

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 890**

51 Int. Cl.:

F23C 99/00 (2006.01)

F23C 10/24 (2006.01)

F23C 10/00 (2006.01)

F23C 10/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.08.2012 PCT/FR2012/000336**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.03.2013 WO13041779**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.08.2012 E 12758535 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2018 EP 2758711**

54 Título: **Procedimiento de combustión en bucle químico con eliminación de las cenizas y polvo de relleno en la zona de reducción, e instalación que utiliza tal procedimiento**

30 Prioridad:

20.09.2011 FR 1102848

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

29.04.2019

73 Titular/es:

**IFP ENERGIES NOUVELLES (50.0%)
1 & 4 avenue de Bois-Préau
92500 Rueil-Malmaison, FR y
TOTAL RAFFINAGE CHIMIE (50.0%)**

72 Inventor/es:

**GAUTHIER, THIERRY;
HOTEIT, ALI;
GUILLOU, FLORENT y
RIFFLART, SÉBASTIEN**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 710 890 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 en bucle químico con eliminación de las cenizas y polvo de relleno en la zona de reducción, e instalación que utiliza tal procedimiento

5 Campo de la invención

El campo de la invención es el de la combustión en bucle químico de oxidorreducción de cargas hidrocarbonadas sólidas, para producir energía, gas de síntesis y/o hidrógeno.

10 Más particularmente, la invención se refiere a la eliminación de las cenizas producidas en el reactor de reducción de la instalación de combustión en bucle químico.

15 Terminología

Procedimiento de "Chemical Looping Combustión" o CLC: a continuación en el texto, se entiende por procedimiento CLC (Chemical Looping Combustion) un procedimiento de oxidorreducción en bucle sobre masa activa. Conviene señalar que, de manera general, los términos oxidación y reducción se utilizan en relación con el estado respectivamente oxidado o reducido de la masa activa. En una instalación de combustión en bucle químico, la zona de oxidación es aquella en la que la masa oxido-reductora se oxida y la zona de reducción es aquella en la que se reduce la masa oxido-reductora.

20 Desvolatilización:

25 Durante un tratamiento térmico, los compuestos orgánicos pierden materias volátiles, en primer lugar el agua y el dióxido de carbono, hidrocarburos líquidos y después gaseosos, luego óxido de carbono y finalmente hidrógeno. Estos procesos se denominan desvolatilización. La temperatura de desvolatilización y la amplitud del fenómeno dependen del compuesto orgánico de partida. Así, para carbonos de rango creciente, la desvolatilización se produce a temperatura cada vez más elevada.

30 Lecho fluidizado:

A continuación en la descripción:

35 - por lecho fluidizado denso, se entiende un lecho fluidizado en el que la fracción de gas ε_g es inferior a 0,9, preferentemente inferior a 0,8.

- por lecho fluidizado diluido, se entiende un lecho fluidizado en el que la fracción volúmica de las partículas de óxidos metálicos es inferior al 10% en volumen.

40 Técnica anterior

Problemática de las cenizas

45 Para efectuar la combustión en bucle químico, se utilizan unos materiales transportadores de oxígeno, tales como los óxidos metálicos que ceden su oxígeno en una zona de reducción (denominada "reactor fuel") en las condiciones de realización apropiadas. Una vez reducido, el material se transporta después hacia una zona de oxidación (denominada "reactor aire") en la que se reoxida al contacto de un gas oxidante (tal como, por ejemplo, el aire o el vapor de agua).

50 Más generalmente, un procedimiento de combustión en bucle químico comprende una o varias zonas de reacción en las que se efectúa la combustión de un combustible (por ejemplo una carga hidrocarbonada) por puesta en contacto con un sólido transportador de oxígeno que se reoxida después en al menos una zona de oxidación por puesta en contacto con aire o vapor de agua antes de reenviarse hacia la o las zonas de combustión (o de reducción). Las zonas de reacción que permiten la utilización de reacciones de combustión en bucle químico están generalmente constituidas de lechos fluidizados o de lechos transportados.

La combustión en bucle químico (CLC) de las cargas hidrocarbonadas sólidas es un procedimiento que permite, especialmente, la producción de energía (vapor, electricidad, etc.) por recuperación del calor liberado por las reacciones de combustión, produciendo al mismo tiempo humos ricos en CO₂. Por lo tanto, es posible considerar la captación de CO₂ después de la condensación de los humos y compresión de los humos. Es también posible considerar la producción de gas de síntesis, incluso de hidrógeno, controlando la combustión y utilizando las purificaciones requeridas aguas abajo del procedimiento de combustión.

65 En los mecanismos de reacción asociados a la combustión en bucle químico en la zona de reducción, se establece que el combustible sólido pasa por una fase de gasificación, favorecida por la presencia de vapor de agua o de

dióxido de carbono y la temperatura, y después que el gas producido por la etapa de gasificación se oxida al contacto con el material transportador de oxígeno. Si el combustible sólido contiene materias volátiles, entonces estas se desvolatilizan al menos parcialmente al contacto con el material transportador de oxígeno caliente y después se oxidan por este. Es también posible, en el caso en el que el material transportador de oxígeno libere naturalmente el oxígeno en función de las condiciones de realización, tener una oxidación directa del combustible sólido por el oxígeno gaseoso liberado por el material en el reactor fuel.

La combustión en bucle químico de las cargas sólidas necesita unas condiciones de realización estrictas y restrictivas para poder realizar las reacciones de combustión. A fin de favorecer la gasificación del combustible, es necesario situarse a temperaturas elevadas, generalmente comprendidas entre 800 y 1100°C, preferiblemente comprendida entre 850 y 1000°C. El tiempo requerido para efectuar la gasificación disminuye en función de la temperatura y está generalmente comprendido entre 30 segundos y 30 minutos. En consecuencia, puede ser ventajoso efectuar una gasificación parcial, separar de los efluentes el residuo combustible no gasificado y reciclarlo. Así, es posible alcanzar unos porcentajes de conversión (por gasificación) por paso comprendidos entre el 50 y el 80% en un intervalo de temperaturas comprendidas entre 850°C y 1000°C con unos tiempos de reacción comprendidos entre 1 minuto y 10 minutos, típicamente comprendido entre 3 y 5 minutos. Aumentando la presión parcial en gas oxidante (H₂O, CO₂), es posible reducir los tiempos de gasificación.

Otra dificultad asociada a la realización de la combustión en bucle químico de las cargas sólidas se refiere a la formación de cenizas. En efecto, los combustibles sólidos tienen unos contenidos en materias minerales no despreciables y una vez efectuada la combustión del carbono y del hidrógeno, se forman unos residuos sólidos denominados cenizas. La tabla 1 reúne los análisis de dos carbonos A y B a título de ejemplo. Se constata que el contenido de cenizas de los carbonos varía según el origen de la carga sólida, pero que este contenido es no despreciable. Representa típicamente del 5 al 20% de la masa de carbono seco. Algunos combustibles sólidos tal como el "pet coke" contienen contenidos en cenizas mucho más reducidos. Existen también unos combustibles sólidos más cargados de cenizas.

Estas cenizas están esencialmente constituidas de óxido de silicio y de aluminio, pero contienen también otros componentes, como se ilustra a título de ejemplo en la tabla 1.

Tabla 1: Análisis de diferentes carbonos

		-	Carbón A	Carbón B
Análisis carbón seco	Cenizas	% en peso	10,3	14,8
	Materias volátiles	% en peso	37,6	24
	Azufre	% en peso	0,5	0,57
	Calor específico	Kcal/kg	6710	6630
Último Análisis	C	% en peso	71,1	73,46
	H	% en peso	4,77	3,87
	N	% en peso	1,41	1,65
	S	% en peso	0,5	0,57
	Ash	% en peso	10,3	14,76
	O (por diferencia)	% en peso	11,92	5,69
Composición de las cenizas	SiO ₂	% en peso	67	49,84
	Al ₂ O ₃	% en peso	19,2	40,78
	Fe ₂ O ₃	% en peso	5,2	2,9
	CaO	% en peso	2	1,08
	MgO	% en peso	1,2	0,26
	TiO ₂	% en peso	0,9	1,96
	K ₂ O	% en peso	1,7	0,64
	Na ₂ O	% en peso	1,7	0,06
	SO ₃	% en peso	0,9	0,52
	P ₂ O ₅	% en peso	0,2	J,05

Las cenizas que resultan de la combustión del carbón están constituidas de finas partículas residuales. Su temperatura de fusión varía en función de su composición y está generalmente comprendida entre 1000 y 1500°C. Sin embargo, a temperaturas inferiores, por ejemplo entre 800 y 1000°C, es posible observar un fenómeno de aglomeración de las partículas de cenizas que se vuelven pegajosas. Pueden, por lo tanto, o bien aglomerarse entre sí, o bien aglomerarse con las partículas de material transportador de oxígeno. Teniendo en cuenta las condiciones de realización en la combustión en bucle químico, se distinguen entonces dos tipos de cenizas:

* las cenizas volantes: que corresponden a las cenizas que son transportadas en el Reactor fuel por los gases de combustión;

* las cenizas aglomeradas: que corresponden a las cenizas que se aglomeran entre sí o con el material transportador de oxígeno y que son demasiado pesadas para transportarse en el Reactor Fuel por los gases de combustión.

