

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 660 316**

51 Int. Cl.:

F23C 10/00 (2006.01)

F23C 10/22 (2006.01)

F23C 10/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.06.2014 PCT/FR2014/051434**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.12.2014 WO14199091**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.06.2014 E 14734891 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2017 EP 3008384**

54 Título: **Procedimiento e instalación de combustión por oxidación-reducción en bucle químico de una carga hidrocarbonada sólida**

30 Prioridad:

13.06.2013 FR 1355481

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

21.03.2018

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:

**GUILLOU, FLORENT;
SOZINHO, TIAGO;
DREUX, HELOISE y
STANTON, HÉLÈNE**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 660 316 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 e instalación de combustión por oxidación-reducción en bucle químico de una carga hidrocarbonada sólida

5 Campo de la invención

10 La presente invención se refiere al campo de la combustión de cargas hidrocarbonadas por oxidación-reducción en bucle químico (CLC) que se lleva a cabo en un lecho fluidizado, y más particularmente la combustión en bucle químico que se lleva a cabo en un lecho fluidizado de cargas hidrocarbonadas sólidas.

Contexto general

15 A continuación, en el texto, se entiende por procedimiento CLC (*Chemical Looping Combustion*) un procedimiento de oxidación-reducción en bucle sobre masa activa. Cabe señalar que, en general, los términos oxidación y reducción se utilizan en relación con el estado oxidado o reducido, respectivamente, de la masa activa. El reactor de oxidación, también denominado reactor en aire, es aquel en el que se oxida la masa óxido-reductora y el reactor de reducción, también denominado reactor de combustión o reactor de fueloil, es el reactor en el que se reduce la masa óxido-reductora.

20 El procedimiento CLC permite producir energía a partir de combustibles hidrocarbonados al tiempo que facilita la captura de dióxido de carbono emitido durante la combustión.

25 El procedimiento CLC consiste en aplicar reacciones de oxidación-reducción de una masa activa, normalmente un óxido metálico, para descomponer la reacción de combustión en dos reacciones sucesivas. Una primera reacción de oxidación de la masa activa, con aire o un gas que desempeña el papel de comburente, permite oxidar la masa activa. Una segunda reacción de reducción de la masa activa oxidada de este modo por un gas reductor permite a continuación obtener una masa activa reutilizable así como una mezcla gaseosa que comprende esencialmente dióxido de carbono y agua, incluso gas de síntesis que contiene hidrógeno y monóxido de carbono. Por tanto, esta técnica permite aislar el dióxido de carbono o el gas de síntesis en una mezcla gaseosa que carece prácticamente de oxígeno y nitrógeno.

35 La combustión es generalmente exotérmica, es posible producir energía a partir de este procedimiento, por ejemplo en forma de vapor o electricidad, al disponer de superficies de intercambio en el circuito de circulación de la masa activa o en los efluentes gaseosos aguas abajo de las reacciones de combustión u oxidación.

También es posible considerar con dicho procedimiento CLC la producción de gas de síntesis, incluso hidrógeno, mediante el control de la combustión y la aplicación de purificaciones requeridas aguas abajo del procedimiento de combustión.

40 La patente US 5 447 024 describe por ejemplo un procedimiento de combustión en bucle químico que comprende un primer reactor de reducción de una masa activa por un gas reductor y un segundo reactor de oxidación que permite restaurar la masa activa en su estado oxidado por una reacción de oxidación con aire húmedo. La tecnología de lecho fluidizado circulante se utiliza para permitir el paso continuo de la masa activa de su estado oxidado a su estado reducido.

50 La masa activa, que pasa alternativamente de su forma oxidada a su forma reducida y viceversa, describe un ciclo de oxidación-reducción. Desempeña un papel de un transportador de oxígeno al ceder su oxígeno en una zona de reducción (reactor de reducción) en las condiciones operativas apropiadas, y al transportarse posteriormente a una zona de oxidación (reactor de oxidación) en la que se vuelve a oxidar al contacto con un gas oxidante (tal como por ejemplo aire o vapor de agua).

55 Así, en el reactor de reducción, la masa activa (M_xO_y) se reduce primero al estado $M_xO_{y-2n-m/2}$, por medio de un hidrocarburo C_nH_m que se oxida correlativamente a CO_2 y H_2O , según la reacción (1), u opcionalmente se mezcla con $CO + H_2$ según las proporciones utilizadas.



60 En el reactor de oxidación, la masa activa se restaura a su estado oxidado (M_xO_y) en contacto con el aire según la reacción (2), antes de regresar al primer reactor.



En las ecuaciones anteriores, M representa un metal.

Las zonas de reacción que permiten la aplicación de las reacciones de combustión en bucle químico se constituyen generalmente en lechos fluidizados o lechos fluidizados circulantes, también denominados lechos transportados.

La combustión de cargas hidrocarbonadas sólidas, tales como carbón, provoca problemas de suciedad de la instalación CLC.

Un problema importante que pudiera surgir durante la combustión de cargas hidrocarbonadas sólidas reside en el fenómeno de adherencia del combustible sólido inyectado en la instalación CLC, especialmente en el inyector que permite la introducción de la carga en el reactor de combustión. En el caso, por ejemplo, de una inyección por gravedad de carbón en un lecho fluidizado, el calor considerable desarrollado en el inyector, por conducción con el lecho a alta temperatura del reactor de combustión, puede conducir a la adherencia del carbón molido y causar la obstrucción del inyector. Una consecuencia directa de dicha obstrucción es una detención de la unidad CLC y la realización de una operación de mantenimiento. Este fenómeno de suciedad por adherencia de la carga es mucho más importante que la parte de materia volátil que es importante en la carga, como es por ejemplo el caso de la biomasa.

Otro problema está constituido por la formación de cenizas en la zona de reacción de combustión, y más particularmente la formación de cenizas de fondo aglomeradas cuya acumulación puede "obstruir" el reactor. Este fenómeno dificulta el funcionamiento correcto del procedimiento CLC y puede requerir la paralización completa de la instalación para mantenimiento. Las cenizas de fondo aglomeradas constituyen una especificidad de la combustión de cargas hidrocarbonadas sólidas, como carbón. De hecho, los combustibles sólidos tienen contenidos de materias minerales significativos y una vez la combustión de carbono y de hidrógeno se efectúa, se forman residuos sólidos denominados cenizas. La tabla 1 reúne el análisis de dos carbones A y B a modo de ejemplo. Se observa que el contenido de cenizas de carbón varía según el origen de la carga sólida, pero que este contenido no es significativo. Representa normalmente de 5 a 20 % de la masa de carbón seco. Algunos combustibles sólidos, tales como coque de petróleo contienen contenidos de cenizas mucho más bajos. También existen combustibles sólidos más cargados de cenizas.

Tabla 1: Análisis de diferentes carbones

		-	Carbón A	Carbón B
Análisis de 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	6.710	6.630
Análisis final	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
	Cenizas	% 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	1,05	

Las cenizas resultantes de la combustión del carbón están constituidas por finas partículas residuales. Su temperatura de fusión varía en función de su composición y está generalmente comprendida entre 1.000 y 1.500 °C. No obstante, a temperaturas inferiores, por ejemplo entre 800 y 1.000 °C, es posible observar un fenómeno de

aglomeración de partículas de cenizas que se vuelven pegajosas. Por tanto, pueden aglomerarse entre sí o bien aglomerarse con las partículas de material transportador de oxígeno. Teniendo en cuenta las condiciones de aplicación en la combustión en bucle químico, se distinguen dos tipos de cenizas:

- 5 ◦ las cenizas volantes: corresponden a las cenizas que se transportan en el reactor de fueloil por los gases de combustión. Las cenizas volantes representan generalmente 50 a 99 % de cenizas formadas (normalmente 70 a 90 %). Su granulometría es relativamente fina con generalmente al menos 25 % de finos de tamaño inferior a 10 micrones y 90 % de finos de tamaño inferior a 100 micrones. El diámetro de Sauter medio representativo de la granulometría de las cenizas volantes se comprende generalmente entre 5 y 30 micrones, normalmente alrededor de 10 micrones. La masa volumétrica de grano de estas cenizas se comprende generalmente entre 2.000 y 3.000 kg/m³, generalmente alrededor de 2.500 kg/m³.
- 10 ◦ las cenizas aglomeradas: corresponden a las cenizas que se aglomeran entre sí o con el material transportador de oxígeno y que son demasiado pesadas para ser transportadas al reactor de fueloil por los gases de combustión. Estas cenizas se denominan a veces ceniza de lecho o cenizas de fondo aglomeradas. En la presente descripción, este tipo de cenizas aglomeradas se indica por la expresión "cenizas de fondo aglomeradas". La granulometría de las cenizas aglomeradas es más difícil de estimar y depende de las condiciones de aplicación del procedimiento. En general, se estima que estas cenizas tienen una granulometría superior a 100 micrones y su tamaño puede ser de hasta varios milímetros.

20 Así, las cenizas de fondo aglomeradas forman objetos densos de mayor tamaño que las partículas del transportador de oxígeno, que presentan propiedades de fluidización que pueden evolucionar y ser diferentes de las del transportador de oxígeno. Estos objetos pueden entonces no ser fluidizados al mismo tiempo que el lecho transportado y se acumularán en la parte inferior del reactor de combustión.

25 Para las cenizas que permanecen fluidizables en las condiciones operativas, se han propuesto dispositivos específicos que permiten su eliminación, tales como los descritos en la patente francesa FR2850156, o las solicitudes de patente francesa FR2960940 y FR2960941. No obstante, estos dispositivos sólo funcionan para los finos producidos por desgaste del material transportador de oxígeno (por efecto de envejecimiento químico o mecánico), las partículas de combustible sólido no quemadas ("residuos de combustión") y las cenizas volantes.

