

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 915 900**

51 Int. Cl.:

**F23C 3/00** (2006.01)

**F23D 1/02** (2006.01)

**F23D 99/00** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.06.2017 PCT/EP2017/066018**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.01.2018 WO18002151**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.06.2017 E 17732472 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.03.2022 EP 3475609**

54 Título: **Procedimiento de combustión de combustible en una cámara de combustión cilíndrica**

30 Prioridad:

**28.06.2016 BE 201605489**

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

**27.06.2022**

73 Titular/es:

**S.A. LHOIST RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT  
(100.0%)**

**Rue Charles Dubois 28  
1342 Ottignies-Louvain-la-Neuve, BE**

72 Inventor/es:

**HABIB, ZIAD**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 915 900 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

Procedimiento de combustión de combustible en una cámara de combustión cilíndrica

La presente invención se refiere a un procedimiento de combustión de combustible en una cámara de combustión cilíndrica, que comprende, en esta cámara de combustión,

5 - una proyección, a partir de un quemador, de un chorro de combustible sólido pulverulento desplazado por un aire de transporte, y opcionalmente de un flujo de aire primario, y

- una alimentación de un gas comburente según un sentido de propagación de manera que se forma una corriente de gas comburente alrededor del chorro de combustible proyectado por el quemador, a una temperatura que provoca la combustión del combustible.

10 En el campo de la calcinación de rocas minerales, en particular rocas calcáreas y dolomíticas, se usan diferentes tipos de hornos, concretamente hornos rotatorios, hornos de cuba y en particular hornos verticales anulares.

Estos hornos verticales anulares emplean cámaras de combustión superiores e inferiores para calentar el material. Las cámaras de combustión inferiores están originalmente diseñadas para funcionar con gas natural como combustible y este se quema casi instantáneamente.

15 Sin embargo, cada vez es más deseable poder sustituir, en estos hornos actualmente en servicio, el gas combustible por un combustible menos costoso, en particular un combustible sólido pulverulento del tipo carbón en polvo, coque o lignito, semillas de uva, huesos de aceituna, serrín, etc.

20 Un ejemplo de quemador que no es según la invención se representa esquemáticamente en sección axial en la figura 3a y en perspectiva en la figura 4a. El quemador comprende un conducto 120 de combustible rodeado por un manguito 121 cilíndrico que comprende una porción 127 ensanchada hacia el extremo de la punta del quemador y que comprende una pluralidad de orificios 128. El manguito 121 cilíndrico forma con el conducto 120 un espacio anular a través del cual pasa un gas 126 combustible. El manguito 121 y el conducto 120 están incluidos en una carcasa 122 exterior (representada en la figura 3a, no representada en la figura 4a) de manera que la punta del conducto 120 sobresale de la porción 127 ensanchada del manguito 121 y la punta de la carcasa 122 exterior, que la porción 127 ensanchada del manguito está rebajada con respecto a la punta de la carcasa 122 exterior. El aire 105 primario axial puede circular entre un espacio formado por la carcasa 122 exterior y el manguito 121, así como por la pluralidad de orificios 128 en la parte ensanchada del manguito.

30 Sin embargo, la alimentación de los quemadores de las cámaras de combustión inferiores de los hornos anulares de calcinación con un combustible sólido pulverulento de este tipo ha resultado, durante ensayos experimentales realizados por la solicitante, difícilmente apropiada. De hecho, la combustión es incompleta, lo que conduce a una combustión de la materia no quemada ya no en la cámara de combustión, sino en el lecho de material e incluso en el cilindro interior del horno anular, a través del cual se recuperan los gases de combustión calientes. Esto se traduce en un deterioro de la calidad del producto cocido (pérdida de reactividad) y de la productividad (paradas frecuentes del horno para limpiarlo). Y se llega a tener que seguir empleando gas combustible en combinación con combustible sólido pulverulento para evitar estos problemas. Por tanto, se reduce en gran medida la reducción de precio esperada.

35 Cabe señalar que las cámaras de combustión inferiores de los hornos verticales anulares son pequeñas y cortas. Están dimensionadas para gas natural que se quema instantáneamente según la ley de combustión homogénea (combustión gas-gas) "tan pronto como se mezcla, se quema". En estas cámaras también llega el aire necesario para la combustión previamente mezclado con gases de combustión recirculados, que tienen una concentración de oxígeno reducida.

40 Cuando se proyecta combustible sólido a la cámara de combustión, la situación es diferente, se produce una combustión heterogénea (sólido-gas) donde ya no se aplica la ley de "tan pronto como se mezcla, se quema". El tiempo de combustión es muy superior y depende de muchos factores, como el tamaño de las partículas, la reactividad de la superficie sólida, la disponibilidad de oxígeno cerca de la superficie sólida.

45 Por lo tanto, simplemente reemplazar combustible gaseoso por combustible sólido en cámaras de combustión existentes ha resultado ser realmente problemático.

Para mejorar la combustión del combustible sólido, ya se han previsto dispositivos mecánicos que obligan al combustible sólido a mezclarse más íntimamente con el comburente (véase por ejemplo el documento BE 1015604, que describe un procedimiento y una cámara de combustión según el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 10 respectivamente, y el documento EP2143998).

50 Sin embargo, tales sistemas siguen siendo complicados y caros de fabricar y especialmente de mantener. Presentan riesgos no despreciables de fallo de funcionamiento, como atascos, desgaste rápido de piezas mecánicas, etc.

La presente invención tiene como objetivo remediar estos inconvenientes y, por tanto, proponer un procedimiento de combustión aplicable en las cámaras de combustión de hornos, en particular de hornos existentes, que sea eficaz con un consumo únicamente de combustible sólido pulverulento.

## ES 2 915 900 T3

Para solucionar este problema se ha previsto un procedimiento de combustión como se ha indicado al principio, en el que el chorro de combustible sólido tiene una componente axial de proyección en el mismo sentido que dicho sentido de propagación del gas comburente en la cámara de combustión cilíndrica y en el que la razón entre la tasa de momento específica del quemador y la tasa de momento específica del gas comburente es igual o inferior a 1,0 y superior a cero.