Las cenizas volantes representan en general del 50 al 99% de las cenizas formadas, típicamente del 70 al 90%. Su granulometría es relativamente fina con, en general, al menos un 25% de polvo de relleno de tamaño inferior a 10 micrones y un 90% de polvo de relleno de tamaño inferior a 100 micrones, como se ilustra en la figura 3 en la que la distribución granulométrica típica de cenizas volantes se da a título de ejemplo. El diámetro de Sauter medio representativo de la granulometría de las cenizas volantes está generalmente comprendido entre 5 y 30 micrones, típicamente próximo a 10 micrones. La masa volúmica de grano de estas cenizas está generalmente comprendida entre 2000 y 3000 kg/m³, generalmente próxima a 2500 kg/m³.

La granulometría de las cenizas aglomeradas es más difícil de estimar y depende de las condiciones de realización del procedimiento. De manera general, se estima que estas cenizas tienen una granulometría superior a 100 micrones y su tamaño puede ir hasta varios milímetros.

La solicitud de patente FR 2 850 156 describe un procedimiento de combustión en bucle químico para el cual el combustible se tritura antes de la entrada en el reactor de reducción que funciona en lecho fluidizado circulante. El tamaño reducido de las partículas de combustible sólido permite una combustión más completa y más rápida y permite producir casi el 100% de las cenizas volantes que se separan de los óxidos en circulación. La separación aguas abajo del lecho circulante está asegurada en primer lugar por un ciclón y después por un dispositivo que permite separar las partículas sin quemar de las partículas de óxido metálico. Se evita así el arrastre de los componentes no quemados en la zona de oxidación y por lo tanto las emisiones de CO₂ en los efluentes del reactor de oxidación.

El dispositivo de separación comprende un lecho fluidizado por vapor de agua, que permite separar las partículas finas y ligeras tales como el residuo carbonado y reintroducir este último en el reactor, mientras que las partículas más densas y más gruesas de óxidos se transfieren hacia el reactor de oxidación. Este dispositivo contiene dos compartimientos internos.

Además, según el documento FR 2 850 156, las cenizas volantes se separan de las partículas de óxidos en un segundo circuito en el que un separador que funciona en lecho fluidizado trabaja la separación, enviándose las cenizas volantes fluidizadas hacia un silo mediante un transporte neumático y extrayéndose los óxidos metálicos de la base del reactor de lecho fluidizado después de la elutriación.

Además, las velocidades de gases importantes utilizadas en el reactor de reducción que trabaja en lecho fluidizado circulante no permite obtener unos tiempos de estancia de las partículas suficientes para gasificar la totalidad del combustible sólido y después para realizar la combustión de los productos de gasificación. Por lo tanto, es necesario un reciclado importante de las partículas de componentes no quemados mediante su paso por el separador. Ahora bien, la separación de los componentes no quemados de las partículas de óxidos es delicada ya que necesita la aportación de gas adicional en gran cantidad, lo que es costoso en energía.

Además, debido al tiempo de estancia demasiado corto, es difícil realizar una combustión total y los humos contienen unas cantidades importantes de CO y de H₂, lo que implica la presencia de una zona de postcombustión aguas abajo del procedimiento.

El documento EP2273192A describe un procedimiento y un dispositivo de combustión en bucle químico que comprende una separación de las partículas de transportador de oxígeno.

En la tesis de N. Berguerand "Design and Operation of a 10 kWth Chemical-Looping Combustor for Solid Fuels", ISBN 978-91-7385-329-3, se describe un dispositivo que permite efectuar la combustión de carbón utilizando un bucle químico.

Este dispositivo está compuesto de un reactor de oxidación que utiliza partículas metálicas, de un ciclón que permite la separación de las partículas y del aire empobrecido después de la oxidación, de un lecho fluidizado alimentado de

5 óxidos metálicos oxidados por el tramo de retorno situada debajo del ciclón, en el que se efectúa la reducción del óxido metálico por combustión del carbón. El carbón se alimenta en la parte superior del lecho fluidizado, en la fase diluida. En el reactor de reducción, la combustión del carbón se efectúa progresivamente: las partículas de carbón empiezan por descender y se desvolatilizan en la fase diluida, a contracorriente de los gases de fluidización, y en la que los óxidos metálicos están presentes sólo en cantidad reducida; después entran en contacto con los óxidos metálicos fluidizados en fase densa. El tiempo de estancia importante permite gasificar el carbón y producir unos gases de combustión que contienen unas cantidades importantes de monóxido de carbono y de hidrógeno que pasan en la fase diluida.

10 En la fase densa del reactor, las velocidades de fluidización son bajas – generalmente comprendidas entre 5 y 30 cm – lo que no permite el arrastre de cantidades significativas de óxidos metálicos en la fase diluida que podrían favorecer la combustión de gases tales como CO, H₂ o los hidrocarburos volatilizables que se evacúan de la zona diluida. En consecuencia, las cantidades de CO y de hidrocarburos (HC) en los efluentes del reactor de reducción son importantes y superiores a varios porcentajes en volumen. El rendimiento de combustión no es por lo tanto muy
15 bueno y una zona de postcombustión es también necesaria para terminar la combustión.

Además, según este documento, el reactor de reducción está equipado de un separador de partículas integrado en la fase densa, lo que necesita la adición de gas adicional para realizar la separación.

20 En este sistema, no se prevé dispositivo específico que permita la separación y la evacuación de las cenizas formadas durante la combustión de las cargas sólidas.

Para paliar los inconvenientes de los dos sistemas descritos anteriormente, los solicitantes han desarrollado un procedimiento de combustión en bucle químico mejorado que permite, incluso a partir de partículas de combustible en estado sin elaborar, obtener una combustión total de la carga sólida minimizando la cantidad de carga sólida a reciclar, lo que permite maximizar el rendimiento energético del procedimiento. Este procedimiento de combustión según la invención permite captar al menos el 90% del CO₂ emitido por la combustión en los humos directamente a la salida del reactor de combustión, definiéndose el porcentaje de captación por la relación entre la cantidad de CO₂ emitido en los humos procedentes del reactor de combustión sobre la cantidad de CO₂ emitida en el procedimiento de combustión en bucle químico.
25
30

En la salida del procedimiento de combustión, la relación molar CO/CO₂ de los humos aguas abajo de los ciclones es inferior a 0,05 y la relación H₂/H₂O es inferior a 0,05. Esto se realiza por una parte gracias a la optimización del contacto inicial entre las partículas que transportan el oxígeno y el combustible sólido para favorecer las reacciones de gasificación del carbón, y por otro lado, por la optimización del contacto entre los productos de gasificación y los óxidos metálicos a fin de producir unos efluentes que han sufrido una combustión total (H₂, CO y HC < 1% vol. En los humos).
35

Por otro lado, la separación de las partículas de combustible no quemadas de las partículas de óxidos metálicos se efectúa aguas arriba de la etapa de desempolvado de los humos del reactor de reducción para utilizar lo mejor posible la energía cinética máxima de los humos para la separación de los dos tipos de partículas.
40

El procedimiento en bucle químico comprende:

- 45 - una puesta en contacto de las partículas de carga sólida en presencia de partículas de óxidos metálicos en una primera zona de reacción (R1) que trabaja en lecho fluidizado denso,
- una combustión de los efluentes gaseosos procedentes de la primera zona de reacción en presencia de partículas de óxidos metálicos en una segunda zona de reacción R2,
50
- una separación dentro de una mezcla procedente de la zona del gas, de las partículas sin quemar, y de las partículas de óxidos metálicos en una zona de separación S3,
- una reoxidación de las partículas de óxidos metálicos en una zona de oxidación antes de reenviarlas hacia la zona de puesta en contacto (R1).
55

Aguas abajo de la zona de separación de las partículas de componentes no quemados y de las partículas de óxidos metálicos, un sistema de desempolvado que comprende, por ejemplo, pueden preverse uno o varios niveles de ciclones para separar las partículas arrastradas en los humos de la zona de combustión del reactor fuel. Las cenizas volantes se arrastran en los humos hacia este sistema de desempolvado con las partículas de combustible sólido sin quemar. A fin de maximizar el rendimiento energético de la instalación, es necesario recuperar lo esencial de las partículas sin quemar de combustible y por lo tanto efectuar un desempolvado completo. Este desempolvado permitirá entonces recuperar las partículas no quemadas pero también una parte importante de las cenizas volantes que estarán por lo tanto recicladas hacia el reactor fuel.
60
65

Es posible posicionar un recinto que comprende un lecho fluidizado sobre el conducto que canaliza las partículas separadas durante la etapa de desempolvado para eliminar por elutriación las cenizas volantes. Este medio no permite no obstante controlar separadamente la elutriación de las cenizas y la elutriación de las partículas sin quemar. En efecto, en este caso, una buena eliminación de las cenizas producidas se traduce consecutivamente por una eliminación importante de partículas sin quemar y por lo tanto una bajada del rendimiento energético o una bajada del porcentaje de captación de CO₂.