30 Un dispositivo específico es necesario para evacuar los sólidos aglomerados. Generalmente se recurre a una válvula de fondo abierta sobre el lecho fluidizado y/o un tornillo sin fin suministrado directamente desde el lecho fluidizado para evacuar la parte inferior del lecho fluidizado que contiene las cenizas de fondo aglomeradas que se desean evacuar. Si bien estos medios simples proporcionan una solución al problema de acumulación de cenizas de fondo aglomeradas, no son para nada selectivos y se tenderá a extraer más transportador de oxígeno (la mayoría en el lecho fluidizado) que cenizas propiamente dichas.

35 Un dispositivo mejorado se describe en la solicitud de patente FR2980258. Este documento presenta una instalación CLC en la que una zona de sedimentación de cenizas aglomeradas situada en la parte inferior del reactor de combustión comprende, por ejemplo, un tornillo sin fin refrigerado que permite retirar un flujo de partículas que comprende cenizas aglomeradas. No obstante, este dispositivo no permite una extracción satisfactoria de las cenizas de fondo aglomeradas, estas últimas representan una pequeña proporción del flujo de partículas retirado.

40 Extraer de manera no selectiva o escasamente selectiva las cenizas de fondo aglomeradas puede, a la larga, dañar el rendimiento del procedimiento y aumentar los costes de explotación. Las partículas del transportador de oxígeno involuntariamente extraídas pueden de hecho representar una parte significativa del inventario que será compensado por el suministro de transportador de oxígeno nuevo, bien por el reciclaje del transportador de oxígeno que se separará de las cenizas después del enfriamiento y tamizado, es decir, por un reciclaje externo.

50 Objetivos y resumen de la invención

La presente invención tiene como objetivo superar, al menos en parte, los problemas mencionados anteriormente en relación con la combustión en bucle químico (CLC) específico de cargas hidrocarbonadas sólidas.

55 La presente invención pretende cumplir con los siguientes objetivos:

- en general, proporcionar un procedimiento y una instalación CLC que permitan limitar los problemas de suciedad de la instalación CLC, y así reducir las operaciones de mantenimiento relacionadas con los mismos;
- proporcionar un procedimiento y una instalación CLC que permitan limitar el fenómeno de adherencia de cargas hidrocarbonadas sólidas en el sistema de inyección de la carga, y evitar una obstrucción de dicho sistema de inyección;
- proporcionar un procedimiento y una instalación CLC que permitan evacuar la población granulométrica no deseada constituida por las cenizas de fondo aglomeradas, mientras se limita la pérdida de masa activa óxido-reductora durante esta evacuación;
- 60 - proporcionar un procedimiento y una instalación CLC que permitan limitar los complementos de inventario, es decir, los complementos de masa óxido-reductora, durante el funcionamiento de la unidad CLC, ya sea

complementos de masa óxido-reductora nueva (primera introducción en la instalación CLC) o complementos de masa óxido-reductora resultante de un reciclaje externo, por ejemplo resultante de una separación de la masa ya utilizada en la instalación CLC y separada de otras partículas tales como cenizas tras el enfriamiento y tamizado;

5 De este modo, para lograr al menos uno de los objetivos antes mencionados, entre otros, la presente invención propone, según un primer aspecto, un procedimiento de combustión de una carga hidrocarbonada sólida por oxidación-reducción en bucle químico en la que circula una masa activa óxido-reductora en forma de partículas, en el que:

- 10 - se introduce la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas en una zona de transporte que opera en lecho fluidizado y que desemboca en un reactor de combustión;
- se inyecta en dicha zona de transporte un primer gas de fluidización a fin de crear una fase diluida del lecho fluidizado, controlando el caudal de dicho gas tal que la velocidad superficial del gas en la zona de transporte sea superior a la velocidad terminal de caída de las partículas de la carga hidrocarbonada sólida y a la velocidad terminal de caída de las partículas sólidas situadas en el reactor de combustión, y controlando la temperatura de dicho primer gas tal que la temperatura en la fase diluida de la zona de transporte sea inferior o igual a 500 °C;
- 15 - se efectúa la combustión de la carga hidrocarbonada sólida resultante de la zona de transporte mediante la puesta en contacto con la masa activa óxido-reductora en el reactor de combustión que opera en lecho fluidizado.

20 Según un modo de realización, la velocidad superficial del gas en la fase diluida de la zona de transporte se comprende entre 2 m/s y 50 m/s, más preferentemente entre 2 m/s y 35 m/s, incluso más preferentemente entre 2 m/s y 20 m/s, y más preferentemente entre 3 m/s y 10 m/s.

25 Según un modo de realización, se introduce la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas en la zona de transporte por flujo por gravedad a través de un conducto para flujo por gravedad y se regula el flujo de la carga hidrocarbonada sólida por medios de regulación y estanqueidad situados entre el conducto para flujo por gravedad y una zona tampón para el almacenamiento temporal de la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas.

30 Según un modo de realización, se introduce la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas en la zona de transporte por medio de un tornillo sin fin, siendo el tornillo sin fin suministrado por un flujo por gravedad de la carga sólida procedente de una zona tampón para el almacenamiento temporal de la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas, y se regula el flujo de la carga hidrocarbonada sólida por medios de regulación y estanqueidad situados entre el tornillo sin fin y la zona tampón.

35 Según un modo de realización, se introduce la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas en la zona de transporte por medio de una línea de transporte neumático en fase densa, siendo suministrada la línea de transporte neumático en fase densa por un flujo por gravedad de la carga sólida procedente de una zona tampón para el almacenamiento temporal de la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas y por un gas vector, preferentemente de la misma naturaleza que el primer gas de fluidización, y se regula el flujo de la carga hidrocarbonada sólida por medios de regulación y estanqueidad situados entre la línea de transporte neumático en fase densa y la zona tampón.

45 Según un modo de realización, se envía una carga hidrocarbonada sólida bruta desde una zona de almacenamiento a un molino para formar la carga hidrocarbonada en forma de partículas, el caudal de dicha carga hidrocarbonada sólida bruta se regula por medios de regulación y estanqueidad situados entre el molino y la zona de almacenamiento, posteriormente se introduce después la carga hidrocarbonada en forma de partículas en la zona de transporte por medio de un conducto suministrado por el molino en el que se envía un gas vector para transportar la carga al conducto.

50 Según un modo de realización, se realizan las siguientes etapas:

- se extrae del reactor de combustión una mezcla que comprende partículas de la masa activa óxido-reductora y cenizas de fondo por un conducto de extracción situado en la parte inferior del reactor de combustión;
- 55 - la mezcla se introduce según un caudal controlado en una zona de separación constituida por una parte inferior de la zona de transporte, situada bajo una parte superior de la zona de transporte en la que se introduce la carga hidrocarbonada sólida;
- se inyecta un segundo gas de fluidización en la zona de separación, la inyección se realiza controlando el caudal de dicho segundo gas de fluidización con el fin de:

60 ◦ separar por elutriación las partículas de la masa activa óxido-reductora y las cenizas de fondo aglomeradas en dicha mezcla, las partículas de la masa activa óxido-reductora son transportadas al reactor de combustión y las cenizas de fondo aglomeradas caen por el efecto de la gravedad a la parte inferior de la zona de separación en la que se evacúan; y

65 ◦ la velocidad del gas resultante de la mezcla del primer gas de fluidización y del segundo gas de fluidización en la parte superior de la zona de transporte es superior a la velocidad terminal de caída de las partículas de

la carga hidrocarbonada sólida y a la velocidad terminal de caída de las partículas sólidas situadas en el reactor de combustión;

5 y dicha inyección también se realiza controlando la temperatura del segundo gas tal que la temperatura de la zona de transporte sea inferior o igual a 500 °C.

Según un modo de realización, la velocidad superficial del segundo gas de fluidización en la zona de separación se establece en un valor comprendido entre 30 % y 300 % de la velocidad terminal de caída media de las cenizas de fondo aglomeradas.

10 Preferentemente, la velocidad superficial del gas resultante de la mezcla del gas de fluidización y del segundo gas de fluidización en la parte superior de la zona de transporte se comprende entre 0,7 m/s y 50 m/s.

15 Según un modo de realización, se controla el caudal de la mezcla enviado a la zona de separación de manera que la fracción volumétrica del conjunto de partículas de dicha masa activa óxido-reductora y de cenizas de fondo aglomeradas sea inferior a 5 % en la parte inferior de la zona de transporte.

20 Según un modo de realización, se controla el caudal de la mezcla enviado a la zona de separación con una válvula en L o un tornillo sin fin.

Según un modo de realización, se inyecta un tercer gas de fluidización en el reactor de combustión de la misma naturaleza que el primer gas de fluidización y/o el segundo gas de fluidización inyectados en la zona de separación.

25 Según un modo de realización, se inyecta un cuarto gas de fluidización en el conducto de extracción durante la extracción de la mezcla que comprende las partículas de la masa activa óxido-reductora y las cenizas de fondo aglomeradas.

30 Según un modo de realización, se introduce la mezcla en la zona de separación por medios de inyección para mejorar la dispersión de las partículas de la masa activa óxido-reductora y las cenizas de fondo aglomeradas de la mezcla sobre el conjunto de la sección de la zona de separación.

35 Según un modo de realización, se inyecta, en la zona de separación, el segundo gas de fluidización en una primera altura y la mezcla se introduce en una segunda altura, la primera altura es inferior a la segunda altura, y la diferencia entre las primera y segunda alturas es superior a un diámetro equivalente de la zona de separación.

Según un modo de realización, la zona de transporte es un conducto esencialmente vertical.

40 Según un modo de realización, la zona de transporte es un conducto esencialmente vertical que comprende una parte superior y una parte inferior de secciones diferentes.

Preferentemente, la carga hidrocarbonada sólida se selecciona entre carbón, coque, coque de petróleo, biomasa, arenas bituminosas y residuos domésticos, agrícolas o industriales.

45 Según un modo de realización, la masa activa óxido-reductora reducida en el reactor de combustión se vuelve a oxidar en un reactor de oxidación, antes de ser puesta de nuevo en contacto con la carga hidrocarbonada sólida en el reactor de combustión.