- 5 La tasa de momento específica es la medida de la fuerza de un chorro (por ejemplo, chorro de quemador o corriente de comburente) dividida entre la potencia del quemador.

La tasa de momento específica del quemador usado se calcula según la siguiente ecuación (1):

$$Gax\_quemador = (Qmcs + Qmat) \times Viny / P + Qmap \times Vap / P, \text{ donde}$$

Qmcs = caudal másico del combustible sólido (kg/s),

- 10 Qmat = caudal másico del aire de transporte (kg/s),

Qmap = caudal másico del aire primario (kg/s),

Viny = velocidad de inyección axial del combustible (m/s)

Vap = velocidad de inyección axial del aire primario, y

P = potencia del quemador (MW).

- 15 La velocidad de inyección axial se calcula según la siguiente ecuación (2):

Para el combustible

$$Viny = Qvat / Sb, \text{ donde}$$

Qvat = caudal volumétrico real del aire de transporte (m<sup>3</sup>/s), y

Sb = sección recta del conducto de inyección del combustible en el quemador (m<sup>2</sup>).

- 20 Para el aire primario

$$Vap = Qvap / Sap$$

Qvap = caudal volumétrico real del aire primario (m<sup>3</sup>/s)

Sap = sección recta del conducto de inyección del aire primario en el quemador (m<sup>2</sup>).

La potencia del quemador se calcula según la siguiente ecuación (3):

- 25  $P = Qmcs \times PCI$ , donde

PCI = poder calorífico inferior del combustible (MJ/kg).

La tasa de momento específica del gas comburente se calcula según la siguiente ecuación (4):

$$Gax\_comburente = Qmgc \times Vgc / P, \text{ donde}$$

Qmgc = caudal másico del gas comburente (kg/s), y

- 30 Vgc = velocidad axial del gas comburente alrededor del chorro de combustible sólido (m/s).

La velocidad axial del gas comburente se calcula según la siguiente ecuación (5):

$$Vgc = Qvgc / Sch, \text{ donde}$$

Qvgc = caudal volumétrico del gas comburente (m<sup>3</sup>/s), y

Sch = sección recta de la cámara de combustión (m<sup>2</sup>).

- 35 El principio básico en el diseño de quemadores es que un quemador debe tener una tasa de momento (velocidad de inyección x caudal másico) significativa y suficiente para que el chorro central de combustible pueda atraer el comburente que llega a su periferia, forzando así el mezclado de combustible / comburente, lo cual acelera la combustión. Por lo tanto, la aerodinámica de una llama de diseño tradicional está determinada por el propio quemador (véase la figura 1).

- 40 Por el contrario, el procedimiento según la presente invención se basa en una aerodinámica que está determinada por el comburente que llega a la cámara de combustión. Aquí, el comburente obliga al combustible a penetrar en su

- corriente mediante una adaptación de la tasa de momento del quemador a la del comburente (véase la figura 2). Por lo tanto, ya no es el chorro de combustible el que es la fuerza impulsora, es el comburente el que se arrastra por el comburente. Esto da como resultado un mayor tiempo de residencia del combustible, teniendo como efecto la posibilidad de emplear un combustible sólo en forma sólida pulverulenta y obtener una combustión total de este combustible en la cámara de combustión.
- 5
- Para adaptar esta tasa de momento del quemador, es posible, por ejemplo, prever aumentar la sección de inyección de combustible en la punta del quemador, lo que tiene el efecto inmediato de reducir la velocidad de inyección del combustible manteniendo sin cambios los caudales de combustible y comburente y la velocidad del comburente y esto no tiene influencia sobre el funcionamiento del propio horno. Se trata de una modificación menor y fácil de la punta del quemador, con un efecto inmediato sobre la razón reivindicada entre las tasas de momento específicas que se adapta para que sea igual o inferior a 1,0. Preferiblemente, esta razón estará comprendida entre 0,5 y 0,9.
- 10
- Según una realización del procedimiento según la invención, la cámara de combustión cilíndrica tiene un primer y un segundo extremos axiales y el chorro de combustible sólido pulverulento se proyecta por el quemador desde el primer extremo axial de la cámara de combustión hacia el segundo extremo axial. Ventajosamente, el quemador está dispuesto en una mirilla prevista en la pared frontal del primer extremo de la cámara de combustión. Por tanto, el chorro de combustible sólido puede entrar en contacto con el comburente en toda la longitud de la cámara de combustión.
- 15
- Según la invención, el gas comburente es principalmente un gas de combustión recirculado, por ejemplo, a partir del horno de calcinación. Este gas de combustión se puede enriquecer con oxígeno, por ejemplo mediante un suministro de aire.
- 20
- Ventajosamente, el gas comburente se alimenta tangencialmente en la cámara de combustión por dicho primer extremo de la misma, de manera que se forma una corriente helicoidal de gas comburente alrededor del chorro de combustible proyectado por el quemador. Esto favorece el mezclado de combustible-comburente. Naturalmente, también se puede prever que el gas comburente se alimente en la cámara de combustión por dicho primer extremo de la misma, paralelo a su eje y alrededor del chorro de combustible proyectado por el quemador. La propagación del gas comburente debe seguir en todo caso un sentido de propagación hacia el extremo aguas abajo de la cámara de combustión.
- 25
- Para favorecer aún más el mezclado de combustible - comburente, se puede prever, según la invención, una puesta en rotación parcial o total del chorro de combustible transportado por aire de transporte. Esto se puede obtener, por ejemplo, proporcionando un movimiento de rotación al aire de transporte, con la ayuda de aletas de guía.
- 30
- El procedimiento según la invención está destinado a ponerse preferentemente en práctica en una cámara de combustión inferior de un horno vertical anular para calcinar roca calcárea o dolomítica.
- La presente invención también se refiere a una cámara de combustión de este tipo que comprende, en un primer extremo axial, un quemador dispuesto para proyectar un chorro de combustible sólido pulverulento en esta cámara, y opcionalmente un flujo de aire primario axial, y una entrada de alimentación para un gas comburente dispuesta de manera que se forma una corriente de gas comburente según un sentido de propagación alrededor del chorro de combustible proyectado por el quemador, estando el quemador dispuesto para proyectar el combustible sólido en una componente axial de proyección que tiene el mismo sentido que el sentido de propagación de la corriente de gas comburente en la cámara de combustión cilíndrica, de manera que se permite la puesta en práctica del procedimiento según la invención. También se refiere a un horno vertical anular para calcinar roca calcárea o dolomítica, que comprende al menos una cámara de combustión de este tipo, así como un horno vertical anular para calcinar roca calcárea o dolomítica, poniendo en práctica un procedimiento según la invención.
- 35
- 40
- Ahora se describirá la invención con más detalle haciendo referencia a los dibujos adjuntos proporcionados de modo no limitativo.
- La figura 1 representa esquemáticamente una proyección, que no es según la invención, de un chorro de combustible sólido pulverulento en un horno rotatorio convencional.
- 45
- La figura 2 representa esquemáticamente una proyección según la invención de un combustible sólido pulverulento en una cámara de combustión, por ejemplo de un horno vertical anular de calcinación.
- La figura 3a representa una vista esquemática según una sección longitudinal de un quemador que no es según la invención.
- 50
- La figura 3b representa una vista en sección axial de un quemador que puede usarse para la puesta en práctica del procedimiento según la invención.
- La figura 4a representa una vista esquemática en perspectiva de un quemador que no es según la invención.
- La figura 4b representa una vista esquemática en perspectiva de una realización de un quemador que puede usarse para la puesta en práctica del procedimiento según la invención.
- La figura 4c representa una vista esquemática en perspectiva de otra realización de un quemador que puede usarse