Además, en el caso en el que unas partículas del material transportador de oxígeno se arrastran hacia la zona de desempolvado, es necesario dimensionar un lecho fluidizado de grandes dimensiones a fin de dejar un tiempo suficiente a la separación por elutriación en el lecho fluidizado.

Para paliar además los inconvenientes relacionados con la eliminación simultánea de las partículas sin quemar y de las cenizas, se propone una nueva configuración de la zona de combustión (zona de reducción o "reactor fuel") que permite realizar:

- una puesta en contacto de las partículas de carga sólida en presencia de partículas de óxidos metálicos en una primera zona de reacción (R1) que trabaja en lecho fluidizado denso,

- una combustión en fase diluida de los efluentes gaseosos procedentes de la primera zona de reacción en presencia de partículas de óxidos metálicos en una segunda zona de reacción R2, que trabaja preferentemente en lecho fluidizado diluido,

- una separación de las partículas dentro de una mezcla procedente de la zona de combustión en fase diluida R2, que permite recuperar con los humos la mayoría de las partículas no quemadas, en una zona de separación S3,

- un desempolvado de los humos procedentes de la zona de separación S3 en una zona de desempolvado de los humos S4,

- una división del flujo de partículas separadas en la etapa de desempolvado en dos flujos, uno reciclado hacia la zona de puesta en contacto del reactor de reducción que trabaja en fase densa, el otro enviado hacia una zona de separación por elutriación S5 que permite la recuperación de las cenizas, en una zona de división del flujo D7.

Descripción de la invención

Objetos de la invención

La invención se refiere a un procedimiento mejorado de combustión de una carga hidrocarbonada sólida en bucle químico que utiliza una configuración particular de la zona de reducción con: una primera zona de reacción (R1) que trabaja en lecho fluidizado denso; una segunda zona de reacción R2; una zona de separación rápida S3 para la separación de las partículas de carga sólida sin quemar, de cenizas volantes y de partículas de material transportador de oxígeno dentro de una mezcla procedente de la zona R2; un desempolvado de los humos S4; una zona de división del flujo D7 de partículas, estando una parte de las partículas directamente reciclada hacia la primera zona de reacción (R1), la otra enviada hacia una zona de separación por elutriación S5 para recuperar las cenizas por un conducto (18) y reciclar las partículas densas por un conducto (20) hacia la primera zona de reacción (R1).

La invención se refiere también a una instalación de combustión en bucle químico que permite realizar dicho procedimiento.

Resumen de la invención

La invención se refiere a un procedimiento de combustión de una carga hidrocarbonada de partículas sólidas en bucle químico en la que circula un material transportador de oxígeno en forma de partículas, comprendiendo dicho procedimiento al menos:

- una puesta en contacto de las partículas de carga sólida con las partículas de material transportador de oxígeno en una primera zona de reacción R1 que trabaja en lecho fluidizado denso;

- una combustión de los efluentes gaseosos procedentes de la primera zona de reacción R1 en presencia de partículas de material transportador de oxígeno en una segunda zona de reacción R2;

- una separación de las partículas de carga sólida no quemadas, de cenizas volantes y de partículas de material transportador de oxígeno dentro de una mezcla procedente de la zona R2 en una zona de separación rápida S3 para transportar, con los humos de combustión (13), la mayor parte de las partículas de carga sólida sin quemar y las cenizas volantes y enviar la mayor parte de las partículas de material transportador de oxígeno hacia una zona de oxidación R0;

- 5 - un desempolvado de los humos (13) procedentes de la zona de separación rápida S3 en una zona de desempolvado de los humos S4 para evacuar un flujo de gases desempolvados (14) y un flujo de partículas (15) que comprende cenizas y partículas densas formadas mayoritariamente de partículas de transportador de oxígeno y de partículas de carga sólida sin quemar;
- 10 - una división del flujo de partículas (15) separadas en la etapa de desempolvado S4 en dos flujos en una zona de división del flujo D7, reciclándose uno hacia la primera zona de reacción R1 que trabaja en lecho fluidizado denso, el otro enviado hacia una zona de separación por elutriación S5;
- 15 - una separación por elutriación en dicha zona S5 para recuperar las cenizas y reciclar las partículas densas hacia la primera zona de reacción R1.
- En un modo de realización, el procedimiento comprende también:
- 20 - una sedimentación de las cenizas de núcleo aglomeradas en la parte baja de la primera zona de reacción R1, en una zona de fluidización S6 situada debajo de la primera zona de reacción R1,
- una extracción de un flujo de partículas (24) que comprende al menos un 10% en masa de cenizas de chimenea aglomeradas.
- 25 Preferentemente, se fluidiza la zona S6 por un gas con una velocidad del gas de fluidización en la sección de paso más grande de la zona S6 que no excede 3 veces la velocidad mínima de fluidización del material transportador de oxígeno.
- 30 La extracción de las cenizas aglomeradas de la zona de fluidización S6 se efectúa ventajosamente mediante un tornillo enfriado.
- La carga sólida se puede seleccionar entre el carbón, el coke, el pet-coke, la biomasa, las arenas bituminosas y los desechos domésticos.
- 35 Preferentemente, el material portador de oxígeno es un sólido pulverulento con un tamaño de partículas tal que la distribución granulométrica es del 90% comprendida entre 150 y 300 micrones.
- De manera preferida, el gas de fluidización introducido en la zona de separación por elutriación S5 está compuesto al menos en parte de los humos producidos por la combustión de la carga sólida.
- 40 De manera muy preferida, el gas de fluidización introducido en la zona de separación por elutriación S5 está compuesto totalmente por los humos producidos por la combustión de la carga sólida.
- 45 De manera ventajosa, el flujo directamente reciclado hacia la primera zona de reacción R1 que trabaja en lecho fluidizado representa al menos un 50% del flujo que llega en la zona de división del flujo D7. De manera muy ventajosa, el flujo directamente reciclado hacia la primera zona de reacción R1 que trabaja en lecho fluidizado denso representa al menos un 80% del flujo que llega en la zona de división del flujo D7.
- 50 La concentración en cenizas volantes en la mezcla de partículas que circula en la zona de combustión es, de manera preferida, inferior al 5% en peso, de manera muy preferida inferior al 1% en peso.
- La invención se refiere también a una instalación para realizar la combustión de una carga hidrocarbonada sólida en un bucle químico de oxidorreducción según el procedimiento descrito anteriormente, comprendiendo dicha instalación al menos:
- 55 - una zona de oxidación R0,
- una primera zona de reacción R1 que comprende una alimentación en carga sólida (10), una alimentación de gas de fluidización (11) y una alimentación en partículas de transportador de oxígeno (8) procedentes de la zona de oxidación R0,
- 60 - una segunda zona de reacción R2 que recibe un efluente gaseoso de combustión que contiene unas partículas que provienen de la primera zona de reacción R1,
- una zona de separación rápida S3 de las partículas sólidas, que recibe un efluente gaseoso de combustión de la segunda zona de reacción R2 que contiene cenizas, partículas de transportador de oxígeno y partículas de carga sólida sin quemar y que comprende un conducto de salida (9) para evacuar la parte más grande de las partículas de material portador de oxígeno hacia la zona de oxidación R0,
- 65

- una zona de desempolvado de los humos S4 que recibe, por su admisión (13) las partículas más ligeras arrastradas por los gases de combustión procedentes de la zona de separación rápida S3,

5 - una zona de división del flujo D7 que recibe, por su admisión (15) un flujo de partículas separadas de los humos en la zona de desempolvado de los humos S4, comprendiendo dicho flujo unas cenizas y unas partículas densas formadas principalmente de partículas de transportador de oxígeno y de partículas de carga sólida sin quemar,

10 - una zona de separación por elutriación S5 que recibe, por su admisión (17) una parte minoritaria del flujo de partículas dividido en la zona de división del flujo D7 y que comprende un conducto (19) que permite la introducción de un gas de fluidización y un conducto (18) de evacuación de las partículas ligeras que comprende esencialmente cenizas volantes y polvo de relleno de material portador de oxígeno,

15 - un conducto (16) procedente de la zona de división del flujo D7 para reciclar directamente una parte principal del flujo de partículas dividido en la zona de división del flujo D7 hacia la primera zona de reacción R1,

- un conducto (20) procedente de la zona de separación por elutriación S5 para reciclar las partículas densas separadas por elutriación hacia la primera zona de reacción R1.