50 Según segundo aspecto, la invención propone una instalación de combustión de una carga hidrocarbonada sólida por oxidación-reducción en bucle químico para implementar el procedimiento según la invención, que comprende un reactor de combustión y un reactor de oxidación, comprendiendo el reactor de combustión:

- un suministro de masa activa óxido-reductora en forma de partículas;
- un suministro de un tercer gas de fluidización; y
- un suministro de una carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas, el suministro de una carga hidrocarbonada sólida comprende:

- una zona de transporte que opera en lecho fluidizado, para transportar la carga hidrocarbonada sólida al reactor de combustión, dicha zona de transporte tiene una temperatura inferior o igual a 500 °C;
- medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas en la zona de transporte; y
- medios de inyección de un primer gas de fluidización en la zona de transporte,

y el reactor de oxidación comprende:

- un suministro de partículas de masa activa óxido-reductora reducida en el reactor de combustión,
- un suministro de un gas oxidante,

ES 2 660 316 T3

- una evacuación para el gas oxidante reducido como consecuencia de la oxidación de la masa activa óxido-reductora, y
 - una evacuación para las partículas de la masa activa óxido-reductora reoxidada al reactor de combustión.
- 5 Según un modo de realización, los medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida en la zona de transporte comprenden un conducto para flujo por gravedad que desemboca en la zona de transporte, dicho conducto se suministra por una zona tampón a través de medios de regulación y estanqueidad que permiten regular el flujo de la carga sólida.
- 10 Según un modo de realización, los medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida en la zona de transporte comprenden un tornillo sin fin en la zona de transporte, el tornillo sin fin se suministra por una zona tampón a través de medios de regulación y estanqueidad que permiten regular el flujo de la carga sólida.
- 15 Según un modo de realización, los medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida en la zona de transporte comprenden una línea de transporte neumático en fase densa que desemboca en la zona de transporte, la línea de transporte comprende medios de inyección de un gas vector para transportar las partículas de la carga hidrocarbonada sólida que fluye desde una zona tampón a la zona de transporte, el flujo de las partículas de la carga hidrocarbonada sólida de la zona tampón hasta la línea de transporte se regula por medios de regulación y estanqueidad.
- 20 Según un modo de realización, los medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida en la zona de transporte comprenden:
- una zona de almacenamiento de una carga hidrocarbonada sólida bruta;
- 25
- un molino para moler la carga hidrocarbonada sólida bruta resultante de la zona de almacenamiento en forma de partículas capaces de fluidizarse en la zona de transporte, dicho molino comprende medios de inyección de un gas vector;
 - un conducto de recepción de una mezcla del gas vector y partículas de la carga hidrocarbonada sólida procedente del molino, y que desemboca en la zona de transporte.
- 30 Según un modo de realización, la instalación comprende además:
- un conducto de extracción de una mezcla que comprende partículas de la masa activa óxido-reductora y cenizas de fondo aglomeradas contenidas en el reactor de combustión, dicho conducto de extracción está colocado en el
- 35
- fondo de dicho reactor;
 - una zona de separación constituida por una parte inferior de la zona de transporte, para separar por elutriación las partículas de dicha mezcla procedente del conducto de extracción, comprendiendo dicha zona de separación:
- un suministro en mezcla procedente del conducto de extracción, el suministro comprende medios de control del caudal de mezcla introducido en la zona de separación, y que comprende opcionalmente medios de inyección de la mezcla para mejorar la dispersión de dicha mezcla en la zona de separación;
 - medios de inyección de un segundo gas de fluidización;
 - una zona en fase diluida del lecho fluidizado en la parte superior de la zona de separación; y
- 40
- una evacuación para las cenizas de fondo aglomeradas situada en la parte inferior de la zona de separación.
- 45
- Según un modo de realización, los medios de inyección del segundo gas de fluidización en la zona de separación comprenden un sistema de inyección múltiple.
- 50 Según un modo de realización, los medios de inyección del segundo gas de fluidización en la zona de separación están situados a una primera altitud y el suministro de la mezcla en la zona de separación se sitúa en una segunda altitud superior a la primera altitud, la diferencia entre las primera y segunda alturas es superior a un diámetro equivalente de la zona de separación.
- 55 Según un modo de realización, los medios de control del caudal de la mezcla introducida en la zona de separación se constituyen por una válvula en L o un tornillo sin fin.
- Según un modo de realización, el conducto de extracción de la mezcla de partículas de la masa activa óxido-reductora y cenizas de fondo aglomeradas comprende un suministro en un cuarto gas de fluidización.
- 60
- Según un modo de realización, la evacuación para las cenizas de fondo aglomeradas comprende medios de control del flujo de cenizas aglomeradas evacuadas.
- 65 Según un modo de realización, la zona de separación es un conducto esencialmente vertical.

Según un modo de realización, la instalación comprende además un reactor de oxidación equipado con un suministro de partículas de masa activa óxido-reductora reducida en el reactor de combustión, un suministro de un gas oxidante, una evacuación para el gas oxidante reducido como consecuencia de la oxidación de la masa activa óxido-reductora, y una evacuación para las partículas de la masa activa óxido-reductora reoxidada al reactor de combustión.

Otros objetos y ventajas de la invención resultarán evidentes tras la lectura de la siguiente descripción de ejemplos de realizaciones particulares de la invención, dadas a modo de ejemplos no limitativos, la descripción hace referencia a las figuras anexas descritas a continuación.

Breve descripción de las figuras

Las figuras 1 a 5 son esquemas que ilustran la implementación del procedimiento CLC según diversos modos de realización de la invención.

La figura 5 ilustra en particular un modo de realización de la invención en el que además de inyectar la carga hidrocarbonada sólida a fin de limitar cualquier fenómeno de adherencia de la carga, se evacua las cenizas de fondo aglomeradas de la instalación CLC.

En las figuras, las mismas referencias designan elementos idénticos o similares.

Descripción de la invención

Terminología

Por cenizas de fondo aglomeradas, se entiende, en la presente descripción, las cenizas formadas durante la combustión de la carga hidrocarbonada sólida, que se aglomeran entre sí o con otras partículas de sólido, tales como las partículas de la masa activa óxido-reductora o residuos de combustión. Las cenizas de fondo aglomeradas constituyen una población de partículas sólidas no fluidizables en las condiciones del procedimiento, que se desea evacuar del reactor de combustión.

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 volumétrica de las partículas de la masa activa óxido-reductora es inferior a 10 % en volumen.

Por velocidad superficial de un gas, se entiende la relación entre el caudal volumétrico de gas a las condiciones que pasan en la sección (m^3/s) del reactor y la sección del reactor (m^2).

En la presente invención, las expresiones "material transportador de oxígeno" y "masa activa óxido-reductora" son equivalentes. La masa óxido-reductora se considera activa en relación a sus capacidades reactivas, en el sentido de que es capaz de cumplir su papel de transportador de oxígeno en el procedimiento CLC captando y liberando oxígeno. La masa activa óxido-reductora puede someterse a una fase de activación a fin de aumentar su capacidad reactiva que puede consistir en una fase de subida de la temperatura, preferentemente progresiva, y preferentemente bajo una atmósfera oxidante (por ejemplo en aire). Esta fase de activación se puede llevar a cabo por ejemplo en la instalación CLC, en particular mediante la introducción de las partículas de la masa óxido-reductora en el momento de inicio del procedimiento, antes de que se inicien los ciclos de oxidación-reducción con la introducción de combustible en el procedimiento.

Por carga hidrocarbonada sólida "bruta", se entiende una carga que no está acondicionada de manera que sea fluidizada en las condiciones operativas del procedimiento CLC, en particular desde un punto de vista de su granulometría. La carga bruta está generalmente en forma de partículas gruesas cuyo diámetro se comprende normalmente entre 5 mm y 60 mm. Dicha carga bruta puede estar húmeda. La expresión carga bruta, en relación con la carga hidrocarbonada sólida, se opone a la expresión carga acondicionada en la presente descripción.

La presente invención se refiere a un procedimiento de combustión de una carga hidrocarbonada sólida por oxidación-reducción en bucle químico en la que circula una masa activa óxido-reductora en forma de partículas (procedimiento CLC), en el que se propone inyectar la carga hidrocarbonada sólida a fin de limitar cualquier fenómeno de adherencia de la carga sobre las paredes del dispositivo de inyección.

La carga hidrocarbonada sólida puede ser por ejemplo, carbón, coque, coque de petróleo, biomasa pre-tratada o no, arenas bituminosas o residuos domésticos, agrícolas o industriales.

La figura 1 representa un modo de realización del procedimiento CLC e instalación CLC según la invención. En aras de simplicidad, sólo se representa la parte de la instalación CLC requerida para la descripción de la presente invención. Por lo tanto, el reactor de oxidación en el que se oxida la masa activa para ser enviada al reactor de combustión 110 y formar un bucle químico no aparece en el esquema de la figura, al igual que la parte superior del reactor de combustión.

En el procedimiento según la invención, se lleva a cabo la combustión de la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas por la puesta en contacto con la masa activa óxido-reductora en el reactor de combustión 110, que opera en lecho fluidizado. Durante esta combustión se reduce la masa activa óxido-reductora. El lecho es fluidizado por un gas de fluidización 103, introducido por ejemplo por medio de un elemento interno de fluidización 111 tal como una corona. La masa activa óxido-reductora, en calidad de transportador de oxígeno, se puede inyectar directamente en el reactor de combustión 110 por un suministro 102, procedente del reactor de oxidación. La masa activa óxido-reductora es generalmente la especie mayoritaria en el reactor de combustión 110. Se presenta en forma de partículas fluidizables, pertenecientes a los grupos A, B o C de la clasificación Geldart. Preferentemente, las partículas de la masa activa óxido-reductora pertenecen al grupo B de la clasificación de Geldart. Preferentemente, la masa activa óxido-reductora tiene una granulometría tal que más del 90 % de las partículas tienen un tamaño comprendido entre 100 μm y 500 μm , preferentemente comprendido entre 150 μm y 300 μm , para una densidad comprendida entre 1.000 kg/m^3 y 5.000 kg/m^3 , y, preferentemente, entre 1.500 kg/m^3 y 4.000 kg/m^3 .

