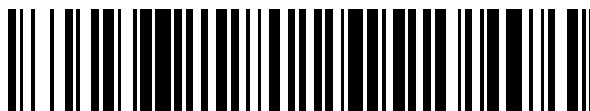


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 010**

51 Int. Cl.:

**F23C 10/04** (2006.01)

**F23C 10/08** (2006.01)

**F23C 10/28** (2006.01)

**F22B 31/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.01.2012 PCT/FI2012/050057**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.08.2012 WO12101324**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.01.2012 E 12739862 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019 EP 2668444**

54 Título: **Método para potenciar el funcionamiento de reactor de masa circulante y reactor para llevar a cabo tal método**

30 Prioridad:

**24.01.2011 FI 20110017**

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

**18.06.2019**

73 Titular/es:

**ENDEV OY (100.0%)  
Mannerheimintie 20B  
00100 Helsinki, FI**

72 Inventor/es:

**RUOTTU, SEPPO**

74 Agente/Representante:

**ARIZTI ACHA, Monica**

ES 2 717 010 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**

Método para potenciar el funcionamiento de reactor de masa circulante y reactor para llevar a cabo tal método

**5 Objeto de la invención**

La invención se refiere a un método para potenciar el funcionamiento de un reactor de masa circulante, reactor de masa circulante en el que al menos una parte del calor contenido por los gases de escape formados en el reactor de masa circulante se transfiere al material fluidizado dispuesto para circular en el reactor de masa circulante, y reactor de masa circulante que comprende una cámara de lecho fluidizado, en la parte inferior de la cual se proporciona un lecho fluidizado que contiene material fluidizado, medios para separar material fluidizado de los gases de escape, y un sistema de conducto de retorno, a través del cual puede devolverse el material fluidizado a la cámara de lecho fluidizado y que incluye al menos un conducto de retorno enfriado, en el que una parte de la energía calorífica contenida por el material fluidizado que pasa a través del mismo se transfiere al líquido de transferencia de calor que circula en el reactor de masa circulante por medio de intercambiadores de calor equipados en los conductos de retorno. La invención también se refiere a un reactor de masa circulante para llevar a cabo el método.

**Técnica anterior**

20 El efecto de estabilización y equilibrado de partículas sólidas sobre la temperatura de gases de escape en tecnología de combustión ya se ha usado ampliamente en reactores de lecho fluidizado desde hace décadas. En reactores con capas fluidizadas, también denominados reactores de lecho fluidizado, se suministra aire de combustión desde la parte inferior del horno a través de un lecho de arena formado en la parte inferior de la cámara de combustión. El combustible suministrado al horno se mezcla con la ayuda del aire de combustión con el lecho de arena que actúa a modo de burbujeo, en el que se seca y produce la ignición. El mezclado continuo del combustible con la arena del lecho fluidizado, aire de combustión y ceniza potencia el mezclado y la transferencia de calor y gases. Además, el material de arena en el lecho fluidizado absorbe calor, equilibrando por tanto las temperaturas durante el proceso de combustión y al mismo tiempo potencia la ignición del combustible.

30 Los reactores con capas fluidizadas se refieren a reactores tanto de lecho fluidizado como de lecho fluidizado circulante. Por otro lado, el concepto de reactor cubre tanto los reactores simples, en los que la transferencia de calor real al portador de calor no se lleva a cabo en los mismos, como a calderas de vapor, en las que el calor generado se transfiere junto con la caldera al agua o líquido de transferencia de calor correspondiente que circula en la caldera. Sin embargo, a continuación, no se pretende necesariamente que el término "caldera" limite cada objeto en cuestión para que se refiera simplemente a soluciones de caldera de vapor.

Especialmente en reactores de lecho fluidizado circulante, el objetivo es ajustar la velocidad de flujo de gas en la parte inferior de la cámara de reacción esencialmente vertical entre la velocidad de flujo de gas mínima para fluidizar el material fluidizado y la velocidad de flujo de gas para el transporte. Normalmente, el objetivo es que los sólidos en forma de polvo, que están en un estado fluidizado, es decir, el material fluidizado, tengan una fracción en volumen del 10-40%. Resulta característico del estado fluidizado del material fluidizado que la velocidad instantánea del material fluidizado varíe entre por debajo y por encima de cero debido a la variación de la velocidad instantánea del gas tanto en cuanto al tiempo como a la posición a ambos lados del promedio en el tiempo. Como resultado, también se transporta material fluidizado por encima del lecho fluidizado real.

45 Por encima del lecho fluidizado se usa generalmente una velocidad de gas mayor que la velocidad crítica del transporte neumático de material fluidizado. En ese caso, el material fluidizado se descarga con el flujo de gas desde la cámara de combustión. Si la fracción en volumen del material fluidizado dentro del área de transporte neumático de la cámara de combustión es pequeña, en cuyo caso el flujo de material fluidizado que se descarga desde la cámara de combustión también es bajo, el reactor se denomina reactor de lecho fluidizado con burbujeo. El término generalmente usado es una caldera de lecho fluidizado (FBB), cuando la arena del lecho fluidizado permanece principalmente en el propio lecho y en el espacio de gas inmediatamente por encima del mismo.

50 En una caldera de lecho fluidizado circulante (CFB), es decir, un reactor de masa circulante, la velocidad de gas se dimensiona, en vez de eso, de tal manera que una parte significativa de las virutas de arena que actúan como partículas portadoras de calor se barre hacia arriba desde el lecho fluidizado con el flujo de gas y se descarga desde la cámara de reacción. El flujo de material se devuelve a la cámara de reacción por medio de un ciclón u otro aparato de retorno.

60 A partir del documento US 4755134 se conoce un reactor de lecho fluidizado circulante que comprende un separador de partículas que tiene una cámara de vórtex horizontal.

**Problemas relacionados con la técnica anterior**

Siempre que se fluidiza o se transporta material fluidizado en un flujo de gas ascendente, se forma un gradiente de presión vertical en el flujo de gas de tal manera que la presión disminuye en el sentido vertical. El valor absoluto del gradiente de presión en el flujo de gas es directamente proporcional a la fracción en volumen del material fluidizado.