20 Preferentemente, la sección de paso de la segunda zona de reacción R2 es inferior a la sección de paso de la primera zona de reacción R1.

En un modo de realización, la instalación comprende una zona de sedimentación de las cenizas aglomeradas de chimenea situada debajo de la primera zona de reacción R1 que comprende:

25 - un conducto de alimentación de cenizas aglomeradas (21),

- una zona de fluidización S6,

30 - uno o varios conductos (22) que permiten la introducción de un gas de fluidización,

- un conducto (23) de salida de las partículas de portador de oxígeno para reciclarlas hacia la primera zona de reacción R1,

35 - medios de extracción de un flujo de partículas (24) que comprende al menos un 10% en masa de cenizas de núcleo aglomeradas.

La zona de fluidización S6 es preferentemente una zona troncocónica de semi-ángulo con respecto a la vertical inferior o igual a 15°.

40 Descripción detallada de la invención

El procedimiento de combustión en bucle químico según la invención comprende una zona de reducción que permite:

45 - una puesta en contacto de las partículas de carga sólida en presencia de partículas de óxidos metálicos en una primera zona de reacción que trabaja en lecho fluidizado denso,

50 - una combustión en fase diluida de los efluentes gaseosos procedentes de la primera zona de reacción en presencia de partículas de transportador de oxígeno (por ejemplo de partículas de óxidos metálicos) en una segunda zona de reacción,

- una separación de las partículas dentro de una mezcla procedente de la zona de combustión en fase diluida, que permite recuperar, con los humos, la mayoría de las partículas de componentes no quemados,

55 - un desempolvado de los humos procedentes de la zona de separación,

- una división del flujo de partículas separadas en la etapa de desempolvado en dos flujos, uno reciclado hacia la zona de puesta en contacto del reactor fuel que trabaja en fase densa, el otro enviado hacia una zona de separación por elutriación que permite la recuperación de las cenizas.

60 El flujo directamente reciclado hacia la primera zona de reacción en lecho fluidizado denso, sin pasar por la etapa de separación, representa ventajosamente una parte principal del flujo recuperado durante la etapa de desempolvado, es decir al menos un 50%, preferiblemente al menos un 80%. En estas condiciones, una mayoría del carbón sin quemar se recicla en el reactor de reducción ("reactor fuel"). Una parte de las cenizas volantes se recicla también hacia el reactor de reducción, pero su concentración en el flujo de partículas que circulan sigue siendo limitada. Optimizando el funcionamiento de la zona de reducción, es posible obtener una concentración de cenizas volantes

inferior al 5% con respecto al caudal de material transportador de oxígeno que circula en la zona de reducción, y preferiblemente inferior al 1%.

5 El flujo enviado hacia la zona de separación por elutriación de las cenizas representa ventajosamente una parte minoritaria del flujo recuperado durante la etapa de desempolvado, es decir menos del 50%, preferiblemente menos del 20% del flujo que sale de la zona de reducción. La zona de separación de las cenizas está, por ejemplo, constituida de un lecho fluidizado cuya velocidad de fluidización se selecciona cuidadosamente para permitir selectivamente la eliminación de las finas partículas y particularmente las cenizas con los gases de fluidización. Inevitablemente, unas partículas de carbón sin quemar y las finas partículas de material transportador de oxígeno se arrastran con las cenizas de esta zona de separación. Las partículas más pesadas, es decir las grandes partículas de carbón sin quemar y lo esencial de las partículas de material transportador de oxígeno siguen en el lecho fluidizado y son después recicladas hacia el reactor fuel.

15 El funcionamiento de la instalación es óptimo cuando no hay acumulación de cenizas en el reactor fuel. En estas condiciones, el caudal de cenizas separadas y arrastradas con los gases de fluidización en la zona de separación por elutriación corresponde al caudal de cenizas volantes generado por la combustión del carbón en bucle químico en el reactor fuel disminuido del caudal de cenizas evacuado en los humos de combustión o en los efluentes del reactor aire. Aumentando la circulación de óxidos hacia el elutriador, se aumenta la cantidad de cenizas evacuadas mediante el elutriador y se limita la concentración en cenizas que circulan en el reactor fuel. En consecuencia, se limitan así los riesgos de aglomeración entre las cenizas y el óxido metálico durante la combustión.

20 Por otro lado, en el caso en el que las partículas transportadoras de oxígeno sufren una degradación mecánica (atrición) que conduce a la creación de polvos de relleno, es posible ajustar las condiciones de funcionamiento de la zona de separación para eliminar no sólo las cenizas volantes de combustión, sino también las finas partículas de material transportador de oxígeno que han sufrido una atrición. En estas nuevas condiciones, el funcionamiento de la instalación es óptimo cuando el caudal de partículas separadas y arrastradas con los gases de fluidización en la zona de separación corresponde al menos al caudal de cenizas volantes generado por la combustión del carbón en bucle químico en el reactor fuel y al caudal de partículas de óxidos metálicos que han sufrido la atrición, disminuido del caudal de partículas evacuadas en los humos de combustión o en los efluentes del reactor de aire. Esto permite entonces evitar la acumulación de cenizas y de finas partículas de material transportador de oxígeno en la instalación.

25 Otro objeto de la presente invención consiste en completar el dispositivo descrito anteriormente para disponer de un sistema de evacuación de las cenizas aglomeradas, integrando un sistema de sedimentación de las cenizas aglomeradas en la parte baja de la primera zona de reacción que trabaja en lecho fluidizado en fase densa. Este dispositivo permite así evacuar la totalidad de las cenizas aglomeradas que se forman en la zona de reducción (reactor fuel). En esta configuración, las cenizas aglomeradas se evacúan de la zona de reducción en un flujo concentrado, en el que la concentración másica en cenizas aglomeradas es de al menos un 10%, preferiblemente de al menos un 50%.

40 Descripción de las figuras

La invención se ilustra mediante las figuras 1, 2 y 3, que no presentan un carácter limitativo.

45 La figura 1 describe el principio general de la invención, que comprende una zona de reducción en su modo de realización preferido (con sedimentación de las cenizas aglomeradas).

La figura 2 describe una realización particular de las zonas de reacción R1, R2 y de la zona de separación S3.

50 La figura 3 muestra un ejemplo de distribución granulométrica representativa de las cenizas volantes, en el que se representa el porcentaje en peso acumulado en función del diámetro de las partículas (dp en micrones).

Figura 1:

55 La zona de reducción (reactor fuel) está constituida principalmente de 3 zonas:

- una primera zona R1 de puesta en contacto de las partículas de carga sólida en presencia de partículas de óxidos metálicos que trabaja en lecho fluidizado denso,

- 60 - una zona de combustión (o segunda zona de reacción) R2 de los efluentes gaseosos procedentes de la primera zona de reacción en presencia de las partículas de óxido metálico y de combustible sólido procedente de la zona R1, que trabaja preferentemente en lecho fluidizado diluido,

- 65 - una zona de separación rápida (S3) dentro de una mezcla procedente de la zona de combustión R2 que permite la separación del gas, de las partículas de combustible sólido sin quemar, y de las partículas de óxidos metálicos.

La instalación comprende además una zona de desempolvado de los humos S4, una zona de separación por elutriación S5, una zona de sedimentación de las cenizas aglomeradas S6 y una zona de división del flujo D7.

5 Como simplificación, la zona de oxidación del bucle químico se representa esquemáticamente por la zona en línea discontinua de puntos (R0) en la figura 1.

10 El material transportador de oxígeno que vuelve de la zona de oxidación R0 (no representada aquí) se introduce preferiblemente en la zona de puesta en contacto en lecho fluidizado denso R1 del reactor de reducción por un conducto (8). Las partículas más pesadas que salen de la zona de separación rápida (S3) por un conducto (9) alimentan la zona de oxidación (R0) (reactor aire). El combustible sólido se introduce en la zona de puesta en contacto R1 por uno o varios conductos de alimentación con combustible (10). La zona de puesta en contacto R1 se fluidiza mediante una alimentación de gas de fluidización (11), generalmente un gas oxidante tal como vapor de agua o CO₂, introducidos solos o en mezcla.

15 En esta primera zona fluidizada en fase densa R1, el combustible sólido expuesto a la temperatura en presencia de un gas oxidante sufre una desvolatilización de las materias volátiles y una gasificación parcial. La combustión en bucle químico de los gases formados empieza en esta zona. El tiempo de estancia de las partículas en esta primera zona está generalmente comprendido entre 0,25 y 20 minutos, preferentemente entre 2 y 10 minutos. La velocidad superficial del gas está generalmente comprendida entre 0,3 y 3 m/s en las condiciones de reacción en salida de la
20 primera zona de reacción R1.