La masa óxido-reductora puede estar compuesta por óxidos metálicos, tales como por ejemplo óxidos de Fe, Ti, Ni, Cu, Mn, Co, V, solos o mezclados, que pueden proceder de minerales (por ejemplo, ilmenita o pirolusita) o ser sintéticos (por ejemplo, partículas de óxido de níquel soportadas sobre alúmina $\text{NiO/NiAl}_2\text{O}_4$), con o sin aglutinante, y presenta las propiedades de oxidación-reducción requeridas y las características necesarias para la aplicación de la fluidización. La capacidad de almacenamiento de oxígeno de la masa óxido-reductora se comprende de manera ventajosa dependiendo del tipo de material, entre 1 % y 15 % en peso. Ventajosamente, la cantidad de oxígeno transferida eficazmente por el óxido metálico se comprende entre 1 y 2 % en peso, lo que permite utilizar sólo una fracción de la capacidad de transferencia de oxígeno, idealmente menos de 30 % de la misma para limitar el riesgo de envejecimiento mecánico o de aglomeración de partículas.

El gas de fluidización 103 se introduce de tal forma que la temperatura de procedimiento, comprendida entre 800 °C y 1.200 °C (temperatura en el reactor de combustión y el reactor de oxidación), la velocidad superficial del gas es esencialmente superior a la velocidad mínima de fluidización U_{MF} de las partículas de la masa activa óxido-reductora, generalmente más de 3 a 5 veces superior a U_{MF} . La velocidad mínima de fluidización, U_{MF} , se produce cuando la fuerza de tracción ejercida por el desplazamiento ascendente del gas es igual al peso de las partículas (*Fluidization Engineering*, Kunii y Levenspiel, 1991). La velocidad mínima de fluidización depende de la densidad y la granulometría del sólido y la viscosidad y la densidad del gas. A modo de ejemplo, para un sólido con un diámetro de 200 μm y una densidad igual a 3.250 kg/m^3 a 900 °C en el aire, la velocidad mínima de fluidización U_{MF} es de 1,7 cm/s.

Para la combustión de la carga sólida, es preferible moler la misma tan finamente como sea posible, lo que permite favorecer su fluidización, así como favorecer su reacción rápida con los reactivos implicados. La finura del molido aumenta esencialmente la superficie expuesta a los reactivos. La carga hidrocarbonada sólida que suministra el reactor de combustión ha sido preferentemente molida a un diámetro medio inferior a 1 mm, preferentemente inferior a 500 μm e incluso más preferentemente inferior a 100 μm .

El reactor de combustión 110 comprende un suministro de carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas, este suministro comprende una zona de transporte que opera en lecho fluidizado 140 para transportar la carga hidrocarbonada sólida al reactor de combustión 110, medios de inyección de la carga 160 hidrocarbonada sólida en forma de partículas en la zona de transporte 140, y medios de inyección de un primer gas de fluidización 106 en una zona de transporte.

Se inyecta la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas en la zona de transporte 140 que opera en lecho fluidizado y que desemboca en el reactor de combustión 110.

Se introduce en esta zona de transporte 140 el gas de fluidización 106 a fin de crear una fase diluida del lecho fluidizado. Esta etapa se realiza, por una parte, mediante el control del caudal de gas 106 de tal manera que la velocidad superficial del gas en la zona de transporte 140 sea superior a la velocidad terminal de caída de las partículas de la carga hidrocarbonada sólida y a la velocidad terminal de caída de las partículas sólidas situadas en el reactor de combustión 110, y por otra parte, mediante el control de la temperatura del gas 106 de tal manera que la temperatura (en la fase diluida) de la zona de transporte 140 sea inferior o igual a 500 °C, preferentemente inferior o igual a 450 °C, más preferentemente inferior o igual a 400 °C, y más preferentemente inferior o igual a 300 °C. De esta manera, se limita el fenómeno de adherencia y aglomeración de la carga hidrocarbonada en las paredes del dispositivo de suministro de carga hidrocarbonada sólida de la instalación CLC. La temperatura de la zona de transporte se determina preferentemente en función del tipo de carga sólida inyectada.

Preferentemente, la velocidad superficial del gas en la zona de transporte se comprende entre 2 m/s y 50 m/s, más preferentemente entre 2 m/s y 35 m/s, incluso más preferentemente entre 2 m/s y 20 m/s, y más preferentemente entre 3 m/s y 10 m/s.

La carga hidrocarbonada sólida se envía entonces al reactor de combustión 110 para realizar la combustión de la misma por la puesta en contacto con la masa activa óxido-reductora.

El gas de fluidización 106 se selecciona preferentemente para que sea compatible con el procedimiento, y aún más preferentemente, es de la misma naturaleza que el gas de fluidización 103 del reactor de combustión 110. Preferentemente, se selecciona un gas que limita la aparición de coque, por ejemplo CO₂ o vapor de agua. Más preferentemente se utiliza vapor de agua como gas de fluidización.

Los medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida 160 pueden comprender diversos dispositivos descritos en relación con las figuras 2 a 4, por ejemplo un simple conducto para flujo por gravedad como se representa en la figura 1, un conducto en el que la carga se transporta de manera neumática, o un dispositivo de transporte mecánico tal como una cámara o un tornillo sin fin.

En la implementación del procedimiento representado en la figura 1, la introducción de la carga hidrocarbonada en la zona de transporte se lleva a cabo mediante flujo por gravedad a través de un conducto para flujo por gravedad 170. Se regula el flujo de la carga hidrocarbonada sólida por medios de regulación y estanqueidad 180 situados entre el conducto para flujo por gravedad 170 y una zona tampón 190 para el almacenamiento temporal de la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas. Los medios de regulación y estanqueidad 180 pueden ser por ejemplo una esclusa rotativa. Una ventaja de esta configuración reside en su simplicidad de implementación.

Una válvula de fondo 150 no está destinada a ser abierta de forma continua sino que pretende la evacuación de materias que no pueden ser transportadas, que son entonces evacuadas así por gravedad en la parte inferior de la zona de transporte 540. Puede ser, sin limitación, de tipo pala o esparcimiento.

La figura 2 ilustra otro modo de realización de la invención, en el que el procedimiento CLC, idéntico al descrito en relación con la figura 1, comprende la introducción de la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas en la zona de transporte 240 por medio de un tornillo sin fin 270. El tornillo sin fin 270 es suministrado por un flujo por gravedad de la carga sólida 281 procedente de una zona tampón 290 que permite el almacenamiento temporal de la hidrocarbonada sólida en forma de partículas. Se regula el flujo de la carga hidrocarbonada sólida por medios de regulación y estanqueidad 280 situados entre el tornillo sin fin 270 y la zona tampón 290. Los medios de regulación y estanqueidad 280 pueden ser, por ejemplo, una esclusa rotativa.

El tornillo que gira a una velocidad controlada permitirá un control cuidadoso, es decir, preciso, del suministro de partículas sólidas de la carga hidrocarbonada a la zona de transporte 240.

Los medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida en la zona de transporte de la instalación CLC según esta configuración comprenden por lo tanto el tornillo sin fin 270 que desemboca en la zona de transporte 240, este tornillo sin fin es suministrado por la zona tampón 290 a través de medios de regulación y estanqueidad 280 que permiten regular el flujo de la carga sólida.

La figura 3 ilustra aún otro modo de realización de la invención, en el que el procedimiento CLC, idéntico al descrito en relación con la figura 2, comprende la introducción de la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas en la zona de transporte 340 por medio de una línea 370 de transporte neumático en fase densa. Esta línea de transporte 370 se suministra por una parte, por un flujo por gravedad de la carga sólida 381 procedente de una zona tampón 390 para el almacenamiento temporal de la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas, y por otra parte, por un gas vector 307, preferentemente de la misma naturaleza que el primer gas de fluidización 306. Se regula el flujo de la carga hidrocarbonada sólida por medios de regulación y estanqueidad 380 situados entre la línea 370 de transporte neumático en fase densa y la zona tampón 390. Los medios de regulación y estanqueidad 380 pueden ser una esclusa rotativa.

Esta configuración permite especialmente garantizar una regularidad del flujo de la carga hidrocarbonada con una implementación de medios con costes limitados.

La instalación CLC según esta configuración consta de medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida en la zona de transporte 340 que comprende una línea 370 de transporte neumático en fase densa. Esta última desemboca en la zona de transporte 340, y comprende medios de inyección del gas vector 307 para transportar las partículas de la carga hidrocarbonada sólida que fluye desde la zona tampón 390 a la zona de transporte 370, el flujo de las partículas de la carga hidrocarbonada sólida de la zona tampón 390 hasta la línea de transporte 370 se regula por los medios de regulación y estanqueidad 380.

La figura 4 representa otro modo de realización de la invención, en el que el procedimiento CLC, idéntico al descrito en relación con la figura 2, comprende el envío de una carga hidrocarbonada sólida bruta de una zona de almacenamiento 492 a un molino 470 para formar la carga hidrocarbonada en forma de partículas. El caudal de la carga hidrocarbonada sólida bruta está regulado por medios de regulación y estanqueidad 480 situados entre el molino 470 y la zona de almacenamiento 492. A continuación, se introduce la carga hidrocarbonada en forma de partículas en la zona de transporte 440 por medio de un conducto 482 suministrado por el molino en el que se envía un gas vector para transportar la carga 408 al conducto 482.

ES 2 660 316 T3

En esta configuración, la carga hidrocarbonada es un sólido bruto molido aguas arriba del dispositivo y se envía vinculada directamente en el dispositivo de suministro de carga hidrocarbonada del reactor de combustión.

5 No hay capacidad tampón de la carga hidrocarbonada acondicionada para la combustión en bucle químico. La carga es un combustible sólido bruto, potencialmente todavía húmedo, cuyo calibre, comprendido generalmente entre 5 mm y 60 mm, no permite fluidizarlo.