para la puesta en práctica del procedimiento según la invención.

La figura 5 representa una vista en sección axial de un horno vertical anular de calcinación dotado de cámaras de combustión inferiores que pone en práctica el procedimiento según la invención.

En los distintos dibujos, elementos idénticos llevan las mismas referencias.

- 5 Es habitual implementar, en las cámaras de combustión de los hornos rotatorios industriales, quemadores que se alimentan únicamente con combustible sólido pulverulento. Las condiciones previstas para el funcionamiento de quemadores de este tipo, cuya potencia es de 66 MW, en un horno rotatorio cuyo caudal es de 1100 t/día, se resumen en la tabla 1 a continuación.

Tabla 1

	Caudal	Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)	Gax (N/MW)
Comburente*	165806 m <sup>3</sup> /h	550	2,5	0,74
Aire de transporte	22127 m <sup>3</sup> /h	50	60	6,10
Carbón	9000 kg/h	50	60	2,28
Quemador total				8,38
Gax_quemador/Gax_comburente				11,29

- 10 \*El comburente en este caso es aire.

Como puede constatarse, la tasa de momento específica del quemador (aire de transporte + carbón) es mucho mayor que la del comburente.

- 15 En la figura 1 se ilustra esquemáticamente esta cámara 1 de combustión. El combustible se proyecta por el quemador 2 a una velocidad de inyección 3 muy alta y el cono 4 de inyección formado por el combustible proyectado fuera de la punta del quemador tiene una forma muy cónica. Gracias a esta alta velocidad de inyección, el comburente 5, alimentado alrededor del chorro de combustible, se aspira en este último.

- 20 Como puede verse en la figura 5, un horno vertical anular convencional para calcinar roca calcárea o roca dolomítica comprende un cilindro 6 exterior y un cilindro 7 interior que forman un espacio 8 anular en el que desciende el material que va a cocerse. La materia prima se introduce por la parte superior del horno en 9 y el producto cocido se descarga por la parte inferior en 10. El combustible se inyecta a dos niveles, a través de varias cámaras de combustión 11 superiores y 12 inferiores (de 4 a 6 cámaras según capacidad del horno). En general, 1/3 del combustible se inyecta en las cámaras 11 y 2/3 en las cámaras 12. Todos los humos de las cámaras 11 superiores y parte de los humos de las cámaras 12 inferiores se aspiran hacia arriba por un ventilador 13 de aspiración, por lo tanto a contracorriente con respecto al movimiento de la carga material. En esta zona tiene lugar una calcinación a contracorriente. La otra parte de los gases de combustión de las cámaras 12 de combustión inferiores se aspira hacia abajo por una depresión creada a nivel de los respiraderos 14 de retorno previstos en el cilindro 7 interior, más abajo que las cámaras 12 de combustión. Esta es la zona de calcinación a co-corriente. A nivel de los respiraderos, los humos de la zona de calcinación a co-corriente se mezclan con el aire de enfriamiento introducido en la parte inferior del horno en 15. Esta mezcla forma los humos de recirculación que, en 16, se recuperan del cilindro 7 interior y se llevan a las cámaras 12 de combustión inferiores para convertirse en las mismas en el gas comburente. A través de un conducto 17, este gas 31 comburente llega a cada una de las cámaras 12 tangencialmente al eje de la cámara y, por tanto, al chorro del quemador 18 inyectado axialmente. Como resultado, el gas 31 comburente adquiere un movimiento de rotación que induce una fuerza centrífuga que empuja al gas 31 comburente hacia las paredes de la cámara de combustión cilíndrica.

- 35 A continuación, se llevaron a cabo ensayos experimentales para aplicar a cada una de las cámaras de combustión de un horno de calcinación anular convencional de este tipo una alimentación del quemador únicamente con combustible sólido pulverulento.