En esta zona, la concentración de óxidos metálicos es al menos igual al 10% en volumen y la temperatura está generalmente comprendida entre 800 y 1000°C, preferentemente superior a 900°C.

25 Los gases de desvolatilización, de gasificación y de combustión transportan las partículas en la segunda zona de reacción R2, que trabaja preferiblemente en régimen fluidizado diluido de transporte, en la que se efectúa principalmente las reacciones de combustión de los gases de desvolatilización y de gasificación residuales. En esta zona, el tiempo de estancia medio de los gases está generalmente comprendido entre 1 y 20 segundos, el tiempo medio de estancia de los sólidos varía entre 2 segundos y 1 minuto. La velocidad del gas en esta zona varía preferiblemente entre 3 y 30 m/s, preferiblemente entre 5 y 15 m/s, y el flujo de sólidos transportadores de oxígeno varía entre 25 y 500 kg/s/m², y está preferiblemente comprendido entre 60 y 300 kg/s/m² para favorecer un buen
30 contacto entre los gases y las partículas de óxido metálico. En estas condiciones, se busca obtener una concentración en volumen en partículas inferior al 10%, preferiblemente inferior al 5%.

35 La mezcla gas partículas procedente de la segunda zona de reacción R2 se introduce después en la zona de separación (S3), en la que se realiza una separación rápida de las partículas más pesadas (esencialmente las partículas de material transportador de oxígeno) de las partículas más ligeras. Las partículas más pesadas salen de la zona de separación (S3) por el conducto de evacuación (9) y se evacúan hacia la zona de reacción de oxidación R0 (reactor aire). A fin de favorecer la separación de las partículas densas de las partículas ligeras en la zona de
40 separación S3, un conducto de alimentación de gas adicional externo (12) puede introducirse en el recinto S3 para fluidificar las partículas densas en la parte inferior del recinto alrededor del conducto de salida de la segunda zona de reacción R2.

45 Las partículas más ligeras, constituidas en lo esencial de las partículas de combustible no quemado, de las cenizas volantes y de las partículas más ligeras de material transportador de oxígeno se arrastran con los gases de combustión que contienen esencialmente CO₂ y vapor de agua y salen del reactor fuel por un conducto de evacuación (13). Preferentemente, la velocidad superficial del gas en la fase diluida de la zona S3, que resulta del flujo de los humos de combustión y de la adición eventual de un gas externo, corresponde a un valor comprendido entre el 30 y el 300% de la velocidad terminal de caída media de las partículas de portador de oxígeno,
50 preferentemente comprendido entre el 50 y el 150% de la velocidad terminal de caída media de las partículas de portador de oxígeno.

El conducto (9) permite evacuar las partículas más densas del medio, es decir la mayoría de las partículas de óxido metálico, reducidas después del contacto con el carbón en las zonas R1 y R2 hacia el reactor de oxidación (reactor
55 aire, esquemáticamente representado por la zona en línea discontinua de puntos (R0)) así como cantidades reducidas de cenizas volantes y el combustible sin quemar que no se habría separado en la zona S3.

Las partículas ligeras que salen con los gases de combustión de la zona de reducción por el conducto de evacuación (13) se dirigen después hacia una zona de desempolvado S4 constituida de uno o dos niveles de
60 separación. La separación se efectúa por ejemplo en ciclones, elementos tecnológicos bien conocidos por el experto en la materia. Este desempolvado permite recuperar al menos el 99% de las partículas arrastradas en los humos de combustión en la salida del reactor fuel, preferiblemente al menos el 99,5% de las partículas. Los gases desempolvados salen de la zona de desempolvado S4 por un conducto de evacuación (14) y son dirigidos hacia eventuales post-tratamientos aguas abajo de la zona de reacción, tales como: zonas de recuperación de calor que permiten disminuir la temperatura de los humos cerca de su punto de rocío produciendo al mismo tiempo vapor
65 mediante intercambio térmico, una zona de disminución de contaminantes (SO_x, NO_x, etc.), una zona de

desempolvado último que permite disminuir el contenido de partículas en los humos a una concentración suficiente para permitir la compresión del CO₂, una zona de condensación del vapor de agua, y una zona de compresión de los humos que contienen principalmente CO₂ después de la condensación del agua de combustión.

5 Las partículas de los humos se evacúan de la zona de combustión por un conducto de evacuación (15) y dirigidos – al menos para las partículas procedentes del primer nivel de separación en el caso en el que se utilizan varios niveles – hacia una zona de división de flujo D7, constituida por ejemplo de un lecho fluidizado provisto de un conducto de entrada de partículas (15) y de dos conductos de salida de partículas posicionadas preferiblemente en la fase densa del lecho fluidizado (16) y (17), o de cualquier otro medio conocido por el experto en la materia, tal como, por ejemplo, un doble sifón. Estos dos flujos (16) y (17) comprenden unas composiciones de partículas similares.

10 El flujo de partículas (16) constituye preferentemente una parte mayoritaria, a saber al menos un 50%, preferiblemente al menos un 80% del flujo de partículas transportado en el conducto (13), y se recicla directamente en la primera zona de reacción R1.

15 El flujo de partículas (17), que constituye preferentemente una parte minoritaria del flujo inicial, se dirige hacia una zona de separación por elutriación S5, constituida, por ejemplo, de un lecho fluidizado en el que las partículas salen por un conducto de evacuación (18), se arrastran con el gas de fluidización, que se introduce por un conducto de alimentación (19). Las partículas densas, es decir las grandes partículas de carbón sin quemar y lo esencial de las partículas de material transportador de oxígeno, sigue en la fase densa del lecho fluidizado y se reciclan después hacia la primera zona de reacción R1 por el conducto (20). En el lecho fluidizado que constituye la zona de separación por elutriación S5, la velocidad se ajusta para permitir la eliminación de un resto de cenizas volantes que corresponde al caudal de cenizas generadas por la combustión por arrastre. El diámetro del recinto S5 que permite eliminar las cenizas se ajusta en función de la cantidad de cenizas previstas. En efecto, el arrastre de las partículas a partir de un lecho fluidizado depende de la concentración en partículas arrastrables en el lecho fluidizado y de la sección en depósito vacío del elutriador. La velocidad del gas se ajusta también en función de los imperativos de separación. La velocidad del gas tiene también un papel sobre la cantidad de material arrastrable, pero afecta a las propiedades de los materiales arrastrados. Cuanto más importante sea la velocidad, más posible será arrastrar partículas más pesadas. De manera general, la velocidad del gas está comprendida entre 0,3 y 1,5 m/s, preferiblemente en el intervalo de 0,4 a 1 m/s para alcanzar unos flujos de partículas arrastradas que varían entre 0,01 y 5 kg/s/m², preferiblemente comprendidos entre 0,05 y 0,5 kg/s/m². Cuanto más importante sea la velocidad, más baja es la concentración de cenizas en el flujo residual (20) reciclado en el reactor fuel.

20 La zona de separación por elutriación S5 se fluidiza con un gas seleccionado con cuidado en función de las limitaciones del procedimiento. Es posible efectuar la elutriación con un gas vector compuesto de aire. En estas condiciones, el gas de fluidización reoxida al menos parcialmente las partículas del material transportador de oxígeno y las partículas de combustible sólido sin quemar. Es entonces posible disponer en estas condiciones de medios que permitan extraer calor en esta zona para enfriar el lecho fluidizado y/o sus efluentes gaseosos. En estas condiciones, los humos (18) que resultan de la zona de separación por elutriación no se mezclan con los humos del reactor de reducción procedentes del conducto de evacuación (14) pero pueden, por ejemplo, mezclarse con los efluentes gaseosos del reactor aire o tratados separadamente.

25 Es también posible utilizar un gas tal como el CO₂ para efectuar la separación por elutriación en el lecho fluidizado. En estas condiciones, los efluentes del elutriador que salen por el conducto (18) pueden mezclarse con los humos del reactor fuel que salen por el conducto de evacuación (14), después de un post-tratamiento que permite la elutriación de las partículas de carbón, tal como, por ejemplo, una zona de post-combustión de las partículas no quemadas de carbón.

30 Otros gases tales como el vapor de agua se pueden también considerar para efectuar la separación por elutriación.

35 De manera preferida, el flujo de partículas entre el divisor de flujo D7 y la primera zona de reacción R1, entre el divisor D7 y el separador elutriador S5, y entre el separador elutriador S5 y la zona R1 del reactor de reducción se controla por la utilización de válvulas no mecánicas tales como válvulas en L.

40 La zona de separación por elutriación S5 permite eliminar las finas partículas de cenizas. La separación por elutriación permite también eliminar las finas partículas de óxido metálico generadas por atrición en el procedimiento. La elección de una velocidad de elutriación importante permite así eliminar las partículas de óxido metálico que transportan el oxígeno deterioradas por la circulación de partículas entre el reactor aire (zona de oxidación) y el reactor fuel (zona de reducción).