10 Los medios de regulación de la carga hidrocarbonada bruta pueden ser, a modo de ejemplo, una esclusa rotativa o una tolva de dosificación si el calibre de la carga no permite el uso de la esclusa rotativa.

15 El molino, además de su función para dar forma a partículas (granulometría) de la carga hidrocarbonada para su fluidización en las condiciones operativas del procedimiento CLC podrá, si es necesario, ajustar el contenido de humedad aparente de la carga para que sea compatible con el transporte neumático. La tecnología de molino podrá, por ejemplo, ser ovoide, pendular o de rueda. Será preferentemente ovoide o pendular.

20 El gas vector 408 es preferentemente compatible con la combustión en bucle químico, e incluso más preferentemente de la misma naturaleza que el gas vector 406.

25 Es posible, gracias a esta configuración en la que la inyección de la carga se lleva a cabo indirectamente a través de la zona de transporte en lugar de directamente en el reactor de combustión, no influir en el funcionamiento del molino adaptando el caudal del gas vector 408 en su funcionamiento óptimo. Esta configuración tiene también la ventaja de permitir un control independiente del tiempo de residencia de sólidos en la zona de transporte 440 mediante el ajuste del caudal de gas de fluidización 406.

30 Desde el punto de vista de la instalación CLC, los medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida en la zona de transporte según esta configuración comprenden por lo tanto:

- la zona de almacenamiento 492 de la carga hidrocarbonada sólida bruta;
- el molino 470 para moler la carga hidrocarbonada sólida bruta de la zona de almacenamiento 492 en forma de partículas capaces de ser fluidizadas en la zona de transporte 440, el molino comprende medios de inyección del gas vector 408;
- un conducto de recepción de una mezcla de gas vector y partículas sólidas de la carga hidrocarbonada sólida procedente del molino 470, y que desemboca en la zona de transporte 440.

35 En el procedimiento según la invención, la masa activa óxido-reductora reducida en el reactor de combustión se vuelve a oxidar en un reactor de oxidación, antes de ser puesta de nuevo en contacto con la carga hidrocarbonada sólida en el reactor de combustión.

40 Ventajosamente, el procedimiento según la invención comprende además una eliminación de cenizas de fondo aglomeradas, la acumulación de estas últimas contribuye a obstruir el reactor de combustión, al tiempo que permite limitar la pérdida de masa activa óxido-reductora durante esta eliminación de cenizas. La figura 5 representa un modo de realización particular de la invención, en el que se aplica dicha eliminación de cenizas de fondo aglomeradas.

45 Entre las ventajas relacionadas con la combinación de la inyección de la carga hidrocarbonada tal como se describe anteriormente y la eliminación de cenizas de fondo particular detallada a continuación, se puede citar el efecto sinérgico de la limpieza de la zona de transporte en la que se inyectan las partículas de la carga hidrocarbonada sólida, y que sin embargo podrían someterse a un fenómeno de adherencia a pesar de las precauciones aportadas, esta limpieza se lleva a cabo por un efecto abrasivo del flujo de partículas de la masa activa óxido-reductora transportadas al reactor de combustión. La combinación de la inyección de la carga hidrocarbonada y la eliminación de cenizas de fondo según la invención permite igualmente precalentar ventajosamente la carga hidrocarbonada sólida al contacto de la masa activa óxido-reductora caliente reciclada transportada en la zona de separación hacia el reactor de combustión.

50 La figura 5 ilustra un modo de realización de la invención en la que se procede a la eliminación de una población granulométrica no deseada situada en el reactor de combustión constituida por las cenizas de fondo aglomeradas.

55 La combustión de la carga hidrocarbonada sólida en el lecho fluidizado puede conducir, por la reducción de la masa activa óxido-reductora, sintonización, o la aglomeración de las cenizas a la formación de objetos no fluidizables en las condiciones del procedimiento. Su acumulación puede interferir con el buen funcionamiento del procedimiento y puede conducir a interrupciones más frecuentes, que requirieren por lo tanto la paralización completa de la unidad.

60 Esta eliminación de cenizas de fondo aglomeradas se lleva a cabo con el fin de limitar las pérdidas de masa activa óxido-reductora retiradas del reactor de combustión, al mismo tiempo que las cenizas aglomeradas.

65

- A fin de eliminar estos objetos, que se englobarán en la denominación cenizas de fondo aglomeradas, se extrae del reactor de combustión una mezcla 510 que comprende partículas de dicha masa activa óxido-reductora y cenizas de fondo aglomeradas por un conducto de extracción 520 situado en la parte inferior del reactor de combustión 510. La mezcla extraída puede comprender gas presente en el reactor de combustión, que es llevado con el sólido, y que corresponde a los espacios intergranulares de las partículas (masa activa y cenizas). El flujo se puede facilitar mediante la inyección de un gas de fluidización 504 en el conducto de extracción 520, que luego comprende medios de inyección de dicho gas. La mezcla que comprende las partículas sólidas fluye hasta los medios de control de la circulación de la mezcla 530.
- Estos medios de control 530 del caudal de mezcla de partículas sólidas pueden ser una válvula mecánica, una válvula neumática de tipo válvula en L, válvula en V o válvula en J o un transportador accionado mecánicamente, tal como un tornillo sin fin. Estos medios de control permiten ventajosamente adaptarse a la extracción de cenizas de fondo aglomeradas a la velocidad de formación de las mismas y por consecuencia limitar más generalmente el consumo energético del procedimiento.
- A continuación, se introduce la mezcla de partículas según un caudal controlado en una zona de separación constituida por una parte inferior 541 de la zona de transporte 540, situada en una parte superior 542 de la zona de transporte 540 en la que se introduce la carga hidrocarbonada sólida.
- El paso de los medios de control del caudal de la mezcla 530 a la zona de separación 541 se puede hacer por medio de un dispositivo de inyección o un elemento interno (no representados), para mejorar la dispersión de partículas sólidas de la mezcla sobre toda la sección de la zona de separación 541.
- Preferentemente, el caudal de la mezcla de partículas sólidas controlado por los medios de control 530 se ajusta de modo que la fracción volumétrica de partículas en la corriente gaseosa se comprende generalmente entre 1 % y 5 %, preferentemente entre 1 % y 2 % en la fase diluida de la zona de separación 541.
- La zona de separación 541 es ventajosamente un conducto, preferentemente esencialmente vertical.
- La zona de separación 541 comprende, además del suministro mezclado de partículas sólidas que consta de los medios de control 530 y, opcionalmente, los medios de inyección dispersivos de la mezcla, un suministro de un gas de fluidización 505, seleccionado para ser compatible con las reacciones y las aplicaciones del reactor 510.
- Se inyecta el gas de fluidización 505 en la zona de separación a fin de crear una fase diluida del lecho fluidizado. Esta zona en fase diluida se sitúa en la parte superior de la zona de separación 541, y se prolonga por la parte superior 542 de la zona de transporte, desembocando ella misma en el reactor de combustión 510. Se controla la velocidad superficial del gas en la fase diluida de dicha zona de separación para separar mediante elutriación las partículas de la masa activa óxido-reductora y las cenizas de fondo aglomeradas en la mezcla. Las partículas de la masa activa óxido-reductora se transportan entonces a la parte superior 542 de la zona de transporte 540, y las cenizas de fondo aglomeradas caen por el efecto de la gravedad a la parte inferior de la zona de separación 541 en la que se evacúan.
- La inyección de gas 505 puede ser múltiple (no representado). La inyección de gas 505 se puede hacer a través de un elemento interno de distribución (no representado). La inyección de gas puede realizarse en la pared.
- El gas inyectado 505, 105 se selecciona para evitar el impacto en la reacción que tiene lugar en el reactor 510. El gas inyectado 505 es preferentemente de la misma naturaleza que el gas de fluidización 503 inyectado en el reactor 510. Este gas es por ejemplo seleccionado entre aire, nitrógeno, vapor de agua o CO₂.
- Preferentemente, la inyección de gas 505 se hace a una altitud inferior a la del suministro de la mezcla de partículas sólidas. La diferencia de altitud de la inyección es preferentemente superior al diámetro de la zona de separación 541, o un diámetro equivalente si la zona de separación 541 no presenta una sección circular. El diámetro equivalente corresponde en este caso al diámetro de un conducto de sección circular, cuya sección tiene la misma superficie que la sección desarrollada por la zona de sección no circular.
- La velocidad superficial del gas en la fase diluida de la zona de separación 541 se fija en un valor en general comprendido entre 30 % y 300 % de la velocidad terminal de caída media de las cenizas de fondo aglomeradas, preferentemente comprendido entre 75 % y 125 %.
- La velocidad terminal de caída se calcula de la siguiente manera (*Fluidization Engineering*, Butterworth-Heinemann, Daizo Kunii, Octave Levenspiel, p80):

$$V_t = \sqrt{\frac{4 \cdot d_p \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g}{3 \cdot \rho_g \cdot C_D}} \quad (3)$$

Con:

- d_p el diámetro medio de partículas;
- ρ_s la masa volumétrica de las partículas (kg/m^3);
- 5 - ρ_g la masa volumétrica de las partículas (kg/m^3); y
- C_D el coeficiente de arrastre

10 La velocidad superficial del gas en la fase diluida de la zona de separación 541 puede ser controlada ajustando el caudal de flujo de gas de fluidización 505 inyectado en la zona de separación 541 para una configuración de la zona de separación dada.

15 La velocidad del gas de fluidización 505 se regula preferentemente a fin de transportar al reactor las partículas de la masa activa óxido-reductora cuyo tamaño es inferior a 500 μm , preferentemente inferior a 300 μm . La velocidad superficial del gas en la fase diluida de la zona de separación 541 es preferentemente superior a 11 veces la velocidad mínima de fluidización de la masa activa óxido-reductora, de modo que la mayoría de las partículas de la masa activa se transportan al reactor.