- 40 La figura 3b representa una sección axial de una realización de quemador según la invención. El quemador comprende un manguito 21 que comprende un conducto 20 central a través del cual se alimenta el combustible sólido pulverulento. El manguito 21 comprende además al menos un conducto 23 adicional a través del cual se puede alimentar gas 26 combustible en el momento de encenderse el horno, y únicamente en ese momento. Una carcasa 22 exterior envuelve el manguito 21 y forma con el mismo un espacio a través del cual puede alimentarse aire 5 primario axial para ayudar a la combustión. La carcasa 22 exterior comprende una porción 19 cuyo diámetro interno se reduce progresivamente hacia la punta del quemador, y el manguito comprende una porción 27 cuyo diámetro externo aumenta progresivamente hacia la punta del quemador de manera que se reduce el espacio entre la punta de la carcasa 22 exterior y la punta del manguito 21. Esta reducción de espacio entre la carcasa 22 exterior y el manguito permite aumentar la velocidad de inyección del aire 5 primario axial en la cámara de combustión sin tener que proporcionar un caudal elevado de aire primario axial. La punta de la carcasa 22 exterior, la punta del manguito 21, la punta del conducto 20 central y la punta de dicho al menos un conducto 23 adicional pasan por un plano ortogonal al eje 30 del quemador.

La figura 4b representa una vista en perspectiva de una primera realización de quemador según la invención. El

manguito 21 comprende un conducto 20 central a través del cual se alimenta el combustible sólido pulverulento. El manguito 21 comprende además un conducto 23 adicional que forma un delgado espacio anular, a través del cual se puede alimentarse gas 26 combustible en el momento del encendido del horno, y únicamente en ese momento. Una cubierta 22 exterior (no representada en la figura 4b) envuelve el manguito 21 y forma un espacio a través del cual puede alimentarse aire 5 primario axial para ayudar a la combustión.

La figura 4c representa una vista en perspectiva de otra realización del quemador según la invención. El manguito 21 comprende un conducto 20 central a través del cual se alimenta el combustible sólido pulverulento. El manguito 21 comprende además una pluralidad de conductos 23 adicionales distribuidos alrededor del conducto 20 central, conductos 23 adicionales a través de los cuales se puede alimentar gas 26 combustible en el momento de encenderse el horno, y únicamente en este momento. Una cubierta 22 exterior (no representada en la figura 4c) envuelve el manguito 21 y forma un espacio a través del cual puede alimentarse aire 5 primario axial para ayudar a la combustión.

Según otras realizaciones posibles del quemador, la reducción del espacio entre el manguito 21 y la carcasa 22 exterior puede realizarse únicamente reduciendo el diámetro interno de la carcasa 22 a nivel de la punta del quemador y manteniendo constante el diámetro externo del manguito 21, o alternativamente aumentando el diámetro externo del manguito 21 a nivel de la punta del quemador manteniendo constante el diámetro interno de la carcasa 22. Esta reducción del espacio entre el manguito 21 y la carcasa permite proporcionar una mayor velocidad de inyección de aire primario a la salida del quemador.

Según otra realización posible del quemador, el diámetro interno de la carcasa 22, el diámetro externo del manguito 21 y el espacio entre el manguito 21 y la carcasa exterior permanecen constantes. En este caso, el caudal de aire primario axial o el volumen del manguito 21 o el volumen del interior de la carcasa 22 están adaptados para permitir que el aire primario axial salga a una velocidad predefinida por la punta del quemador.

La figura 5 representa un esquema de un horno anular y comprende una representación de una realización de una cámara 12 de combustión cilíndrica según la invención. En esta realización, la cámara de combustión comprende una entrada que forma la carcasa 22 del quemador 18 y el eje 30 del quemador está ubicado preferentemente en el eje 30' de la cámara 12 de combustión cilíndrica. La cámara 12 de combustión comprende además una entrada 31 de gas comburente situada tangencialmente con respecto al eje 30, 30' del quemador y de la cámara de combustión cilíndrica, tal como se describió anteriormente. A continuación, se evacúan los gases de combustión de la cámara de combustión a través de un conducto.

Las condiciones previstas para el funcionamiento de un quemador como el descrito con la ayuda del ejemplo de la figura 3b, cuya potencia es de 1,13 MW, en un horno anular dotado de 4 cámaras de combustión inferiores y cuyo caudal de cal es de 150 t/día, se resumen en la tabla 2 a continuación.

Tabla 2

	Caudal	T(°C)	Velocidad (m/s)	Gax (N/MW)
Comburente*	10995 m <sup>3</sup> /h	700	6,1	5,99
Aire primario axial	700 m <sup>3</sup> /h	200	34	1,89
Aire de transporte	199 m <sup>3</sup> /h	50	60	3,19
Carbón	185 kg/h	50	60	2,73
Quemador total				7,81
Gax_quemador/Gax_comburente				1,30

\*El comburente en este caso está formado por gases de recirculación.

La velocidad de inyección del combustible transportado por aire se obtiene al pasar por el conducto 20 que tiene una sección de 0,001 m<sup>2</sup>. La "fuerza" del quemador, es decir, su tasa de momento específica (aire primario axial + aire de transporte + carbón) sigue siendo ligeramente mayor que la del comburente, pero es insuficiente para aspirar el comburente en el combustible. No debe compararse con la del horno rotatorio descrito anteriormente. Y por lo tanto se observa una combustión insatisfactoria con un horno que tiene las desventajas descritas anteriormente.

Ahora se ha previsto, para un horno de calcinación anular que tiene el mismo caudal de cal de 150 t/día y dotado de cámaras de combustión inferiores idénticas con quemadores de la misma potencia, reducir la tasa de momento específica del quemador, a diferencia de lo que hubiera imaginado el experto en la técnica basándose en sus conocimientos. Las nuevas condiciones aplicadas son las indicadas en la tabla 3.

Tabla 3

	Caudal	T(°C)	Velocidad (m/s)	Gax (N/MW)
Comburente*	10995 m <sup>3</sup> /h	700	6,1	5,99
Aire primario axial	700 m <sup>3</sup> /h	200	34	1,89
Aire de transporte	199 m <sup>3</sup> /h	50	35	1,85
Carbón	185 kg/h	50	35	1,58
Quemador total				5,32
Gax_quemador/Gax_comburente				0,88

\*El comburente en este caso está formado por gases de recirculación.