45 En un modo de realización preferido, una zona fluidizada S6 que permite la sedimentación de las cenizas de chimenea, que tienen un tamaño muy importante con respecto a las partículas de material transportador de oxígeno y de combustible sólido, está dispuesta debajo de la zona de puesta en contacto R1, para permitir evacuar las cenizas de chimenea. Esta zona se alimenta por una mezcla de partículas que contienen esencialmente unas cenizas aglomeradas y óxido metálico, pero también bajas cantidades de cenizas volantes y de combustible por el

conducto (21). La zona de separación S6 se fluidiza a una velocidad de fluidización baja, que corresponde a 1 a 10 veces la velocidad mínima de fluidización de las partículas de material transportador de oxígeno por un gas, preferiblemente oxidante tal como H₂O o CO₂ solo o en mezcla, introducido por uno o varios conductos de alimentación (22). Las partículas aglomeradas más densas tenderán a sedimentar al fondo de la zona S6, mientras que las partículas más ligeras (transportador de oxígeno no aglomerado, cenizas volantes y carbón sin quemar son muy fluidizadas y pueden reciclarse en la zona R1 por medio del conducto (23).

En la base de la zona S6, unos medios de extracción tales como un tornillo sin fin enfriado permiten sustraer un flujo de partículas (24) que contienen en masa una concentración de al menos un 10% de cenizas de chimenea.

Figura 2:

La figura 2 describe una realización particular de la zona de reducción del procedimiento según la invención. A modo de simplificación, la zona de oxidación del bucle químico no se representa en la figura 2.

En la figura 2, la zona de reducción en tres zonas (R1, R2, S3) está constituida de un lecho fluidizado denso R1 coronado de un cono de aceleración que desemboca en un tubo de transporte R2 que permite un flujo en lecho fluidizado diluido, desembocando el tubo de transporte R2 en la zona de separación S3 constituida de un recinto de gran diámetro en el que la velocidad del gas se ajusta para permitir la separación de las partículas de transportador de oxígeno evacuadas principalmente en (9) de las partículas más ligeras (combustible sin quemar, cenizas volantes y polvos de relleno del material transportador de oxígeno, evacuadas en (13) en la línea de humos. Los medios de desempolvado en la línea de humos (13) están constituidos de dos niveles de ciclones en serie S4. Las partículas separadas por estos ciclones S4 se inyectan en un lecho fluidizado D7, que trabaja a una velocidad de fluidización próxima a la velocidad mínima de fluidización para evitar cualquier arrastre de partículas con el gas de fluidización, y que permite dividir en dos el flujo de las partículas separadas gracias a dos conductos (16) y (17) conectados a la fase densa del lecho fluidizado D7. El flujo (16) se recicla hacia el reactor de reducción y el flujo (17) se dirige hacia el lecho fluidizado S5. En el lecho fluidizado (5), la velocidad impuesta al gas de fluidización es importante y favorece el arrastre de las partículas ligeras (cenizas volantes y eventualmente combustible sin quemar y polvos de relleno de material transportador de oxígeno) que salen con el gas de fluidización en el conducto (18). El resto de las partículas se recicla en la primera zona de puesta en contacto del reactor de reducción R1.

En la prolongación hacia abajo de la zona R1 de combustión en fase densa, una sección troncocónica S6 permite la sedimentación de las cenizas aglomeradas que migrarán progresivamente hacia la parte baja de la sección troncocónica S6. La velocidad de fluidización impuesta a lo largo de la sección troncocónica S6 está preferiblemente comprendida entre 1 y 3 veces la velocidad mínima de fluidización de las partículas de material transportador de oxígeno para favorecer la sedimentación de las cenizas aglomeradas, que son mucho más gruesa que el material transportador de oxígeno. En estas condiciones, las partículas de óxidos no aglomeradas, las cenizas volantes y el combustible pueden ir y venir entre la zona S6 y la zona R1. El semi-ángulo de cono con la vertical está preferiblemente comprendido entre 5 y 30°, preferiblemente próximo a 15°. En la base del cono, un tornillo sin fin enfriado permite la evacuación de las cenizas aglomeradas en mezcla con una fracción de partículas de material transportador de oxígeno. Se dispone en la sección troncocónica aireaciones en niveles partiendo de la base del cono. En la base del cono, en el primer nivel, la aireación inyectada corresponde por ejemplo a un caudal que genera 1 a 3 veces la velocidad mínima de fluidización del material transportador de oxígeno al segundo nivel situado más arriba en el cono. En el segundo nivel, el caudal inyectado corresponde al complemento de aireación necesario que genera 1 a 3 veces la velocidad mínima de fluidización del material transportador de oxígeno al tercer nivel situado más arriba en el cono y así consecutivamente hasta alcanzar la base del reactor fuel. En función de la altura del cono, se ajusta el número de aireación a fin de disponer inyecciones cada metro aproximadamente. El gas de aireación inyectado es preferiblemente CO₂ o vapor de agua.

El funcionamiento del procedimiento descrito está favorecido por la utilización de material transportador de oxígeno que tiene una composición granulométrica y una masa volúmica de grano que favorece la separación con las partículas de cenizas volantes, de combustible sin quemar y de cenizas aglomeradas. Es así preferible tener una composición granulométrica del transportador de oxígeno tal que un 90% de las partículas en peso tienen una granulometría comprendida entre 100 y 500 micrones, preferiblemente un 90% entre 150 y 300 micrones, y de manera aún más preferida un 95% comprendida entre 150 y 300 micrones.

Por otra parte, la masa volúmica de grano de las partículas de transportador de oxígeno es preferiblemente superior a 2500 kg/m³, de manera preferida superior a 3400 kg/m³, de manera aún más preferida superior a 4000 kg/m³.

Figura 3: la figura 3 representa la distribución granulométrica de las cenizas volantes generadas por la combustión de carbón en bucle químico según el ejemplo siguiente.

Ejemplo

El ejemplo siguiente permite ilustrar la invención, apoyándose sobre la simulación del funcionamiento de una instalación de 3 MWth.

ES 2 710 890 T3

Esta instalación se alimenta por un caudal de carbón de 420 kg/h, caracterizado por un contenido en cenizas del 13,9% en peso y un contenido en materias volátiles del 29,9%.

- 5 El carbón se alimenta en el reactor fuel con una granulometría caracterizada por el hecho de que menos del 2% del carbón tiene un tamaño de partículas superior a 200 micrones.

10 La composición granulométrica del material transportador de oxígeno es tal que más del 90% de la granulometría está comprendida entre 150 y 300 micrones, y la masa volúmica del material transportador de oxígeno es próxima de 4000 kg/m³.

La distribución granulométrica de las cenizas volantes se da, a título de ejemplo, en la figura 3.

15 El reactor fuel está compuesto de 3 zonas:

- una primera zona de reacción R1 por puesta en contacto de las partículas de carga sólida en presencia de partículas de óxidos metálicos en lecho fluidizado denso,

20 - una zona de combustión en fase diluida (segunda zona de reacción R2) de los efluentes gaseosos procedentes de la primera zona de reacción en presencia de partículas de óxidos metálicos,

- una zona de separación de las partículas S3 dentro de una mezcla procedente de la zona de combustión en fase diluida, que permite recuperar, con los humos, la mayoría de las partículas de componentes no quemados.

25 La combustión se efectúa en el reactor fuel por contacto con un óxido metálico que transfiere un 1,9% en peso de oxígeno, con un caudal que proviene del reactor aire estimado a 35500 kg/h aproximadamente.

30 El flujo (13) arrastrado en la salida de la zona de separación rápida S3 está compuesto de fines partículas de óxido metálico, de cenizas volantes y de partículas de carbón sin quemar.

La composición de este flujo es la siguiente

óxido metálico: 6000 kg/h

35 cenizas: 340 kg/h

carbón sin quemar = 100,5 kg/h

40 Después del desempolvado, las partículas separadas que salen por el conducto (15) y arrastradas hacia el lecho fluidizado divisor D7 tienen la composición siguiente:

óxido metálico: 5990 kg/h

45 cenizas: 333 kg/h

carbón sin quemar = 100 kg/h

50 El lecho fluidizado D7 separa el flujo (15) en dos flujos (16) y (17) de composición idéntica que contiene respectivamente el 85% y el 15% del flujo (15). El lecho fluidizado D7 es un lecho fluidizado de 60 cm de diámetro que trabaja a la velocidad de fluidización de 8 cm/s. La composición del flujo (22) que alimenta el lecho fluidizado elutriador es la siguiente:

óxido metálico: 899 kg/h

55 cenizas: 50 kg/h

carbón sin quemar = 15 kg/h

60 La composición del flujo (16) reenviado al reactor fuel es la siguiente:

óxido metálico: 5091 kg/h

cenizas: 283 kg/h

65 carbón sin quemar = 85 kg/h

ES 2 710 890 T3

El elutriador permite eliminar aproximadamente el 80% de las cenizas del flujo (17). El elutriador es aquí un lecho fluidizado de 0,8 m de diámetro que trabaja a una velocidad de fluidización de 0,75 m/s.