5 Por otro lado, en el sentido horizontal, el gradiente de presión es esencialmente cero. Cuando no se forma ninguna diferencia de presión de mantenimiento de la velocidad horizontal en el gas en dicho estado de flujo, la componente de velocidad horizontal del gas suministrado desde aberturas de alimentación en la pared de la cámara de reactor disminuye rápidamente debido al efecto de fricción entre el material fluidizado y el gas. El flujo de gas inicialmente horizontal se vuelve por tanto vertical. Debido a esto, en reactores de lecho fluidizado, el aire de combustión  
10 suministrado desde las paredes se mezcla mal con el flujo principal vertical con bajo contenido en oxígeno.

Dado que, al mismo tiempo, el control de la temperatura de gas requiere una fracción en volumen significativa de material fluidizado en la cámara de reacción en su conjunto, los requisitos de buen mezclado horizontal y buen control de temperatura son mutuamente contradictorios de manera irreconciliable en todos los reactores de lecho  
15 fluidizado. Dicha contradicción es de hecho un problema inevitable y fundamental de los reactores de combustión basados en tecnología de lecho fluidizado.

El problema del mal mezclado horizontal se refiere especialmente al gas formado como resultado de la degradación térmica de combustible en el lecho fluidizado. Se descarga desde el lecho fluidizado en las proximidades de los  
20 medios de suministro de combustible como un chorro vertical de bajo contenido en oxígeno que apenas se mezcla con el aire de fluidización. Una desventaja funcional de reactores de lecho fluidizado con burbujeo es en particular que, especialmente con combustibles húmedos en polvo que contienen una abundancia de compuestos evaporables, la combustión se desplaza de manera excesiva al área por encima del lecho fluidizado, en la que solo hay una pequeña cantidad de material fluidizado que impide que aumente la temperatura. Como resultado, la  
25 temperatura en la parte superior de la cámara de combustión aumenta de manera excesiva y la temperatura en el lecho fluidizado permanece demasiado baja, lo cual puede dar como resultado que se quema ceniza en la parte superior de la cámara de combustión y/o la extinción de la cámara de combustión.

En reactores de lecho fluidizado con burbujeo, también se hace frente a problemas con el control de temperatura si  
30 el combustible tiene un tamaño de partícula grueso y solo contiene una pequeña cantidad de compuestos evaporables, en cuyo caso la combustión tiene lugar principalmente en el lecho fluidizado. Entonces un aumento excesivo de la temperatura del lecho fluidizado se convierte en un problema. Por los motivos anteriores, en un dispositivo de combustión basado en un lecho fluidizado con burbujeo solo puede quemar el tipo de combustibles con los que dichos problemas pueden controlarse, lo cual impide o restringe el uso de combustibles más  
35 económicos. Un mal control del proceso de combustión también aumenta los costes de monitorización y mantenimiento de la caldera y provoca costosas interrupciones de uso.

En la publicación US 5257585 se da a conocer una solución que tiene el objetivo de eliminar el problema de mezclado entre gas sin quemar procedente de reactores de lecho fluidizado con burbujeo y oxígeno. En la misma,  
40 en el centro de una cámara de combustión vertical está dispuesta una estrangulación que disminuye la sección transversal horizontal de la cámara de combustión, con lo cual puede considerarse que la cámara de combustión está dividida en dos secciones superpuestas. Por medio de la estrangulación, el objetivo es guiar los flujos de gas de tal manera que se mejora el mezclado en la sección superior. Aunque las concentraciones de compuestos sin quemar en el gas que se descargan desde el reactor pueden reducirse por tanto por medio de la invención, sin embargo, esta no resuelve las desventajas fundamentales anteriormente mencionadas de reactores de lecho  
45 fluidizado con burbujeo.

Por otro lado, en reactores de masa circulante, el objetivo ha sido reducir dichos problemas de reactores de lecho fluidizado con burbujeo aumentando de manera deliberada la fracción en volumen de material fluidizado en la parte superior de la cámara de combustión, con lo cual el material fluidizado que escapa de la cámara de combustión tiene que devolverse al lecho fluidizado. Entonces tienen que añadirse dispositivos de separación y retorno al reactor. Los problemas de control de temperatura de reactores de lecho fluidizado con burbujeo pueden evitarse cuando funcionan cerca de la producción nominal, siempre que el flujo de masa circulante de material fluidizado sea suficiente.  
50

En reactores de masa circulante, la velocidad de gas preferible calculada según la sección transversal horizontal es normalmente de 5-6 m/s. Esto significa que ya con cargas parciales del 50%, el flujo de masa circulante disminuye hasta un nivel insignificante y el reactor de masa circulante comienza a funcionar como reactores de lecho fluidizado con burbujeo, con los problemas anteriormente mencionados.  
55

Dado que en reactores de masa circulante también tiene que permitirse una fracción en volumen significativa de material fluidizado en la parte superior de la cámara de combustión para equilibrar diferencias de temperatura, el mal mezclado horizontal de gas en la cámara de combustión del reactor de masa circulante se convierte en un problema. Como en reactores de lecho fluidizado con burbujeo, el problema de mezclado se enfatiza cuando se queman  
60

combustibles que contienen una abundancia de fracciones finas y/o compuestos evaporables.

Además, resulta característico en ambos tipos de reactores anteriormente mencionados que, en los mismos, las temperaturas están determinadas en la práctica únicamente por la calidad y cantidad del combustible sin que sea posible afectar a las mismas esencialmente mediante medidas de ajuste. Especialmente cambios en la humedad, que son típicos de las biomásas, provocan problemas tanto en calderas de lecho fluidizado con burbujeo como en calderas de masa circulante.

Su desventaja fundamental conjunta adicional es que el enfriamiento del horno tiene lugar por medio de superficies de transferencia de calor, mediante lo cual las superficies de pared enfriada de la cámara de combustión, normalmente usada para evaporar el agua en circulación, provocan una pérdida de calor no controlable. Esto aumenta significativamente el valor calorífico efectivo más bajo permisible del combustible usado, lo que limita la gama de combustibles que pueden usarse en la caldera, es decir, la flexibilidad de combustibles.

Otra desventaja fundamental conjunta de dichos reactores es que, en los mismos, las superficies de transferencia de calor, especialmente el supercalentador, entran en contacto directo con los compuestos corrosivos de la ceniza de combustible. Para reducir la corrosión de los supercalentadores, tiene que limitarse la temperatura del vapor supercalentado, como resultado de lo cual disminuye el suministro eléctrico de la central eléctrica. También en este aspecto las biomásas, entre otros, resultan problemáticas. Con los tipos de caldera actuales, tienen que usarse combustibles sulfurados adicionales (en Finlandia habitualmente turba) cuando se quema biomasa para proteger los supercalentadores frente a la corrosión por ceniza. Dichas desventajas son particularmente problemáticas cuando se queman materiales clasificados como deshechos.