5 Como puede verse, sólo se ha modificado la velocidad de inyección del combustible sólido pulverulento desplazado por el aire de transporte, hasta casi la mitad de su valor. Tal modificación puede obtenerse adaptando la sección del conducto 20 a un valor de 0,002 m<sup>2</sup>. Esta pequeña modificación ha conducido a la obtención de una razón entre la tasa de momento específica del quemador y la tasa de momento específica del comburente claramente inferior a 1.

Sorprendentemente, entonces se observó que esta simple modificación dio lugar a una llama, iniciada muy rápidamente, tan rápidamente como con gas natural, y sobre todo que, ahora, era el combustible el que se aspiraba en la corriente helicoidal del gas comburente.

10 Este fenómeno se representa esquemáticamente en la figura 2. Dada su baja velocidad de inyección 3, el combustible proyectado por el quemador 2 forma un cono 4 de proyección más abierto y también además se aspira por corriente de gas comburente que se convierte en fuerza impulsora.

15 Se realizó un experimento idéntico con un quemador, cuya potencia es de 1,81 MW, en un horno vertical anular dotado de 5 cámaras de combustión y cuyo caudal es de 300 t/día. Las condiciones de funcionamiento con un quemador cuya sección del conducto de alimentación de combustible es de 0,001 m<sup>2</sup> se facilitan en la tabla 4.

Tabla 4

	Caudal	T(°C)	Velocidad (m/s)	Gax (N/MW)
Comburente*	17592 m <sup>3</sup> /h	700	6,2	6,13
Aire primario axial	1400 m <sup>3</sup> /h	200	34	1,89
Aire de transporte	318 m <sup>3</sup> /h	50	60	3,19
Carbón	296 kg/h	50	60	2,73
Quemador total				7,81
Gax_quemador/Gax_comburente				1,27

\*El comburente en este caso está formado por gases de recirculación.

Este resultado demostró ser insatisfactorio para obtener un mezclado satisfactorio de combustible-comburente en la cámara de combustión y, por tanto, una combustión total del combustible sólido pulverulento en la misma.

20 Modificando la velocidad de inyección del combustible, ampliando la sección del conducto de inyección a 0,002 m<sup>2</sup>, se obtienen las condiciones dadas en la tabla 5 a continuación:

Tabla 5

	Caudal	T(°C)	Velocidad (m/s)	Gax (N/MW)
Comburente*	17592 m <sup>3</sup> /h	700	6,2	6,13
Aire primario axial	1400 m <sup>3</sup> /h	200	34	1,89
Aire de transporte	318 m <sup>3</sup> /h	50	35	1,86
Carbón	296 kg/h	50	35	1,59
Quemador total				5,34
Gax_quemador/Gax_comburente				0,87

\*El comburente en este caso está formado por gases de recirculación.

25 Esta disposición permite aumentar drásticamente el tiempo de residencia de las partículas en la cámara de combustión y por lo tanto el oxígeno está más disponible y la combustión es completa dentro de la cámara de combustión.

Debe entenderse que la presente invención no se limita de ningún modo a las realizaciones indicadas anteriormente y que se pueden realizar muchas modificaciones a las mismas sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

5 Por ejemplo, es posible añadir un movimiento específico al quemador, ya sea añadiendo aletas de rotación en el circuito de combustible sólido pulverulento, o añadiendo aletas de rotación al circuito de aire de transporte o al circuito de aire primario axial, o incluso otra combinación de estas medidas. También es posible añadir a la periferia del quemador un circuito de aire adicional puesto en rotación para ayudar a la apertura del cono de proyección del combustible en la cámara.

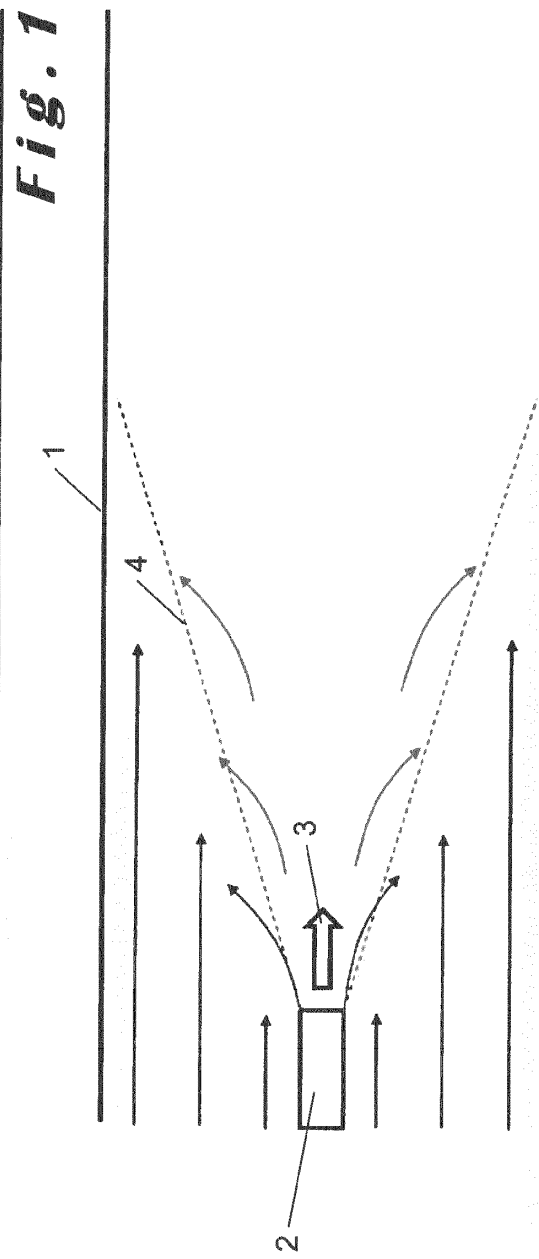
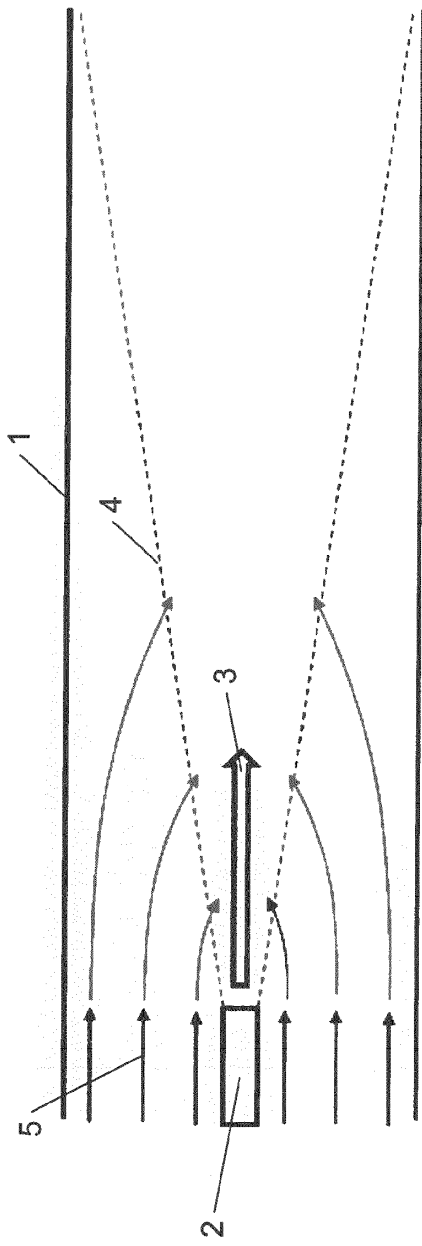
También es posible inyectar el combustible directamente en la corriente de gas comburente, por ejemplo en el punto de llegada del mismo a la cámara de combustión, pero antes de su puesta en rotación.