20 Preferentemente, la velocidad superficial del gas en la fase diluida de la zona de separación 541 se comprende entre 0,7 m/s y 50 m/s, preferentemente entre 0,7 m/s y 35 m/s, más preferentemente entre 0,7 m/s y 20 m/s, más preferentemente entre 1,5 m/s y 10 m/s, e incluso más preferentemente entre 3 m/s y 10 m/s.

25 La velocidad se puede variar en la fase diluida de la zona de separación 140, en particular más allá de 10 m/s, incluso 20 m/s, para ajustar el tiempo de residencia de las partículas. Sin embargo, se debe tener cuidado de no exceder velocidades de 50 m/s y preferentemente velocidades de 35 m/s, para no perjudicar la integridad de los materiales constitutivos de la zona de separación 541, tales como refractarios o no fomentar también significativamente el desgaste de partículas sólidas implementadas en el lecho fluidizado del reactor de combustión 510.

30 La velocidad superficial de gas controlada en la fase diluida de la zona de separación 541 permite la separación por elutriación de los dos tipos de partículas sólidas de la mezcla, de forma análoga al efecto, por una parte, el transporte de las partículas cuya velocidad terminal de caída es esencialmente más baja que la velocidad superficial del gas, es decir, la masa activa óxido-reductora, los residuos no quemados sólidos, cenizas volantes, y por otra parte, la caída por gravedad de las cenizas de fondo aglomeradas en la parte inferior de la zona de separación 541. Las cenizas de fondo aglomeradas se recuperan en la parte baja de la parte inferior de la zona de separación 541 por medio de una evacuación. Preferentemente, el dispositivo de evacuación de cenizas de fondo aglomeradas comprende medios de control de flujo de sólidos que permiten en primer lugar asegurar la estanqueidad con la atmósfera exterior de la unidad, y en segundo lugar asegurar una regulación precisa del flujo de sólidos. Tal dispositivo de evacuación puede comprender por ejemplo un cierre de líquido, un depósito de recuperación, una esclusa rotativa, una cámara o una válvula mecánica sencilla que se puede abrir de forma intermitente (no representadas). La evacuación, que puede ser por ejemplo uno de los dispositivos anteriores, se selecciona a fin de no afectar al funcionamiento nominal de la unidad. Las cenizas de fondo aglomeradas salen entonces de la unidad CLC por un conducto (no representado) que no tiene límite de ángulo y puede ir en sentido horizontal a vertical descendente. Las partículas de masa activa óxido-reductoras transportadas en la fase diluida de la zona de separación 541 por el gas de fluidización 505 se envían a continuación a la parte superior 542 de la zona de transporte 540, para luego volver a introducirse en el reactor de combustión 510. La mayor parte de la masa activa extraída por el conducto de extracción de forma simultánea a las cenizas de fondo está, de hecho, redirigida a la zona de combustión. Preferentemente, más de 70 % en peso de las partículas de la masa activa óxido-reductora se recicla en el flujo extraído por el conducto de extracción, más preferentemente más de 80 %, e incluso más preferentemente más de 90 %.

50 La separación realizada permite así pues la eliminación de las cenizas de fondo aglomeradas, cuya acumulación puede obstruir el reactor de combustión y afectar negativamente al funcionamiento de la unidad CLC, al tiempo que permite el reciclaje interno de la masa activa óxido-reductora, limitando así los complementos de inventario (la masa activa óxido-reductora) en el procedimiento.

55 En este modo de realización, se controla tanto la temperatura del primer gas de fluidización 506 para fluidizar la carga hidrocarbonada y la temperatura del segundo gas de fluidización 505 de modo que la temperatura en la zona de suministro sea inferior o igual a 500 °C, preferentemente inferior o igual a 450 °C, más preferentemente inferior o igual a 400 °C, y aún más preferentemente inferior o igual a 300 °C.

60 El diámetro, o diámetro equivalente, de la parte inferior 541 de la zona de transporte 540 (zona de separación) y el diámetro de la parte superior 542 de la zona de transporte 540 pueden ser diferentes en función de las tensiones de la aplicación del procedimiento tales como los caudales de gas que deben aplicarse para fluidizar las partículas de sólidos y el impacto de estos gases en el procedimiento, o las cantidades de cenizas de fondo aglomeradas para eliminar o de carga hidrocarbonada a inyectar.

65

Una válvula de fondo 550, opcional, no está destinada a cerrarse, pero está destinada a estar disponible si se requiere un medio mecánico necesario para aislar las partes 541 y 542 de la zona de transporte 540.

Ejemplos

- 5 *Ejemplo 1*
- Se ubica en la configuración descrita en relación con la figura 5.
- 10 El lecho fluidizado del reactor de combustión 510 es un lecho fluidizado de combustión de carbón con una potencia de 2MWth. Se suministra por 0,078 kg/s de carbón sudafricano cuyas características se reagrupan en la tabla 2.

Tabla 2: Composición y caracterización de la carga de carbón

C	% en peso	70,00
H	% en peso	4,14
O	% en peso	9,32
N	% en peso	1,84
S	% en peso	0,80
Cenizas	% en peso	13,90
% materias volátiles	%	29,90
% carbono fijo	%	56,20
% humedad	%	4,00
PCI secado final	kJ/kg	26,843
PCI secado al aire	kJ/kg	25,769
Caudal de carbón bruto	kg/s	0,078

- 15 El reactor de combustión se opera en modo CLC a 950 °C en lecho fluidizado. El lecho fluidizado se suministra por 5,11 kg/s de masa activa óxido-reductora por el suministro 502. El lecho es fluidizado por 0,04 Nm³/s de vapor de agua 503.

- 20 Una mezcla que comprende cenizas de fondo aglomeradas y partículas de la masa activa se extrae del reactor 510 a través del conducto de extracción 520 según un caudal de 0,5 kg/s. El sólido extraído del fondo del reactor está más concentrado en las cenizas de fondo aglomeradas. La mezcla de sólidos extraídos se compone de 80 % de masa activa óxido-reductora y 20 % de cenizas de fondo aglomeradas. Las partículas de la masa activa óxido-reductoras tienen una granulometría del 95 % en el intervalo de 150 µm-300 µm y una masa volumétrica de 4.190 kg/m³. Las cenizas de fondo aglomeradas tienen un diámetro de partículas superior a 750 µm y una masa volumétrica de al menos 2.600 kg/m³. Este es el caso límite de 750 µm y 2.600 kg/m³ en el que se basa el ejemplo.

Las respectivas velocidades terminales de caída son:

- 30 - para las cenizas de fondo aglomeradas: 5,71 m/s
 - para las partículas de óxidos: 1,15 m/s

- 35 Se ubica en un sistema en el que la velocidad del gas se ajusta a 3 m/s en la fase diluida de la zona de separación 541, cuyo diámetro es 0,1 m, por el gas de fluidización 505. En estas condiciones, el 95 % de las partículas de la masa activa óxido-reductora y 0,1 % de las de cenizas de fondo aglomeradas son arrastradas hacia la parte superior de la zona de transporte en dirección del reactor de combustión, 0,38 kg/s de portador de oxígeno y 0,1 g/s de cenizas de fondo aglomeradas. Esto implica que el 99,9 % de cenizas de fondo aglomeradas y 5 % de las partículas de óxido metálico caen en el fondo de la zona de separación 541 y son evacuadas fuera de la unidad CLC, 0,02 kg/s de masa activa y 99,9 g/s de sólidos aglomerados.

- 40 La fluidización del conducto 541 se efectúa gracias al vapor a baja presión a 150 °C a 0,46 mol/s. Cuando este flujo de gas se encuentra con el flujo de sólidos resultante de los medios de control del caudal de la mezcla a 130 a 950 °C, da como resultado una temperatura de mezcla gas/sólido de 919 °C.

- 45 La parte inferior del conducto 542 está fluidizada por el vapor de baja presión 206 a 150 °C para un flujo a 0,745 mol/s. Este vapor 506 se mezcla con el flujo de gas y sólidos resultante de la zona de separación 541. El resultado es una nueva mezcla gas/sólido a 467 °C. La carga resultante del dispositivo de inyección 560 se lleva a una velocidad de 0,078 kg/s y a una temperatura de 15 °C. Esta carga hidrocarbonada se mezcla con el flujo gas-sólido que asciende en el conducto 542. Con el calentamiento de la carga y la vaporización de humedad intrínseca, se da lugar a una nueva temperatura de mezcla gas/sólido de 298 °C en la zona de transporte 542.

50

ES 2 660 316 T3

Suponiendo que la zona de transporte 542 tiene el mismo diámetro que el diámetro del conducto 541, a saber, 0,1 m, da lugar a una velocidad superficial del gas en esta zona de 8,2 m/s. Esta velocidad es mucho mayor que la velocidad terminal de caída de las partículas de carbón que es de 0,23 m/s (para un diámetro medio de 100 μm y una masa volumétrica de 1.500 kg/m^3).

5

Ejemplo 2

El ejemplo 2 es un ejemplo comparativo, que corresponde a una implementación del procedimiento CLC según la técnica anterior. Considere este ejemplo en la misma configuración que en el ejemplo 1 con respecto a los equipos 510, 503, 530. Sin embargo, en este ejemplo, no hay ninguna aplicación de eliminación de cenizas según la invención y el conducto de extracción 520 no desemboca en una zona de separación, sino directamente al exterior.

10

La mezcla de sólido extraído de la unidad a 0,5 kg/s tiene una composición de 20 % de cenizas de fondo aglomeradas como se define en el ejemplo 1 y 80 % de masa activa óxido-reductora como se define en ejemplo 1.

15

La tabla 3 reagrupa los datos en los flujos extraídos del conducto 520 y extraídos de la unidad CLC (parte inferior 140) para los ejemplos 1 y 2.