Un problema adicional implicado en el enfriamiento directo de los hornos de calderas CFB es que tiene que realizarse un mal compromiso entre la altura del horno y el transporte del material fluidizado, y que la densidad de potencia ( $MW/m^3$ ) del horno sigue siendo baja, lo cual hace que el horno sea innecesariamente grande y caro. Como resultado del compromiso, el horno se hace alto y la circulación de material fluidizado requerida solo puede mantenerse cerca de la producción nominal. Otra desventaja de las calderas CFB es que el separador externo y el conducto de retorno equipados junto con el horno aumentan significativamente el requisito de espacio y precio de la caldera.

Para mejorar el control de temperatura de reactores de masa circulante, se han realizado propuestas de conectar diversos intercambiadores de calor junto con los conductos de retorno del material circulante. Además, soluciones equipadas en los conductos de retorno del material circulante se han basado en tecnología de lecho fluidizado lo cual ha provocado varios problemas, que se enumeran a continuación.

En primer lugar, un problema fundamental de intercambiadores de calor equipados en los conductos de retorno de material circulante en reactores de masa circulante es el flujo de masa circulante insuficiente de material fluidizado. Este problema se debe a la incompatibilidad inevitable en cámaras de combustión verticales entre el tiempo de retardo requerido por la combustión y los requisitos establecidos por el transporte de material circulante. Dicho problema se vuelve particularmente abrumador cuando la caldera tiene que usarse a carga parcial, es decir, con producción de potencia parcial.

En segundo lugar, aunque pueda hacerse que los intercambiadores de calor anteriormente mencionados equipados en los conductos de retorno funcionen de manera satisfactoria cerca de la producción nominal, no eliminarán la limitación de las superficies de transferencia de calor equipadas en el horno para el valor calorífico efectivo más bajo permisible del combustible usado en la caldera. Las superficies de enfriamiento equipadas en la cámara de combustión limitan inevitablemente la flexibilidad de combustibles de la caldera y son propensas a ensuciamiento, desgaste y corrosión.

Además, un enfriador de lecho fluidizado como tal es caro y complejo desde un punto de vista de equipamiento-técnico y su sistema de tuberías se somete a una erosión extremadamente fuerte. El ajuste del flujo de material circulante también es difícil de llevar a cabo de una manera funcional en los mismos.

Además, el consumo interno del enfriador de lecho fluidizado es alto y el gas de fluidización requerido crea un requisito de calor adicional en el intercambiador de calor. Esto enfatiza adicionalmente el problema de un flujo de material circulante ya insuficiente. Un desafío adicional se presenta por el hecho de que el gas de fluidización en los intercambiadores de calor equipados en los conductos de retorno debe alejarse del intercambiador de calor de tal manera que no dificulte esencialmente el funcionamiento del separador de partículas.

Por los motivos anteriores, entre otros, generalmente ha sido necesario prescindir de los intercambiadores de calor de lecho fluidizado sensibles desde el punto de vista de proceso-técnico equipados en los conductos de retorno de reactores de masa circulante.

En la publicación US 4672918 se da a conocer una idea para mejorar el control de temperatura en un reactor de masa circulante. Dicho reactor se basa en una cámara de combustión enfriada de manera recuperativa conocida como tal. En el mismo, la masa circulante se divide en dos conductos de retorno paralelos, uno de los cuales comprende superficies de transferencia de calor. Incluso en el mejor de los casos, dicha solución solo puede proporcionar una mejora parcial con respecto al control de temperatura de reactores de masa circulante. Sin embargo, no elimina o disminuye las otras desventajas fundamentales de reactores de masa circulante descritas anteriormente.

Según la publicación, el flujo de masa circulante en un conducto de retorno enfriado en el conducto de retorno se ajustará mediante un dispositivo mecánico equipado en la parte superior del conducto de retorno. Esto conducirá a numerosos problemas. En primer lugar, un accionador mecánico se somete a desgaste y corrosión intensos. En segundo lugar, la velocidad de masa circulante en caída libre llegará a ser alta, lo cual provocará un rápido desgaste de las superficies de transferencia de calor. Además, para que sea posible que quepa una cantidad de superficie de transferencia de calor significativa desde el punto de vista del control de temperatura en el conducto de retorno, la sección transversal del conducto de retorno enfriado debe ser grande. Entonces, el flujo de gas que pasa a través del conducto de retorno hasta el ciclón aumentará hasta proporciones problemáticas y los compuestos de ceniza transportados junto con el gas provocarán la corrosión de las superficies de transferencia de calor, especialmente del supercalentador. En la práctica no será posible dividir la masa circulante de manera suficientemente uniforme a lo largo de la sección transversal del enfriador. Incluso en el mejor de los casos, el dispositivo de enfriamiento según la invención sólo funcionará cuando funcione con cargas parciales de más del 50%, porque con producciones menores no habrá suficiente material circulante en el conducto de retorno enfriado.

Sin embargo, una desventaja aún mayor de la solución dada a conocer en la publicación US 4672918 es que se equipan superficies de transferencia de calor en el horno del reactor. De manera inevitable, reducen la flexibilidad de combustibles, especialmente con cargas parciales. Tal como se desprende, por ejemplo, de la figura 1, las paredes del horno se implementan como estructuras de panel enfriado, lo que indica que se pretende que el enfriamiento del reactor tenga lugar principalmente a través de las superficies de pared del horno. Dicha solución no resuelve de ninguna manera los problemas esenciales y fundamentales mencionados anteriormente de control de la combustión. Además, el reactor según la publicación dará como resultado una construcción cara que requerirá mucho mantenimiento.

En las solicitudes de patente FI20031540 y WO2009022060 se da a conocer un reactor de masa circulante de simetría esencialmente axial, a continuación en el presente documento reactor de CTC (combustión a temperatura constante), en el que en dos o más conductos de retorno de material fluidizado paralelos se equipa un enfriador de circulación intermedio recuperativo, a partir del material circulante que vuelve desde el cual se transfiere calor a un líquido, vapor o gas. En enfriadores de circulación intermedios, el material circulante está en un estado compactado en el intercambiador de calor y por medio de un enfriador de circulación intermedio, el enfriamiento del reactor se ajusta como el valor de temperatura de ajuste en un punto elegido en el reactor. La temperatura inicial del flujo que recibe el calor se ajusta por medio de otros enfriadores de circulación intermedios.

