generados por la combustión principal por medio de la salida de gases de combustión del horno
2. Método según la reivindicación 1, por el que los gases de combustión desde la zona de combustión principal (6) contienen sustancias combustibles y por el que no se introduce combustible suplementario en el horno.
3. Método según la reivindicación 1, por el que los gases de combustión desde la zona de combustión principal (6) contienen sustancias combustibles y por el que tanto oxidante suplementario como combustible suplementario se introducen en el horno.
4. Método según la reivindicación 2 o 3, por el que el oxidante principal y el combustible principal se introducen en el horno en una relación de equivalencia principal de 0,85 a 1,05, preferiblemente de 0,85 a 0,95.
5. Método según la reivindicación 1, por el que el oxidante principal y el combustible principal se introducen en el horno en el extremo de salida (1) para proporcionar combustión completa del combustible principal en la zona de combustión principal (6) y por el que combustible suplementario y oxidante suplementario se introducen en el horno en el extremo de entrada (2).
6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, por el que los gases de combustión desde la zona de combustión principal (6) entran a la zona de combustión suplementaria (5) a una temperatura de al menos 650 °C y preferiblemente al menos 700 °C y más preferiblemente al menos 750 °C.
7. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores por el que la zona de intercambio de calor (7) abarca el medio longitudinal M del horno.
8. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores por el que el oxidante principal se introduce en el horno en múltiples chorros de oxidante principal.
9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores por el que al menos parte y preferiblemente

todo el oxidante suplementario se inyecta en el horno supersónicamente y/o por medio de una lanza que se extiende en el horno desde el extremo de entrada (2).

- 5 10. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 por el que varios chorros de oxidante suplementario se inyectan en el horno con una dirección de inyección de modo que las direcciones de inyección de dicho chorros de oxidante suplementario se encuentran en un punto ubicado sobre o en las inmediaciones del eje longitudinal del horno.
11. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores por el que el material a tratar térmicamente se seca al menos parcialmente en la zona de combustión suplementaria (5).
12. Instalación para el tratamiento térmico de material, que comprende:
- 10 • un horno rotatorio a contraflujo largo de caldeo directo alrededor de un eje longitudinal, dicho eje longitudinal está inclinado con respecto al plano horizontal y se extiende entre un extremo de entrada superior (2) y un extremo de salida inferior (1), el horno tiene un medio longitudinal M a medio camino entre el extremo de entrada (2) y el extremo de salida (1) y que tiene una longitud interna Lint de 20 m a 100 m y un diámetro interno Dint y presenta una relación Lint/Dint de 10 a 100, el horno comprende una sección media longitudinal que no presenta entradas de oxidante o
- 15 combustible que se extiendan al menos el 50 % de la longitud interna Lint del horno y que abarca el medio longitudinal M,
- un sistema de suministro de material para suministrar material a tratar al horno, el sistema de suministro de material está en conexión de fluidos con el extremo de entrada (2) del horno y adaptado para introducir material a tratar a una tasa de suministro controlada en el horno en el extremo de entrada (2),
- 20 • un sistema de evacuación de material en conexión de fluidos con el extremo de salida (1) y adaptado para evacuar material tratado térmicamente del horno,
- al menos un inyector de combustible principal (3) y al menos un inyector de oxidante principal (3) ubicados en el extremo de salida (1) del horno y adaptados para introducir combustible principal, respectivamente oxidante principal en una zona de combustión principal (6) adyacente al extremo de salida (1) del horno,
- 25 • al menos un inyector de oxidante suplementario (8) ubicado en el extremo de entrada (2) del horno y adaptado para introducir oxidante suplementario en una zona de combustión suplementaria (5) adyacente al extremo de entrada (2) del horno
- una salida de gases de combustión situada en el extremo de entrada (2) del horno y adaptada para evacuar gases de combustión del horno,
- 30 la instalación se caracteriza por que el al menos un inyector de oxidante suplementario (8) está en conexión de fluidos con una fuente de oxidante que tiene un contenido de oxígeno del 50 % en volumen al 100 % en volumen, preferiblemente al menos el 80 % en volumen, más preferiblemente al menos el 90 % en volumen y lo más preferiblemente al menos el 97 % en volumen.
13. Instalación según la reivindicación 12, que comprende además al menos un inyector de combustible suplementario (8) ubicado en el extremo de entrada (2) del horno y adaptado para introducir combustible suplementario en la zona de combustión suplementaria (5) adyacente al extremo de entrada (2) del horno.
- 35 14. Instalación según la reivindicación 12 o 13, que comprende al menos un inyector de oxidante suplementario que es un inyector supersónico.
- 40 15. Instalación según una reivindicación cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, por la que el sistema de evacuación de material comprende un enfriador para enfriar por aire el material tratado térmicamente aguas abajo del horno y por la que dicho enfriador comprende una salida de aire en conexión de fluidos con una entrada de oxidante principal del horno.