Tabla 3: Comparativo de las entradas/salidas de los ejemplos 1 y 2

	Ej1 (120)	Ej2 (120)	Ej1 (parte inferior de 140)	Ej2 (parte inferior de 140)
flujo (kg/s)	0,5	0,5	0,120	0,5
% de cenizas de fondo aglomeradas	20	20	83	20
% de masa activa	80	80	17	80

20

Las salidas de masa activa óxido-reductora deben ser compensadas por un complemento para mantener el inventario de la unidad. Este complemento es de 1,73 toneladas por día para el ejemplo 1 y 34,6 toneladas por día para el ejemplo 2 para una cantidad de cenizas de fondo aglomeradas eliminadas esencialmente equivalente a 8,63 toneladas por día para el ejemplo 1 y 8,64 toneladas por día para el ejemplo 2. Esta comparación ilustra bien la capacidad del procedimiento y de instalación según la invención para limitar la pérdida de masa activa durante la eliminación de las cenizas de fondo aglomeradas del reactor de combustión.

25

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de combustión de una carga hidrocarbonada sólida por oxidación-reducción en bucle químico en la que circula una masa activa óxido-reductora en forma de partículas, en el que:

- se introduce la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas en una zona de transporte (140, 240, 340, 440, 540) que opera en lecho fluidizado y que desemboca en un reactor de combustión (110, 210, 310, 410, 510);

- se inyecta en dicha zona de transporte (140,240,340,440,540) un primer gas de fluidización (106, 206, 306, 406, 506) a fin de crear una fase diluida del lecho fluidizado, controlando el caudal de dicho gas (106, 206, 306, 406, 506) tal que la velocidad superficial del gas en la zona de transporte (140, 240, 340, 440, 540) sea superior a la velocidad terminal de caída de las partículas de la carga hidrocarbonada sólida y a la velocidad terminal de caída de las partículas sólidas situadas en el reactor de combustión (110, 210, 310, 410, 510), y controlando la temperatura de dicho primer gas tal que la temperatura en la fase diluida de la zona de transporte sea inferior o igual a 500 °C;

- se efectúa la combustión de la carga hidrocarbonada sólida resultante de la zona de transporte (140, 240, 340, 440, 540) mediante la puesta en contacto con la masa activa óxido-reductora en el reactor de combustión que opera en lecho fluidizado.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la velocidad superficial del gas en la fase diluida de la zona de transporte (140, 240, 340, 440, 540) se comprende entre 2 m/s y 50 m/s.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 y 2, en el que se introduce la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas en la zona de transporte (140) por flujo por gravedad por medio de un conducto para flujo por gravedad (170), y se regula el flujo de la carga hidrocarbonada sólida por medios de regulación y estanqueidad (180) situados entre dicho conducto para flujo por gravedad (170) y una zona tampón (190) para el almacenamiento temporal de la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 y 2, en el que se introduce la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas en la zona de transporte (240) por medio de un tornillo sin fin (270), estando dicho tornillo sin fin (270) suministrado por un flujo por gravedad de la carga sólida (281) procedente de una zona tampón (290) para el almacenamiento temporal de la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas (290), y se regula el flujo de la carga hidrocarbonada sólida por medios de regulación y estanqueidad (280) situados entre dicho tornillo sin fin (270) y la zona tampón (290).

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 y 2, en el que se introduce la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas en la zona de transporte (340) por medio de una línea (370) de transporte neumático en fase densa, dicha línea (370) de transporte neumático en fase densa se suministra por un flujo por gravedad de la carga sólida (381) procedente de una zona tampón (390) para el almacenamiento temporal de la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas y por un gas vector (307), y se regula el flujo de la carga hidrocarbonada sólida por medios de regulación y estanqueidad (380) situados entre dicha línea (370) de transporte neumático en fase densa y la zona tampón (390).

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 y 2, en el que se envía una carga hidrocarbonada sólida bruta desde una zona de almacenamiento (492) a un molino (470) para formar la carga hidrocarbonada en forma de partículas, el caudal de dicha carga hidrocarbonada sólida bruta se regula por medios de regulación y estanqueidad (480) situados entre el molino (470) y la zona de almacenamiento (492), posteriormente se introduce la carga hidrocarbonada en forma de partículas en la zona de transporte (470) por medio de un conducto (482) suministrado por el molino en el que se envía un gas vector (408) para transportar la carga al conducto (482).

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en el que:

- se extrae del reactor de combustión una mezcla que comprende partículas de dicha masa activa óxido-reductora y cenizas de fondo por un conducto de extracción (529) situado en la parte inferior del reactor de combustión;

- la mezcla se introduce según un caudal controlado en una zona de separación constituida por una parte inferior (541) de la zona de transporte (540), situada bajo una parte superior (542) de la zona de transporte (540) en la que se introduce la carga hidrocarbonada sólida;

- se inyecta un segundo gas de fluidización (505) en la zona de separación, dicha inyección se realiza controlando el caudal de dicho segundo gas de fluidización (505) con el fin de:

◦ separar por elutriación las partículas de la masa activa óxido-reductora y las cenizas de fondo aglomeradas en dicha mezcla, dichas partículas de la masa activa óxido-reductora son transportadas al reactor de combustión (510) y las cenizas de fondo aglomeradas caen por el efecto de la gravedad a la parte inferior de la zona de separación en la que se evacúan; y

◦ la velocidad del gas resultante de la mezcla del primer gas de fluidización (506) y del segundo gas de fluidización (505) en la parte superior (542) de la zona de transporte (540) es superior a la velocidad terminal de caída de las partículas de la carga hidrocarbonada sólida y a la velocidad terminal de caída de las partículas sólidas situadas en el reactor de combustión (510);

y dicha inyección también se realiza controlando la temperatura de dicho segundo gas (506) tal que la temperatura de la zona de transporte (540) sea inferior o igual a 500 °C.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en el que la zona de transporte (140, 240, 340, 440, 540) es un conducto esencialmente vertical.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en el que la masa activa óxido-reductora reducida en el reactor de combustión (110, 210, 310, 410, 510) se reoxida en un reactor de oxidación, antes de ser puesta de nuevo en contacto con la carga hidrocarbonada sólida en el reactor de combustión (110, 210, 310, 410, 510).

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en el que la carga hidrocarbonada sólida se selecciona entre carbón, coque, coque de petróleo, biomasa, arenas bituminosas y residuos domésticos, agrícolas o industriales.

11. Instalación de combustión de una carga hidrocarbonada sólida por oxidación-reducción en bucle químico para implementar el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, que comprende un reactor de combustión (110, 210, 310, 410, 510) y un reactor de oxidación, comprendiendo dicho reactor de combustión:

- un suministro de masa activa óxido-reductora en forma de partículas (102, 202, 302, 402, 502) procedente del reactor de oxidación;
- un suministro de un tercer gas de fluidización (103, 203, 303, 403, 503); y
- un suministro de una carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas, dicho suministro de una carga hidrocarbonada sólida comprende:

- una zona de transporte que opera en lecho fluidizado (140, 240, 340, 440, 540), para transportar la carga hidrocarbonada sólida al reactor de combustión (110, 210, 310, 410, 510), dicha zona de transporte tiene una temperatura inferior o igual a 500 °C;
- medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida en forma de partículas en dicha zona de transporte (140, 240, 340, 440, 540); y
- medios de inyección de un primer gas de fluidización (106, 206, 304, 406, 506) en dicha zona de transporte (140, 240, 340, 440, 540),

y dicho reactor de oxidación comprende:

- un suministro de partículas de masa activa óxido-reductora reducida en el reactor de combustión (110, 210, 310, 410, 510),
- un suministro de un gas oxidante,
- una evacuación para el gas oxidante reducido como consecuencia de la oxidación de la masa activa óxido-reductora, y
- una evacuación para las partículas de la masa activa óxido-reductora reoxidada al reactor de combustión (110, 210, 310, 410, 510).

12. Instalación de combustión según la reivindicación 11, en la que dichos medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida en dicha zona de transporte (140) comprende un conducto por flujo por gravedad (170) que desemboca en la zona de transporte, siendo dicho conducto suministrado por una zona tampón (190) a través de medios de regulación y estanqueidad (180) que permiten regular el flujo de la carga sólida.

13. Instalación de combustión según la reivindicación 11, en la que dichos medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida en dicha zona de transporte comprenden un tornillo sin fin (270) que desemboca en la zona de transporte (240), siendo dicho tornillo sin fin suministrado por una zona tampón (290) a través de medios de regulación y estanqueidad (280) que permiten regular el flujo de la carga sólida.

14. Instalación de combustión según la reivindicación 11, en la que dichos medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida en la zona de transporte (340) comprenden una línea(370) de transporte neumático en fase densa que desemboca en la zona de transporte (340), dicha línea (370) de transporte comprende medios de inyección de un gas vector (307) para transportar las partículas de la carga hidrocarbonada sólida que fluyen desde una zona tampón (390) a la zona de transporte (370), el flujo de partículas de la carga hidrocarbonada sólida desde la zona tampón (390) hasta la línea de transporte (370) se regula por medios de regulación y estanqueidad (380).

15. Instalación de combustión según la reivindicación 11, en la que dichos medios de inyección de la carga hidrocarbonada sólida en la zona de transporte (440) comprenden:

- 5 - una zona de almacenamiento (492) de una carga hidrocarbonada sólida bruta;
- un molino (470) para moler la carga hidrocarbonada sólida bruta resultante de la zona de almacenamiento (492) en forma de partículas capaces de fluidizarse en la zona de transporte (440), dicho molino comprende medios de inyección de un gas vector (308);
- 10 - un conducto de recepción de una mezcla del gas vector y partículas de la carga hidrocarbonada sólida procedente del molino (470), y que desemboca en la zona de transporte (440).

16. instalación de combustión según una de las reivindicaciones 11 a 15, que comprende además un dispositivo de eliminación de cenizas de fondo aglomeradas que comprende:

- 15 - un conducto de extracción (520) de una mezcla que comprende partículas de la masa activa óxido-reductora y cenizas de fondo aglomeradas contenidas en el reactor de combustión, dicho conducto de extracción (520) está colocado en el fondo de dicho reactor;
- una zona de separación constituida por una parte inferior (541) de la zona de transporte (540), para separar por elutriación las partículas de dicha mezcla procedente del conducto de extracción (520), comprendiendo dicha zona de separación:
 - 20 - un suministro en dicha mezcla procedente del conducto de extracción (520), dicho suministro comprende medios de control del caudal de mezcla (530) introducido en la zona de separación,
 - medios de inyección de un segundo gas de fluidización (502);
 - una zona en fase diluida del lecho fluidizado en la parte superior de la zona de separación; y
- 25 - una evacuación para las cenizas de fondo aglomeradas situada en la parte inferior de la zona de separación.