En un reactor de CTC, la combustión y el transporte del material circulante tiene lugar en la misma cámara de combustión vertical y, por tanto, con el fin de limitar la altura del reactor, tiene que realizarse un mal compromiso entre un tiempo de retardo suficiente desde el punto de vista de combustión y la velocidad de gas requerida por el transporte del material circulante. Con el fin de obtener un flujo de sólidos suficiente incluso dentro de un intervalo de carga parcial razonable, el tiempo de retardo de las partículas de combustible en el conducto de subida equipado en el centro del reactor de CTC después de la cámara de combustión tiene que limitarse a un nivel insuficiente para la combustión.

Por tanto, un requisito previo para el funcionamiento satisfactorio de un reactor de CTC es que puede hacerse que la combustión tenga lugar casi completamente antes del ciclón. El desplazamiento de combustión al interior de la cámara de ciclón dará como resultado un aumento perjudicial de la temperatura de gas, porque en ese lugar la fracción en volumen de material fluidizado es aproximadamente cero. La energía térmica procedente de la poscombustión transferida al ciclón tampoco está disponible para mantener la temperatura en la cámara de combustión del reactor. Esto da como resultado una limitación de la flexibilidad de combustibles; especialmente la combustión autógena de materiales húmedos que provocan una poscombustión intensa no puede llevarse a cabo en reactores de CTC, aunque el valor calorífico del material lo permita. La poscombustión en el ciclón también aumenta los costes de mantenimiento de las estructuras del reactor y acorta su vida útil. Este problema se empeora por la estructura de simetría axial del reactor de CTC, debido a lo cual el gas que contiene coque e hidrocarburos producido en las proximidades de los medios de suministro de combustible como resultado de la degradación térmica del combustible y el gas oxigenado distribuido uniformemente a lo largo de toda la base de boquilla se mezclan mal antes del conducto de subida. Aunque en un reactor de CTC la transferencia de calor puede ajustarse próxima a la producción nominal y se han resuelto los problemas de ensuciamiento y corrosión de los supercalentadores, la desventaja anteriormente mencionada de un reactor de CTC es que el horno tiene que diseñarse como un compromiso de los requisitos incompatibles del proceso de combustión y el enfriamiento

adiabático. La separación en una única etapa de material de fluidización también puede considerarse una desventaja de los reactores de CTC, dado que la gran fracción en volumen del gas que entra en el ciclón provoca la erosión de las estructuras y aumenta la penetración de sólidos. Un problema con la estructura del reactor de CTC es también el conducto de subida, que es difícil de implementar en forma enfriada, especialmente en reactores  
5 pequeños, y que, cuando no se enfría, especialmente cuando se queman sustancias que contienen cenizas corrosivas, aumenta los costes de servicio y mantenimiento del reactor.

Tras el aumento del precio de los combustibles fósiles, sería rentable que las centrales eléctricas usaran los combustibles de mala calidad disponibles, pero esto no es posible por los motivos anteriores.

10 **Propósito y solución de la invención**

El objetivo de la invención es proporcionar una solución por medio de la cual puedan disminuirse o evitarse completamente las deficiencias anteriormente mencionadas de la técnica anterior, las más significativas de las  
15 cuales son la flexibilidad insuficiente de combustibles y la corrosión de los supercalentadores. Un objetivo adicional de la invención es reducir el tamaño y los costes de fabricación de reactores de masa circulante.

Las características del método según la presente invención para lograr este objetivo se dan a conocer en la reivindicación 1. El reactor de masa circulante para implementar el método según la invención se da a conocer en la  
20 reivindicación 6. Además, en las reivindicaciones dependientes se dan a conocer realizaciones preferidas de la invención.

Los problemas de los reactores de CFB y reactores de CTC descritos anteriormente se deben básicamente al hecho de que tienen como objetivo llevar a cabo la combustión, el enfriamiento y el transporte de la masa circulante en la  
25 misma cámara de combustión esencialmente vertical, lo cual da inevitablemente como resultado un mal compromiso con las desventajas descritas anteriormente.

La presente invención elimina esencialmente las desventajas de los dispositivos y métodos de combustión conocidos descritos anteriormente. Es decir, para evitar las deficiencias descritas anteriormente, el proceso de  
30 combustión, el transporte de las partículas portadoras de calor que actúan como partículas portadoras de calor del material fluidizado y el enfriamiento del horno, se han dispuesto ahora como funciones separadas independientes unas de otras. Para lograr esto, el horno de reactor, en el que tiene lugar la oxidación del combustible de manera esencialmente completa, se divide en dos cámaras de combustión separadas, una inferior y una superior, de tal  
35 manera que se logra el mezclado eficiente y un tiempo de retardo suficiente en las mismas.

La función principal de la cámara de combustión inferior es la ignición y el mezclado, y la de la cámara de combustión superior es completar la combustión. El propósito del conducto de subida que conecta las cámaras de combustión es únicamente levantar el flujo de material fluidizado requerido para el enfriamiento adiabático de las  
40 cámaras de combustión desde la cámara de combustión inferior hasta la cámara de combustión superior. El enfriamiento de las cámaras de combustión tiene lugar de manera adiabática, por medio de material fluidizado enfriado fuera de las cámaras de combustión, mediante lo cual no se necesita poner ninguna superficie de transferencia de calor que se ensucia, desgasta y corroe en las cámaras de combustión y la temperatura de las cámaras de combustión puede controlarse regulando el flujo del material fluidizado enfriado.

En el sentido de la construcción, la invención se caracteriza porque, por un lado, la cámara de combustión inferior y superior y, por otro lado, los dispositivos separadores para separar el material fluidizado y los conductos de retorno del material fluidizado están posicionados en capas, una encima de otra, de tal manera que la cámara de combustión inferior es la más baja, encima de la misma y en paralelo entre sí están los conductos de subida y la  
45 entidad compuesta por el aparato separador y los conductos de retorno, y la más superior es la cámara de combustión superior. De esta manera, se logra una construcción ventajosa y particularmente compacta desde el  
50 punto de vista de la técnica de fabricación.