También es totalmente concebible no alimentar aire primario al quemador, lo cual puede modificar los valores de la razón reivindicada con respecto a los obtenidos con un quemador en el que se suministra aire primario.

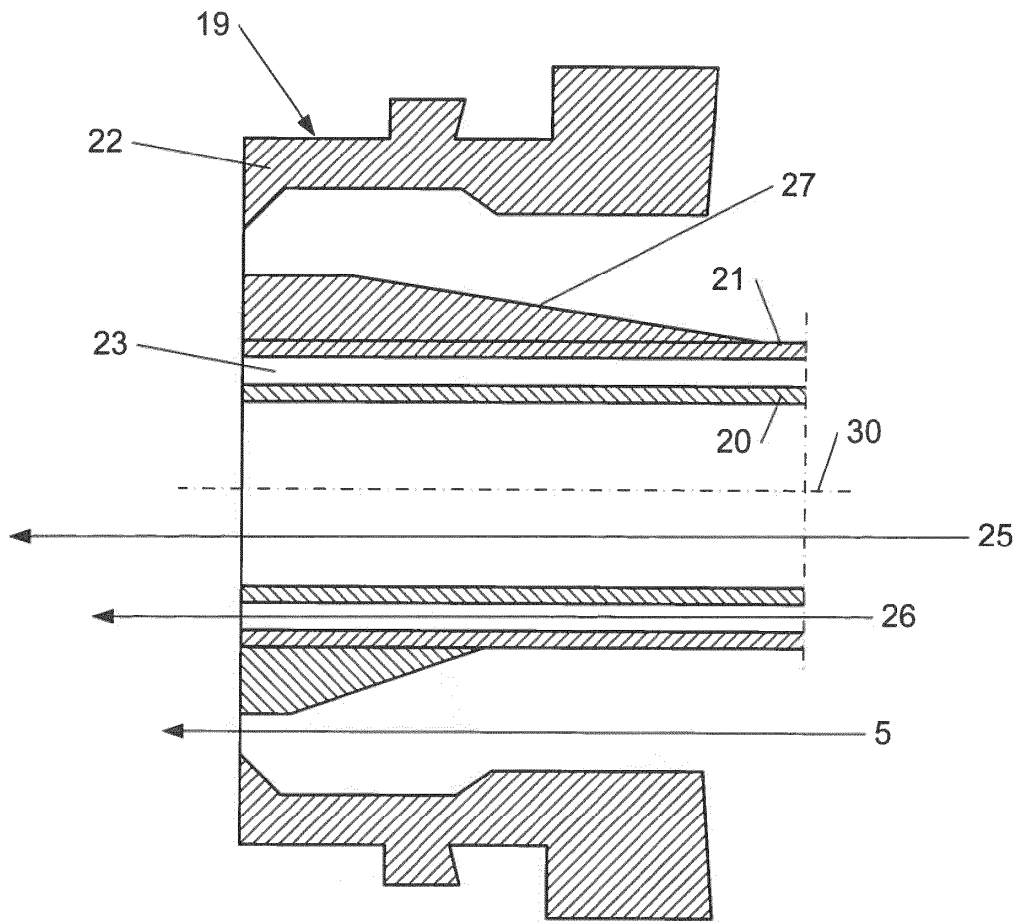
10 En un quemador sin aire primario, cuando se pone en práctica un chorro de combustible a una velocidad de inyección  $V_{inj}$  igual a 15 m/s, la razón reivindicada puede incluso llegar a ser igual a 0,25. A una velocidad de inyección  $V_{inj}$  de 45 m/s, será entonces de 0,74.