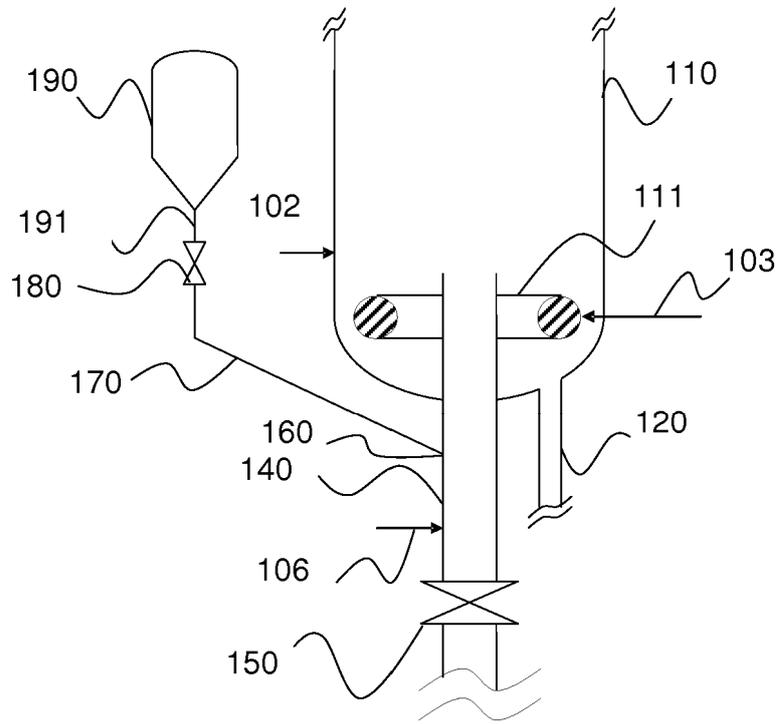


FIG. 1

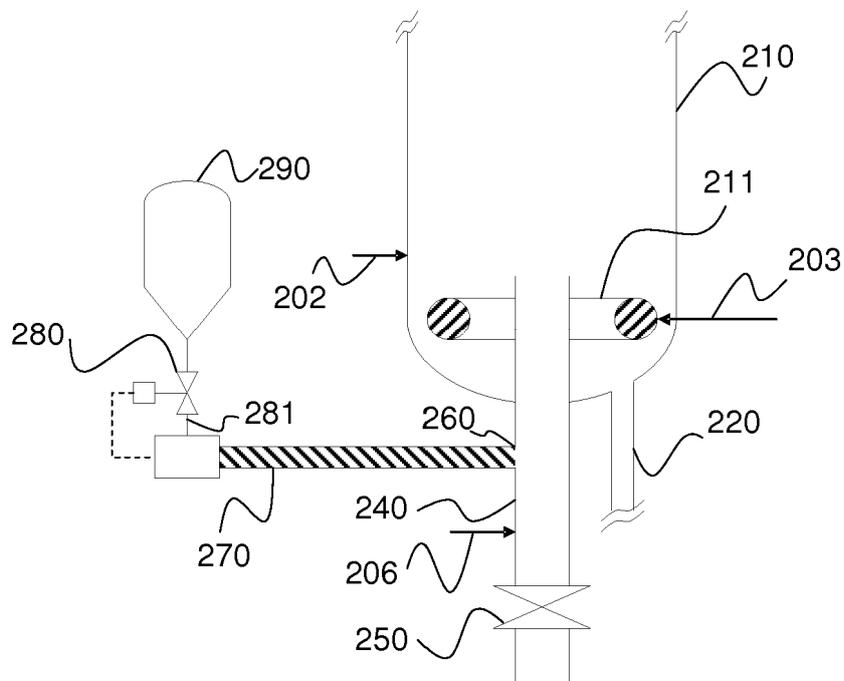


FIG. 2

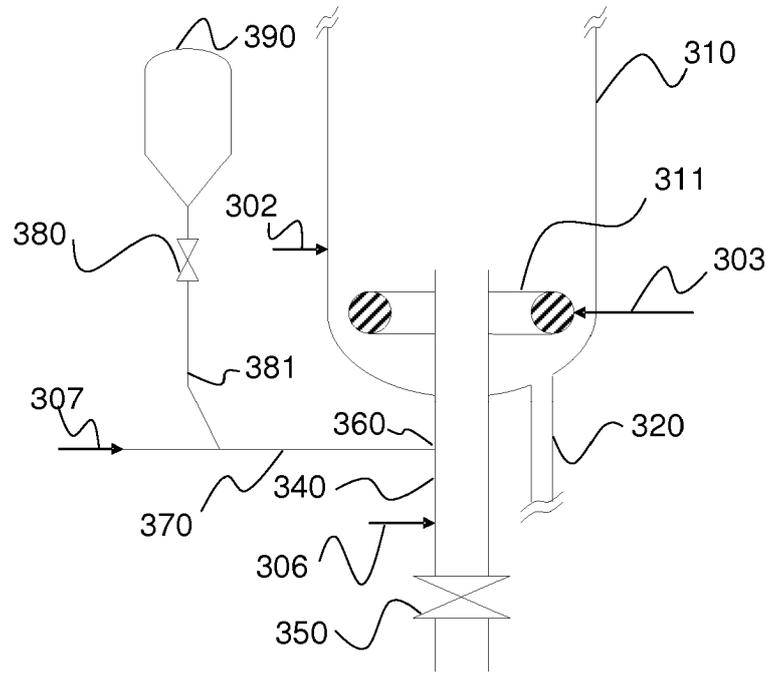


FIG. 3

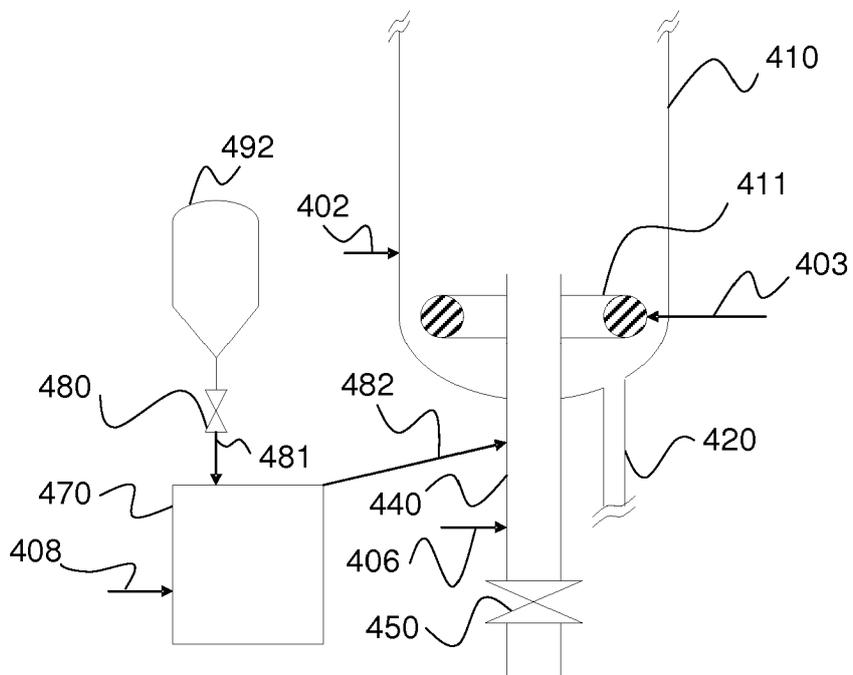


FIG. 4

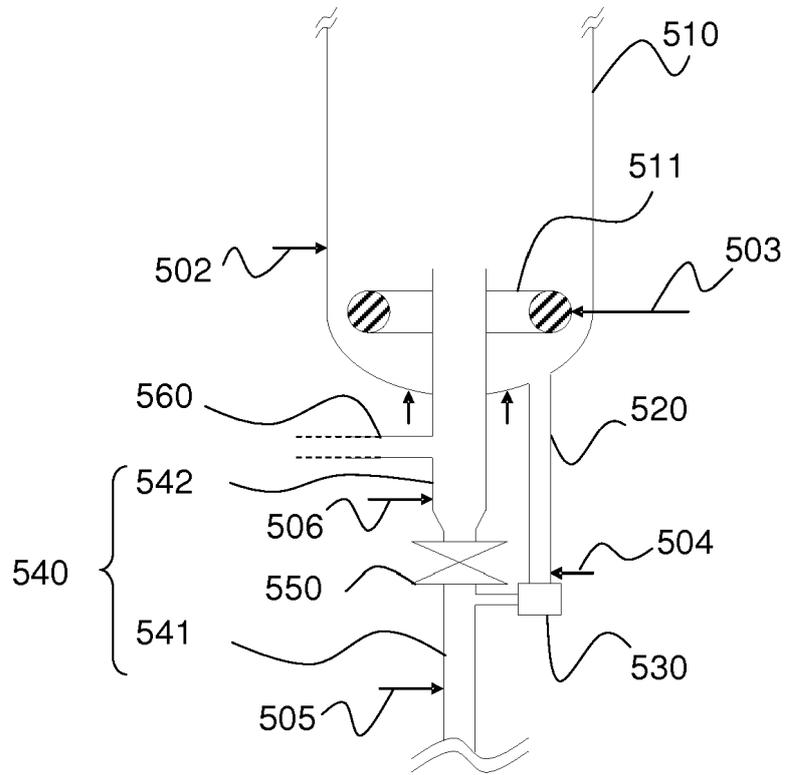


FIG. 5