El enfriamiento suficiente de los gases de combustión, y finalmente de los gases de escape, en el espacio de combustión tiene lugar esencialmente de manera adiabática por medio de partículas portadoras de calor. Por tanto, en relación con las cámaras de combustión no se proporcionan superficies de transferencia de calor, al menos no en  
55 ningún grado esencial, sino que las cámaras de combustión, así como el conducto de flujo entre las mismas, se protegen frente al desgaste y frente al enfriamiento perjudicial para la flexibilidad de combustibles lo más preferiblemente mediante pulverización delgada. La transferencia de calor fuera del sistema tiene lugar esencialmente desde el material fluidizado separado de los gases de escape a un medio que fluye en  
60 intercambiadores de calor equipados en los conductos de retorno de la masa circulante, siendo dicho medio habitualmente agua y/o vapor de agua. También puede transferirse calor a un gas o polvo.

Dado que en la disposición según la invención no se necesita realizar ningún requisito técnico referente a la combustión o intercambio de calor en el conducto de subida, ahora puede dimensionarse únicamente en cuanto a

los requisitos de transporte de las partículas portadoras de calor. La velocidad de flujo del gas en el conducto de subida puede dimensionarse libremente de tal manera que el flujo de material fluidizado determinado por los requisitos de enfriamiento adiabático puede mantenerse también con bajas cargas parciales.

**5 Las ventajas logradas con la invención**

Por medio de la disposición según la invención se logra una máxima flexibilidad de combustibles y las superficies de transferencia de calor requeridas para enfriar el reactor se protegen frente al ensuciamiento, desgaste y corrosión. El reactor de masa circulante que aplica la idea de la invención también es estructuralmente tanto muy sencillo como particularmente compacto y por tanto también económico de fabricar.

Más de las ventajas proporcionadas por la solución según la invención se desprenderán a partir de las siguientes realizaciones preferidas de la invención.

**15 Lista de figuras**

La invención se describe en más detalle a continuación con referencia a los dibujos, en los que:

la figura 1 muestra una vista en sección del reactor de masa circulante según la invención, tal como se observa desde el lado,

la figura 2 muestra el reactor de masa circulante de la figura 1 como sección transversal longitudinal a lo largo de la línea A-A,

la figura 3 muestra el reactor de masa circulante de la figura 1 como vista en sección transversal desde arriba, a lo largo de la línea B-B, y

la figura 4 muestra el reactor de masa circulante de la figura 1 como vista en sección transversal desde arriba, a lo largo de la línea C-C de la figura 2.

**Lista de números de referencia**

El método según la invención para quemar combustible en un reactor de masa circulante puede implementarse por medio del dispositivo según la realización mostrada en las figuras 1-4, cuyos números de referencia se enumeran a continuación:

	Reactor de masa circulante	1
	Cámara de aire de fluidización	2
40	Boquillas de distribución para aire de fluidización	3
	Medios de suministro de aire secundarios	4
45	Cámara de aire secundaria	5
	Boquillas de distribución de aire para cámara de aire secundaria	6
	Medios de suministro de combustible	7
50	Cámara de lecho fluidizado	8
	Espacio de combustión superior y cámara de mezclado comprendida en la cámara de combustión inferior	9
55	Conducto de subida	10
	Cámara de combustión superior, es decir, posterior	11
	Entrada de separador	12
60	Deflector de aire de separador	13
	Parte superior de sistema de conducto de retorno	14

## ES 2 717 010 T3

	Conducto de retorno de evaporación	15
	Conducto de retorno de supercalentamiento	16
5	Accionadores de conducto de retorno de evaporación	17
	Accionadores de conducto de retorno de supercalentamiento	18
	Conducto de retorno no enfriado	19
10	Cámara de remolino de separador	20
	Tubería central	21
15	Estructuras de soporte de carga	22
	Aislantes térmicos	23
	Material fluidizado	80
20	Primera cámara de combustión	89
	Lecho fluidizado	108
25	Abertura de alimentación de conducto 10 de subida	110
	Intercambiadores de calor de supercalentador	115
	Intercambiadores de calor de evaporador	116
30	Separador	120
	Flujo de aire primario a través del lecho fluidizado	138
35	Flujo de aire primario	153
	Flujo de aire secundario	156
	Flujo a través del conducto de subida	160
40	Trayectoria de flujo principal prevista en la cámara 11 de combustión superior	166
	Remolino de gas de escape y suspensión de material fluidizado en cámara de separador	170
45	Gases de escape fuera del separador	171
	Trayectoria preferida de material fluidizado a través de la cámara de separador	180
	Trayectoria de gases de escape y suspensión de material fluidizado	189
50	Capa límite de cámara de combustión superior y espacio intermedio	201
	Capa límite de cámara de combustión inferior y espacio intermedio	202
55	Zona de espacio intermedio	203
	Desbordamiento de material fluidizado más allá de los conductos de retorno enfriados	280

### **Descripción detallada de la invención**

60 La figura 1 muestra un reactor 1 de masa circulante que comprende, según la técnica anterior, una cámara 2 de aire de fluidización y boquillas 3 de distribución para aire de fluidización dispuestas en la misma, a través de las cuales se sopla aire primario al interior de la cámara 8 de lecho fluidizado a través de un lecho 108 fluidizado dispuesto en su parte inferior. Se suministra aire secundario a través de una cámara 5 de aire secundario, a través de boquillas 6



de distribución de aire, a una zona 9 de combustión por encima del lecho 108 fluidizado. El suministro de combustible tiene lugar desde el extremo de la cámara 8 de lecho fluidizado, a través de unos medios 7 de suministro de combustible adecuados. Como combustible puede usarse cualquier material conocido basado en combustibles tanto fósiles como renovables y sus mezclas. El reactor de masa circulante puede usarse para calentar, evaporar, así como supercalentar un líquido de transferencia de calor dispuesto para fluir en circulación de

5 líquido de transferencia de calor (no mostrado) dispuesto para circular a través del mismo, para precalentar aire de combustión y generalmente para otros usos conocidos de un reactor de combustión.

El flujo de gases de escape y material fluidizado que se descarga desde la cámara 11 de combustión se guía por último a un separador, en el que el material fluidizado se separa de los gases de escape. El material fluidizado se devuelve a la cámara 8 de lecho fluidizado y los gases de escape se retiran del reactor a través de los medios 21. La figura 1 muestra además, entre otras cosas, estructuras 22 de soporte de carga y ajustes 23 de aislamiento.