**REIVINDICACIONES**

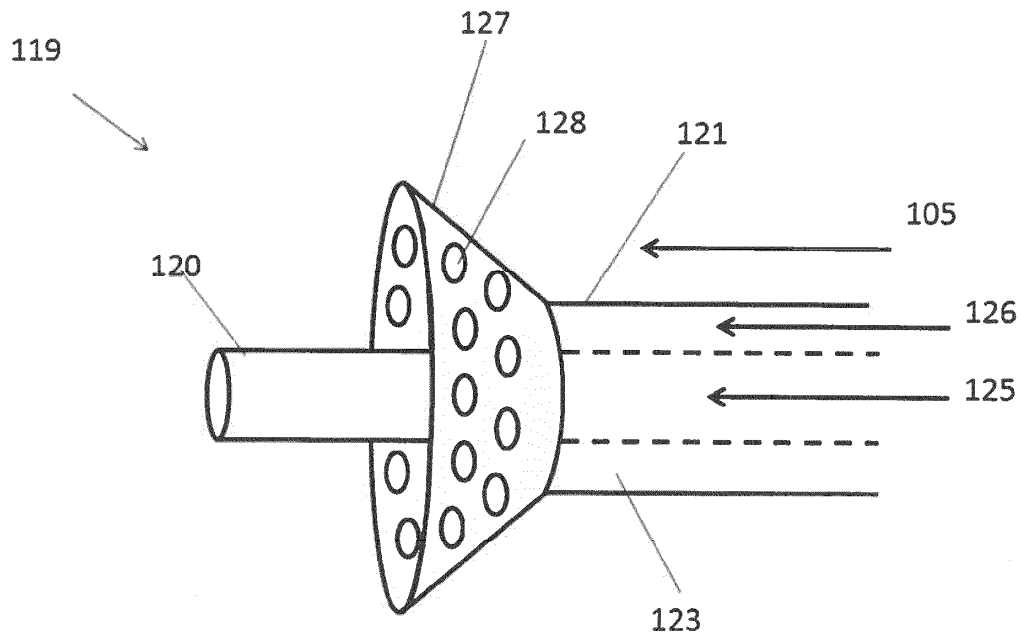
1. Procedimiento de combustión de combustible en una cámara (1) de combustión cilíndrica, que comprende, en esta cámara de combustión,
- 5           - una proyección, a partir de un quemador (2), de un chorro de combustible (3) sólido pulverulento, desplazado por un aire de transporte, y eventualmente de un flujo de aire primario, y
- una alimentación de un gas (5) comburente según un sentido de propagación de manera que se forma una corriente de gas comburente alrededor del chorro de combustible proyectado por el quemador, a una temperatura que provoca la combustión del combustible,
- 10           caracterizado por que el chorro de combustible sólido tiene una componente axial de proyección en el mismo sentido que dicho sentido de propagación del gas comburente en la cámara de combustión cilíndrica, y por que la razón entre la tasa de momento específica del quemador y la tasa de momento específica del gas comburente es igual o inferior a 1,0 y superior a cero.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la razón entre la tasa de momento específica del quemador y la tasa de momento específica del gas comburente está comprendida entre 0,25 y 0,9.
- 15 3. Procedimiento según una u otra de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado por que la cámara de combustión cilíndrica tiene un primer y un segundo extremos axiales y por que el chorro de combustible sólido pulverulento se proyecta por el quemador desde el primer extremo axial de la cámara de combustión hacia el segundo extremo axial.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que el gas comburente se alimenta tangencialmente en la cámara de combustión por dicho primer extremo de la misma, de manera que se forma una corriente helicoidal de gas comburente alrededor del chorro de combustible proyectado por el quemador.
- 20 5. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que el gas comburente se alimenta en la cámara de combustión por dicho primer extremo de la misma, paralelo a su eje y alrededor del chorro de combustible proyectado por el quemador.
6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que comprende una puesta en rotación parcial o total del chorro de combustible transportado por el aire de transporte.
- 25 7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que comprende una puesta en rotación parcial o total del flujo de aire primario.
8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que el gas comburente es un gas de combustión recirculado.
- 30 9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que dicha cámara de combustión es una cámara de combustión inferior de un horno vertical anular para la calcinación de roca mineral.
10. Cámara (1) de combustión cilíndrica que comprende, en un primer extremo axial, un quemador (2) dispuesto para proyectar un combustible (3) sólido pulverulento en esta cámara y una entrada de alimentación para un gas (5) comburente dispuesta de manera que se forma una corriente de gas comburente según un sentido de propagación alrededor del chorro de combustible proyectado por el quemador, caracterizada por que el quemador está dispuesto para proyectar el combustible sólido a lo largo de una componente axial de proyección que tiene el mismo sentido que dicho sentido de propagación de los gases en la cámara de combustión cilíndrica, estando esta cámara dispuesta y dimensionada para la puesta en práctica del procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
- 35 11. Horno vertical anular para la calcinación de roca mineral, que comprende al menos una cámara de combustión según la reivindicación 10.
- 40 12. Puesta en práctica de un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 en un horno vertical anular para la calcinación de roca mineral.