5 El elutriador se fluidiza aquí por CO₂, por un conducto (19). La composición del flujo arrastrado al elutriador por el conducto (18) es la siguiente.

óxido metálico: 29 kg/h

10 cenizas: 40 kg/h

carbón sin quemar = 12 kg/h

15 La composición del flujo que sale por el conducto (20) y que permite el reciclaje de las partículas no arrastradas al elutriador hacia el reactor fuel es la siguiente:

óxido metálico: 870 kg/h

cenizas: 10 kg/h

20 carbón sin quemar = 3 kg/h

25 La parte de abajo de la zona de puesta en contacto R1 del fuel reactor, de 917 mm de diámetro se prolonga en su parte inferior (debajo) por un cono de semi-ángulo de 15° con la vertical de altura 1711 mm en el que se han dispuesto 2 niveles de aireación, uno a la base del cono que permite introducir 7 kg/h de vapor, el otro situado a media altura que permite introducir 20 kg/h de vapor. En estas condiciones, la velocidad media de fluidización del óxido metálico es cercana a 2 a 3 veces la velocidad mínima de fluidización de los óxidos metálicos y permite sustraer aproximadamente 9 kg/h de cenizas aglomeradas de diámetro medio comprendido entre 0,5 y 5 mm a la base del cono por unos medios de extracción (24) que comprenden un tornillo de extracción enfriado, en mezcla con 30 kg/h de óxido metálico.

30 El flujo (9) que evacúa las partículas no separadas en S3 hacia el reactor aire (R0) tiene la composición siguiente:

óxido metálico: 35441 kg/h

35 cenizas: 2 kg/h

carbón sin quemar = 8 kg/h

40 Las cenizas y el carbón evacuados hacia el reactor aire se eliminan durante la reoxidación del óxido metálico. El carbón se quema en el reactor aire al contacto del aire y las cenizas se eliminan mediante el paso en un ciclón. La cantidad exacta de óxido metálico destinado a compensar las pérdidas de óxido durante la elutriación se efectúa en el reactor aire por intermitencia.

45 El ejemplo anterior ilustra bien el funcionamiento de un procedimiento en bucle químico de combustión del carbón que permite una eliminación de las cenizas en continuo.

Así, la combustión del carbón genera un caudal de cenizas de 58 kg/h. Estas se eliminan del procedimiento en los flujos siguientes:

50 - cenizas volantes arrastradas hacia el reactor aire (zona de oxidación R0) por el flujo (9) después de la sedimentación en mezcla con el material transportador de oxígeno en la zona de separación rápida S3 = 2 kg/h

- cenizas aglomeradas del núcleo extraídas por el tornillo de extracción (24) = 9 kg/h

55 - cenizas volantes arrastradas aguas abajo de los ciclones S4 con los humos del reactor fuel en el flujo (14) = 7 kg/h

- cenizas volantes arrastradas en los efluentes gaseosos que salen por el conducto (18) del elutriador S5 = 40 kg/h

60 Gracias a esta eliminación en continuo, la acumulación de cenizas en la instalación sigue siendo limitada (circulación de cenizas en el reactor fuel de 350 kg/h con respecto a una circulación de óxido de 35500 kg/h, es decir una concentración de aproximadamente un 1%).

65 Además, el carbón se quema esencialmente en el reactor fuel al contacto del óxido metálico, lo que permite considerar unos porcentajes de captación superiores al 90%. En efecto, 420 kg/h de carbón se introducen en el reactor fuel.

ES 2 710 890 T3

El carbón sin quemar arrastrado hacia el reactor aire (R0) por el conducto (9) representa un caudal de 8 kg/h.

El carbón sin quemar arrastrado en el elutriador S5 por el conducto (18) representa un caudal de 12 kg/h.

- 5 El carbón sin quemar arrastrado en la salida de la zona de desempolvado de los humos S4 por el conducto (14) representa un caudal de 0,5 kg/h.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de combustión de una carga hidrocarbonada de partículas sólidas en bucle químico en la que circula un material transportador de oxígeno en forma de partículas, comprendiendo dicho procedimiento al menos:
- 5
- una puesta en contacto de las partículas de carga sólida con las partículas de material transportador de oxígeno en una primera zona de reacción R1 que trabaja en lecho fluidizado denso;
 - una combustión de los efluentes gaseosos procedentes de la primera zona de reacción R1 en presencia de
 - 10 partículas de material transportador de oxígeno en una segunda zona de reacción R2;
 - una separación de las partículas de carga sólida sin quemar, de cenizas volantes y de partículas de material transportador de oxígeno dentro de una mezcla procedente de la zona R2 en una zona de separación rápida S3 para transportar, con los humos de combustión (13), la mayor parte de las partículas de carga sólida sin quemar y
 - 15 las cenizas volantes y enviar la mayor parte de las partículas de material transportador de oxígeno hacia una zona de oxidación R0;
 - un desempolvado de los humos (13) procedentes de la zona de separación rápida S3 en una zona de desempolvado de los humos S4 para evacuar un flujo de gases desempolvados (14) y un flujo de partículas (15) que comprenden unas cenizas y unas partículas densas formadas mayoritariamente de partículas de transportador de oxígeno y de partículas de carga sólida sin quemar;
 - 20
 - una división del flujo de partículas (15) separadas en la etapa de desempolvado S4 en dos flujos en una zona de división del flujo D7, reciclándose uno hacia la primera zona de reacción R1 que trabaja en lecho fluidizado denso, y el otro enviado hacia una zona de separación por elutriación S5;
 - 25
 - una separación por elutriación en dicha zona S5 para recuperar las cenizas y reciclar las partículas densas hacia la primera zona de reacción R1.
 - 30
2. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende:
- una sedimentación de las cenizas de núcleo aglomeradas en la parte de abajo de la primera zona de reacción R1, en una zona de fluidización S6 situada debajo de la primera zona de reacción R1,
 - 35
 - una extracción de un flujo de partículas (24) que comprende al menos un 10% en masa de cenizas de núcleo aglomeradas.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que se fluidiza la zona S6 por un gas con una velocidad del gas de fluidización en la sección de paso más grande de la zona S6 que no excede 3 veces la velocidad mínima de fluidización del material transportador de oxígeno.
- 40
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la extracción de las cenizas aglomeradas de la zona de fluidización S6 se efectúa mediante un tornillo enfriado.
- 45
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, según el cual la carga sólida se selecciona entre el carbón, el coque, el pet-coke, la biomasa, las arenas bituminosas y los desechos domésticos.
- 50
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el material portador de oxígeno es un sólido pulverulento con un tamaño de partículas tal que la distribución granulométrica está al 90% comprendida entre 150 y 300 micrones.
- 55
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el gas de fluidización introducido en la zona de separación por elutriación S5 está compuesto al menos en parte de los humos producidos por la combustión de la carga sólida.
- 60
8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que el gas de fluidización introducido en la zona de separación por elutriación S5 está compuesto en totalidad por los humos producidos por la combustión de la carga sólida.
- 65
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el flujo directamente reciclado hacia la primera zona de reacción R1 que trabaja en lecho fluidizado denso representa al menos un 50% del flujo que llega en la zona de división del flujo D7.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que el flujo directamente reciclado hacia la primera zona de reacción R1 que trabaja en lecho fluidizado denso representa la menos el 80% del flujo que llega en la zona de división del flujo D7.