10

A continuación se comentan en más detalle las características fundamentales de la invención, específicamente por medio de los problemas descritos anteriormente como problemas de reactores de masa circulante y que la invención tiene como objetivo resolver. Además de los problemas de transportar material fluidizado, los desafíos comunes de los reactores de combustión y al mismo tiempo los problemas que deben resolverse se refieren a los requisitos previos de un buen control de la combustión presentados a continuación desde el punto de vista tecnológico tanto de calentamiento como de flujo:

15

1) posibilidad de ajustar el enfriamiento de la cámara o cámaras de combustión basándose en una calidad de combustible y producción de reactor de combustión variables, es decir, carga parcial,

20

2) con reactores de fluidización, la posibilidad de mantener la fracción en volumen de partículas portadoras de calor requeridas para estabilizar la temperatura en la cámara de combustión también con producciones parciales, y

25

3) mezclado eficiente de combustible y oxígeno en la cámara de combustión y tiempo de retardo suficiente para la combustión de las partículas.

30

A partir del requisito del punto 1) se desprende que el enfriamiento de la cámara de combustión no puede basarse en intercambio de calor por radiación y convección directa desde gas y partículas portadoras de calor a superficies de enfriamiento equipadas en la cámara de combustión sin reducir la flexibilidad de combustibles del reactor. Una característica fundamental del método de combustión según la invención se refiere específicamente a este problema.

35

La invención se caracteriza, en primer lugar, porque los espacios implicados en la combustión, es decir, la cámara 89 de combustión inferior con la cámara 8 de lecho fluidizado y la zona 9 de combustión por encima de la misma, el conducto 10 de subida, la cámara 11 de combustión y preferiblemente también el dispositivo 120 separador usado para la separación de material fluidizado con la cámara de separación permanecen esencialmente sin enfriar, dicho de otro modo, el flujo en los mismos tiene lugar de manera adiabática. Por tanto, también es una característica que el control de temperatura en estos espacios se basa en material fluidizado, es decir, en enfriamiento provocado por partículas portadoras de calor. Por otro lado, el enfriamiento de las partículas portadoras de calor no tiene lugar hasta los conductos 15, 16 de retorno de material fluidizado, en los que se lleva a cabo la evaporación y/o el supercalentamiento del agua en circulación u otro agente de transferencia de calor adecuado por medio de los intercambiadores 115, 116 de calor. Por tanto, en dichas partes de reactor no puede tener lugar el contacto directo entre la suspensión y las superficies de transferencia de calor, lo cual provocaría una pérdida de calor del orden de 100 kW/m<sup>2</sup>, reduciendo la flexibilidad de combustibles del reactor.

40

45

Los requisitos establecidos en los puntos 2) y 3) anteriores también son fundamentalmente incompatibles entre sí. La alta velocidad de gas requerida en el punto 2) es inevitablemente incompatible con el tiempo de retardo suficiente requerido en el punto 3). La presente invención también proporciona una solución a este problema. Más específicamente, el proceso de combustión y el transporte de las partículas portadoras de calor se convierten en procedimientos separados independientes uno de otro.

50

El combustible produce la ignición en la cámara 8 de lecho fluidizado y en el espacio 9 de combustión por encima de la misma, el aire de combustión, combustible gasificado y partículas de coque se mezclan de manera eficiente. La cámara 8 fluidizada y el espacio 9 de combustión forman juntos la cámara 89 de combustión inferior. El flujo de gas dirigido claramente hacia arriba de la cámara de lecho fluidizado gira en el espacio 9 de combustión por encima de la misma esencialmente al sentido horizontal hacia el conducto 10 de subida. Los gases y las partículas portadoras de calor se transportan al interior del conducto 10 de subida. La función principal de la cámara 89 de combustión inferior es producir la ignición del combustible y proporcionar un buen mezclado de oxígeno, combustible gasificado y coque. En comparación, por ejemplo, con las disposiciones dadas a conocer en las publicaciones US 4672918 y WO2009022060, la ventaja de la disposición según la cámara 89 de combustión inferior es ahora que se maximiza incluso el tiempo de retardo más corto posible de las partículas de combustible en el lecho fluidizado. La combustión

55

60

se completa en la cámara 11 de combustión superior. Por tanto, el conducto 10 de subida puede dimensionarse ahora únicamente en cuanto a la necesidad de transporte de las partículas portadoras de calor.

5 Dado que los requisitos técnicos de combustión (principalmente el tiempo de retardo) pueden por tanto prácticamente ignorarse en lo que se refiere al conducto de subida, la velocidad de gas en el conducto puede dimensionarse basándose únicamente en que pueda transportarse un flujo de portador de calor suficiente también con una producción parcial, mediante lo cual el flujo de gases de escape, y por tanto también la velocidad de flujo, disminuirán inevitablemente con respecto al flujo de gas con producción nominal.

10 La terminación del proceso de combustión en la cámara 11 de combustión después del conducto 10 de subida se garantiza con su dimensionamiento suficiente.

15 La idea de construcción global de la invención aparece mejor a partir de la figura 1. En lo que se refiere a la estructura global del reactor, el reactor según la invención se caracteriza porque el paso 10 de subida, y por otro lado la entidad formada por el aparato 120 separador y el sistema 15, 16, 19 de conducto de retorno, que conecta la cámara 89, 11 de combustión inferior y superior, están ubicados en vertical esencialmente entre las cámaras de combustión y por tanto al mismo tiempo paralelos entre sí. En una disposición preferible, el separador o la cámara 20 de remolino del dispositivo 120 separador y el sistema 14, 15, 16, 19 de conducto de retorno conectado al mismo esencialmente por la totalidad de su lado inferior en la superficie inferior abierta o parte inferior están equipados en paralelo al conducto 10 de subida esencialmente vertical de tal manera que la cámara 9 de combustión inferior, el sistema 14, 15, 16, 19 de conducto de retorno por encima de la cámara 9 de combustión, la cámara 20 de remolino por encima del sistema de conducto de retorno, y la cámara 11 de combustión forman una construcción esencialmente superpuesta de cuatro capas en dicho orden empezando desde la parte inferior.