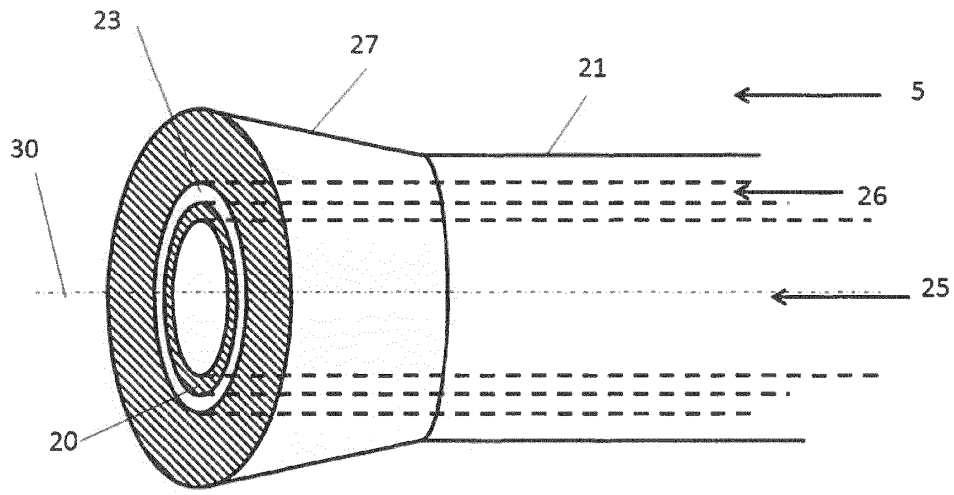




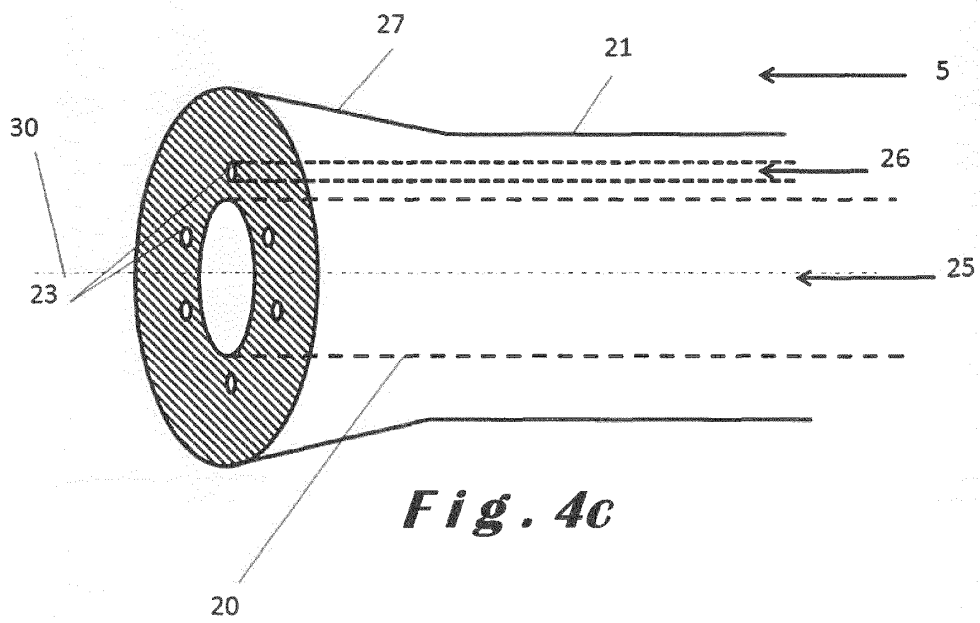
**Fig. 3b**



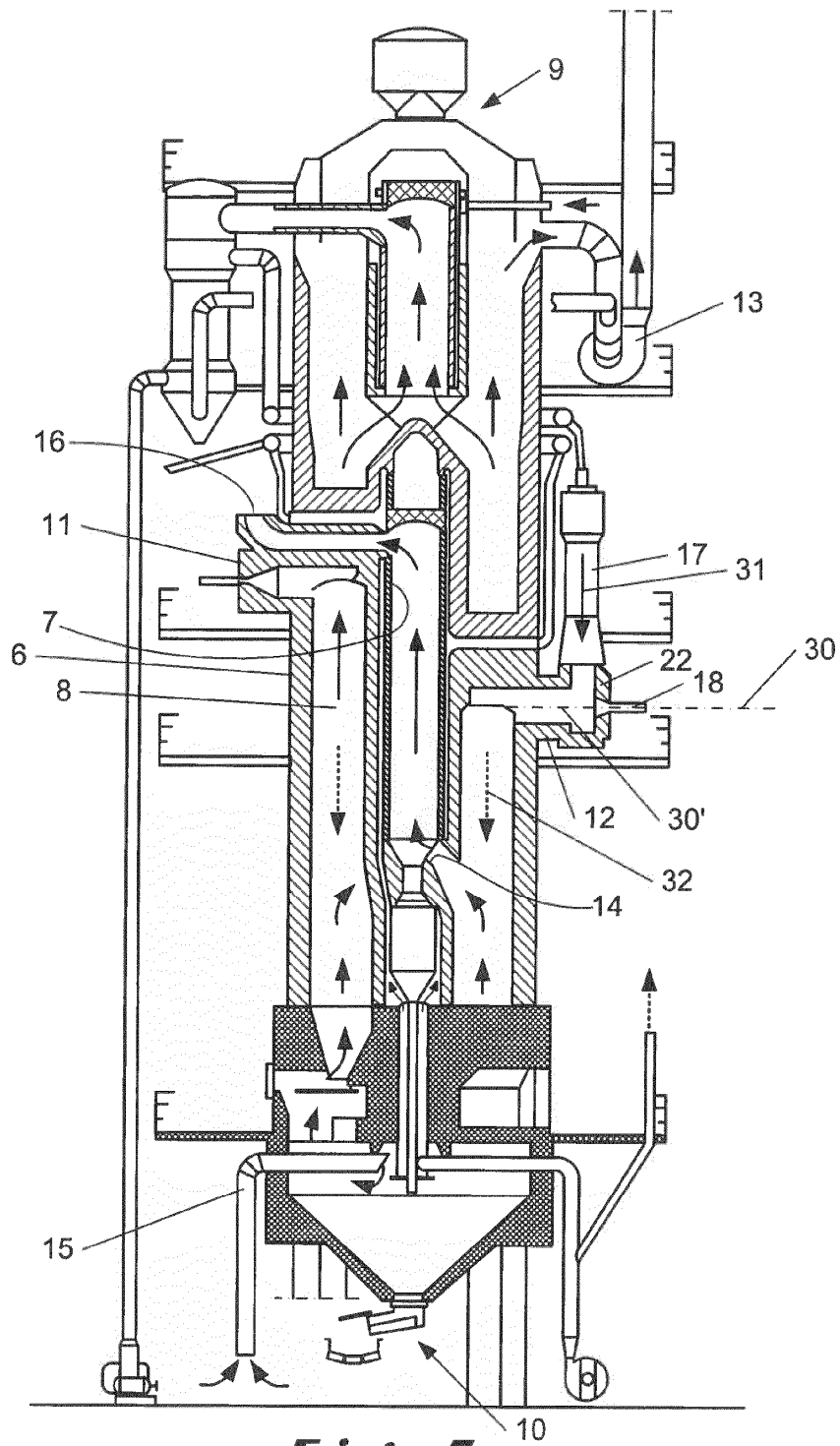
**Fig. 4a**



**Fig. 4b**



**Fig. 4c**



**Fig. 5**