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la concentración en cenizas volantes en la mezcla de partículas que circula en la zona de combustión es inferior al 5% en peso.
- 5 12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que la concentración en cenizas volantes en la mezcla de partículas que circula en la zona de combustión es inferior al 1% en peso.
13. Instalación para realizar la combustión de una carga hidrocarbonada sólida en un bucle químico de oxidorreducción según el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, comprendiendo al menos dicha instalación:
- 10 - una zona de oxidación R0,
- una primera zona de reacción R1 que comprende una alimentación en carga sólida (10), una alimentación en gas de fluidización (11) y una alimentación en partículas de transportador de oxígeno (8) procedentes de la zona de oxidación R0,
- 15 - una segunda zona de reacción R2 que recibe un efluente gaseoso de combustión que contiene unas partículas que provienen de la primera zona de reacción R1,
- 20 - una zona de separación rápida S3 de las partículas sólidas, que recibe un efluente gaseoso de combustión de la segunda zona de reacción R2 que contiene unas cenizas, unas partículas de transportador de oxígeno y unas partículas de carga sólida sin quemar y que comprende un conducto de salida (9) para evacuar la parte más grande de las partículas de material portador de oxígeno hacia la zona de oxidación R0,
- 25 - una zona de desempolvado de los humos S4 que recibe por su admisión (13) las partículas más ligeras arrastradas por los gases de combustión procedentes de la zona de separación rápida S3,
- una zona de división del flujo D7 que recibe por su admisión (15) un flujo de partículas separadas de los humos en la zona de desempolvado de los humos S4, comprendiendo dicho flujo unas cenizas y unas partículas densas formadas mayoritariamente de partículas de transportador de oxígeno y de partículas de carga sólida sin quemar,
- 30 - una zona de separación por elutriación S5 que recibe por su admisión (17) una parte minoritaria del flujo de partículas dividido en la zona de división del flujo D7 y que comprende un conducto (19) que permite la introducción de un gas de fluidización y un conducto (18) de evacuación de las partículas ligeras que comprenden esencialmente unas cenizas volantes y unos polvos de relleno de material portador de oxígeno,
- 35 - un conducto (16) procedente de la zona de división del flujo D7 para reciclar directamente una parte mayoritaria del flujo de partículas dividido en la zona de división del flujo D7 hacia la primera zona de reacción R1,
- 40 - un conducto (20) procedente de la zona de separación por elutriación S5 para reciclar las partículas densas separadas por elutriación hacia la primera zona de reacción R1.
14. Instalación según la reivindicación 13, en la que la sección de paso de la segunda zona de reacción R2 es inferior a la sección de paso de la primera zona de reacción R1.
- 45 15. Instalación según una de las reivindicaciones 13 o 14, que comprende una zona de sedimentación de las cenizas aglomeradas de núcleo situada debajo de la primera zona de reacción R1 que comprende:
- 50 - un conducto de alimentación en cenizas aglomeradas (21),
- una zona de fluidización S6,
- uno o varios conductos (22) que permite la introducción de un gas de fluidización,
- 55 - un conducto (23) de salida de las partículas de portador de oxígeno para reciclarlas hacia la primera zona de reacción R1,
- medios de extracción de un flujo de partículas (24) que comprende la menos un 10% en masa de cenizas de núcleo aglomeradas.
- 60 16. Instalación según la reivindicación 15, en la que la zona de fluidización S6 es una zona troncocónica de semi-ángulo con respecto a la vertical inferior o igual a 15°.

FIG. 1

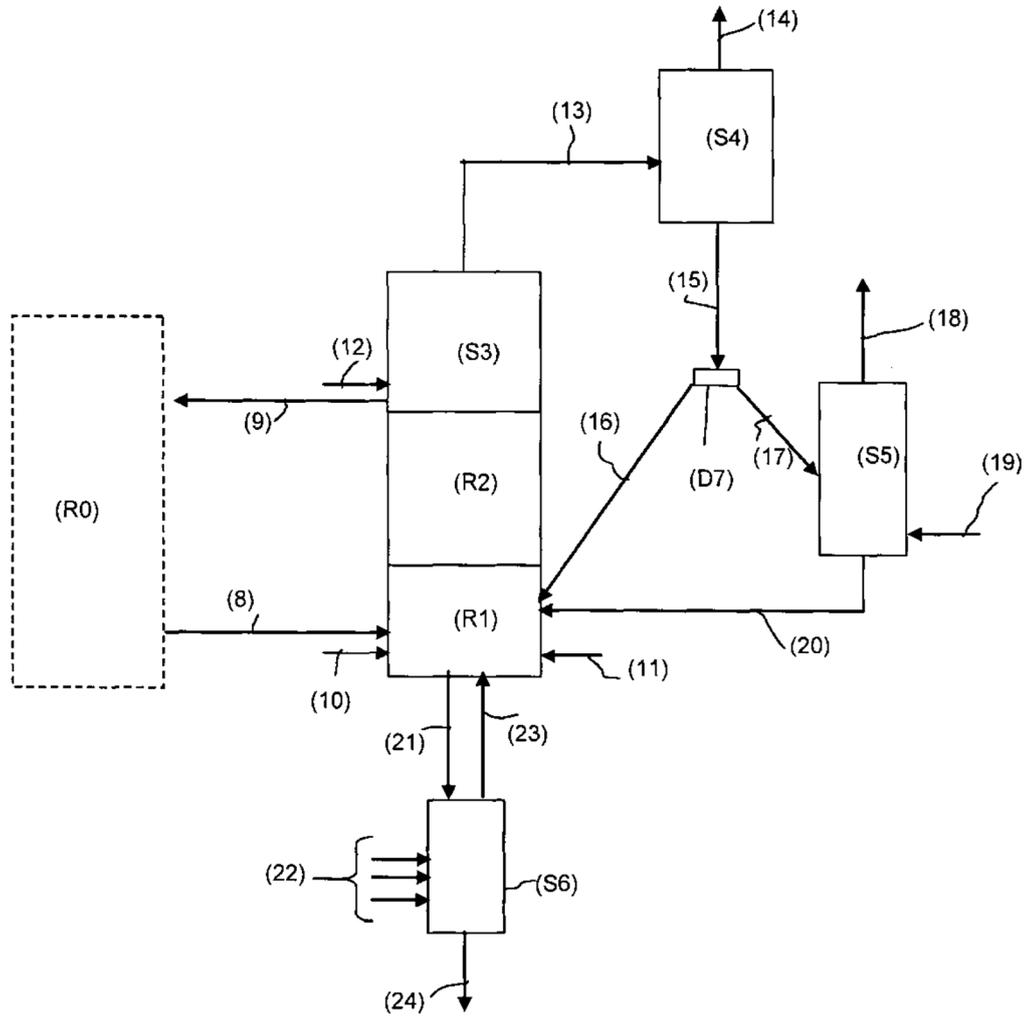


FIG. 2

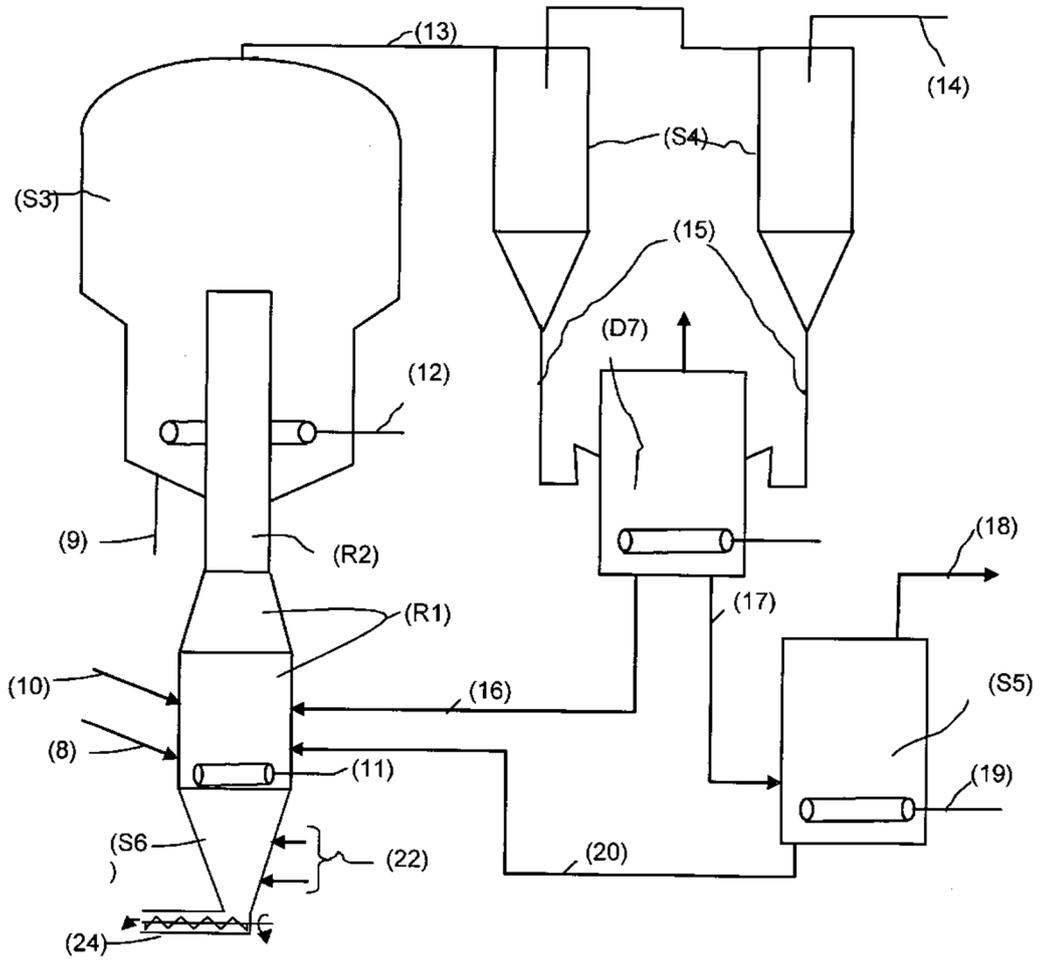


FIG. 3