25 Cuando la cámara 89 de combustión inferior y la cámara 11 de combustión superior están diseñadas y dimensionadas de tal manera que en conjunto son suficientes para completar la combustión, el conducto 10 de subida que conecta los extremos de las cámaras de combustión se ha realizado mucho más estrecho que la cámara de combustión superior e inferior, mediante lo cual ha sido posible usar el espacio que se ha vuelto disponible entre las cámaras de combustión inferior y superior para ubicar el dispositivo 120 separador que se extiende esencialmente en horizontal y el sistema 15, 16, 19 de conducto de retorno. Esto se ilustra adicionalmente en la figura 1 con bordes imaginarios en principio proporcionados con los números de referencia 201 y 202. Por tanto, el reactor se divide en tres zonas, tras lo cual la zona del espacio intermedio que queda entre el borde 201 en principio entre la cámara 89 de combustión inferior y el espacio intermedio, y de manera correspondiente el borde 202 en principio entre la cámara 11 de combustión superior y el espacio intermedio, entre las cámaras de combustión 203 ahora puede usarse tal como se describió anteriormente para ubicar el conducto 10 de subida y el dispositivo 120 separador y el sistema 15, 16, 19 de conducto de retorno.

40 Además, por medio de la construcción preferida de la cámara de combustión, que usa el flujo bidireccional de gases de escape y material fluidizado, es posible además potenciar el mezclado y reducir el espacio requerido por el reactor de masa circulante en su conjunto, tal como se ilustra por medio de las trayectorias 161 de flujo de suspensión previstas. Una estructura incluso más compacta se obtiene cuando se usa una disposición horizontal para el dispositivo 120 separador, en el que un flujo turbulento formado en una cámara de separador basándose en la fuerza centrífuga avanza alrededor de un árbol que se extiende esencialmente en horizontal.

45 De esta manera se logra una construcción particularmente compacta, que al mismo tiempo tanto hace posible un tiempo de retardo suficientemente largo para los gases de escape como, por otro lado, garantiza una velocidad de flujo de gases de escape suficientemente alta como para garantizar un transporte eficiente y no interrumpido del material fluidizado en todas las situaciones de funcionamiento.

## 50 **Detalles y realizaciones preferidas de la invención**

Anteriormente se describió la idea de funcionamiento fundamental de la construcción según la invención y sus características principales. A continuación se comentan en más detalle dispositivos individuales del reactor de combustión según la invención y al mismo tiempo se dan a conocer más características de las diferentes realizaciones de la invención y las ventajas que provocan. Por tanto, según lo anterior, una realización preferida del método de combustión según la invención comprende básicamente las siguientes etapas principales:

60 1. Suministro de combustible al interior de la cámara 8 de lecho fluidizado y su gasificación en la cámara 8 de lecho fluidizado y su lecho 108 fluidizado.

2. Oxidación parcial o, especialmente con una carga parcial, incluso completa del combustible gasificado en la primera cámara 89 de combustión, que comprende una cámara 8 de lecho fluidizado y preferiblemente un espacio 9 de mezclado y de combustión por encima de la misma.

3. Transporte neumático de gas de combustión y partículas portadoras de calor por medio del flujo de gas de escape en el conducto 10 de subida a la cámara 11 de combustión superior.

5 4. Terminación del quemado especialmente en el caso de una carga parcial como muy tarde en la cámara 11 de combustión.

5. Separación de gas y las partículas portadoras de calor en la cámara 13, 14 de separación.

10 6. Retorno de las partículas portadoras de calor separadas al lecho 8 fluidizado a través de los conductos 15, 16, 19 de retorno.

7. Transferencia de calor absorbido en las partículas portadoras de calor al agua en circulación en los intercambiadores 115, 116 de calor ubicados en los conductos de retorno para este fin.

15 Las funciones principales de la cámara 8 de lecho fluidizado son el transporte horizontal del material 80 portador de calor en polvo procedente de los conductos 15, 16, 19 de retorno en el sentido del conducto 10 de subida y el procesamiento del combustible sólido entrante a través de los dispositivos 7 de suministro para dar gas y partículas de coque pequeñas. En cuanto a la técnica del dispositivo, la cámara 8 de lecho fluidizado es una cámara térmicamente aislada conocida en sí misma, de la manera más preferible esencialmente en forma de un prisma rectangular. El aire de fluidización se transporta a través de boquillas 3 de aire de fluidización equipadas en la parte inferior de la cámara de lecho fluidizado.

25 En la realización mostrada en las figuras 1-4, los dispositivos 7 de suministro de combustible se equipan preferiblemente en el extremo opuesto de la cámara 89 de combustión inferior con respecto al conducto 10 de subida, mediante lo cual se maximiza el tiempo de retardo más corto posible de las partículas de combustible en el lecho 108 fluidizado. El flujo portador de calor que vuelve al lecho fluidizado a través de los conductos 19 de retorno no enfriados se guía lo más preferiblemente a la proximidad inmediata de los dispositivos 7 de suministro de combustible, en los que el consumo de energía térmica es el más alto debido al secado y la degradación térmica del combustible.

30 Una ventaja adicional de esta disposición es que la parte principal del gas producido en la proximidad de los dispositivos 7 de suministro como resultado de la degradación térmica y la fracción fina del combustible se transportan rápidamente desde la cámara 8 de lecho fluidizado hasta el espacio 9 de combustión por encima de la misma. En el mismo, el flujo ya ha girado para dar un flujo esencialmente horizontal. Por tanto, su tiempo de retardo en la cámara 89 de combustión se maximiza y el mezclado con el aire 6 secundario proporcionado junto con el espacio de combustión es lo más eficiente posible. Las boquillas 6 de aire secundario proporcionadas en el espacio 9 de mezclado pueden equiparse de muchas maneras en las superficies interiores del espacio de mezclado. La figura 3 muestra, a modo de ejemplo, una disposición de las boquillas 6 de aire secundario en lados opuestos de la cámara 8 de lecho fluidizado en la parte inferior del espacio de mezclado.

40 En la cámara 8 de lecho fluidizado, la velocidad de fluidización vertical del gas de se establece de tal manera que se obtiene un tiempo de retardo suficiente para las partículas de combustible. El flujo de aire de fluidización requerido por la gasificación completa del combustible es normalmente del 20-30% del flujo de aire global. La superficie en sección transversal del plano horizontal de la cámara 8 de lecho fluidizado se dimensiona de tal manera que la velocidad de gas de fluidización calculada basándose en la misma es de 0,5-1,5 m/s.

50 En el dispositivo de combustión de tipo reactor de masa circulante según la invención, la cámara 89 de combustión inferior está por tanto compuesta por una cámara 8 de lecho fluidizado y por un espacio 9 de mezclado y de combustión equipado de manera preferible inmediatamente por encima de la misma. En el espacio de combustión, la fracción en volumen del material fluidizado es esencialmente menor que en el lecho fluidizado, lo más preferiblemente el 1-5%. Debe observarse que en el conducto 10 de subida, la fracción en volumen del material fluidizado es preferiblemente menor del 1% y en la cámara 11 superior menor del 3%. El espacio 9 de combustión es una cámara térmicamente aislada, esencialmente horizontal, que preferiblemente tiene una sección transversal esencialmente rectangular en el plano vertical, estando la altura de la cámara dimensionada de tal manera que el flujo de gas vertical desde la cámara 8 de lecho fluidizado y el aire desde las boquillas de aire secundario proporcionan una componente de velocidad horizontal significativa en el espacio 9 de combustión hacia el extremo inferior del conducto 10 de subida.

60 La tarea fundamental de la cámara 9 de mezclado es de hecho garantizar el mezclado eficiente del combustible, especialmente gasificado, que sube desde la cámara 8 de lecho fluidizado y el aire secundario antes del conducto 10 de subida.

Aunque la presente solicitud comenta por separado una cámara 8 de lecho fluidizado y una cámara 9 de combustión o de mezclado, la cuestión es, tal como se muestra en la figura 1, preferiblemente de un espacio uniforme, es decir,

de una cámara 89 de combustión inferior que se divide funcionalmente en zonas basándose en la función o funciones especiales dispuestas en las mismas. Por motivos de claridad, la presente solicitud comenta una cámara 8 de lecho fluidizado, en la que está ubicado un lecho 108 fluidizado, y una cámara 9 de combustión o de mezclado, en la que tiene lugar el suministro de aire secundario y su mezclado con los gases de combustión con el fin de  
 5 homogeneizar la mezcla de gas en la cámara de combustión y potenciar el proceso de combustión que tiene lugar principalmente en la cámara 11 de combustión superior.

En la cámara 9 de mezclado, el sentido principal del flujo del gas es por tanto horizontal y, dependiendo de la distribución del aire secundario, la velocidad horizontal del gas aumenta en la cámara 9 de mezclado, cuando se  
 10 avanza desde los dispositivos 7 de suministro de combustible en el sentido del conducto 10 de subida. La velocidad aumenta desde prácticamente una velocidad nula lo más preferiblemente hasta un valor de 5-10 metros por segundo. Con una carga completa, la velocidad puede ser incluso mayor, de hasta 20 m/s, y con una carga parcial correspondientemente inferior, incluso de tan sólo aproximadamente 3 m/s.

En la cámara 9 de mezclado, la presión horizontal es esencialmente constante, lo que significa que la capacidad de penetración de los chorros libres producidos por las boquillas 6 es suficiente para provocar el mezclado eficiente del  
 15 aire secundario y el combustible gasificado que sube desde la cámara de lecho fluidizado. El volumen de la cámara 89 de combustión inferior se dimensiona lo más preferiblemente de tal manera que el volumen específico en la cámara de combustión inferior (volumen/producción), calculado basándose en el valor calorífico efectivo del  
 20 combustible, es lo más preferiblemente de 4,0-0,4 m<sup>3</sup>/MW.

La única función del conducto 10 de subida es transportar un flujo portador de calor suficiente a la cámara 11 de combustión a lo largo de todo el intervalo de producción, y por tanto el conducto de subida puede dimensionarse  
 25 únicamente en una base técnica de flujo. Estructuralmente, este tipo de conducto 10 de flujo es esencialmente un conducto vertical, térmicamente aislado, que tiene una sección transversal con una forma rectangular u otra adecuada, que está dimensionado de tal manera que la velocidad de gas en el conducto de subida con la producción mínima requerida es mayor que la velocidad crítica del transporte neumático de las partículas portadoras de calor. La velocidad de flujo de las partículas portadoras de calor en el conducto de subida se establece para ser  
 30 suficiente para el control de temperatura del proceso de combustión ajustando la cantidad de partículas portadoras de calor en el reactor.

Transportar las partículas portadoras de calor en el conducto 10 de subida requiere que la velocidad del gas a la producción parcial más baja requerida sea mayor que la velocidad de la caída libre de las partículas portadoras de  
 35 calor (velocidad terminal). En la práctica, dicha velocidad terminal es del orden de 2-3 m/s, de modo que si el dispositivo de combustión debe funcionar de la manera prevista, por ejemplo con una producción parcial del 20%, el área de flujo en sección transversal horizontal del conducto de subida debe dimensionarse de modo que la velocidad de gas se establezca a una producción nominal de 10-15 m/s.

En la práctica, el conducto 10 de subida se dimensiona preferiblemente de modo que la razón de la superficie libre promedio de su sección transversal horizontal con respecto a la superficie libre promedio de la sección transversal de la parte 9 superior de la cámara 89 de combustión inferior es menor de 0,5 y lo más preferiblemente  
 40 0,3-0,15. La altura o longitud del conducto de subida se determina mediante los siguientes valores según el resto de la construcción y disposición. Con una producción nominal del conducto de subida, el flujo portador de calor requerido debido a la alta velocidad de gas se logra con una baja pérdida de presión, debido a lo cual se minimiza el  
 45 consumo interno de la caldera.

La función de la cámara 11 de combustión superior es por encima de todo llevar el proceso de combustión tras el conducto 11 de subida a su finalización. Por tanto, su volumen debe dimensionarse de tal manera que los gases  
 50 todavía no quemados y partículas de coque que se transportan desde el conducto 10 de subida hasta la cámara de combustión tengan tiempo para oxidarse completamente en todas las situaciones de carga y con calidad de combustible variable.

Por tanto, la oxidación completa se refiere al nivel normal de oxidación de partículas de combustible que se alcanza generalmente en reactores de combustión y calderas de vapor. Una vez que se ha llevado la combustión  
 55 completamente hasta su finalización, se ha alcanzado un equilibrio termodinámico determinado por los flujos de material suministrados en el espacio de reacción, temperatura y presión, pero en la práctica el equilibrio solo puede aproximarse de manera asintótica en reactores técnicos. Siempre permanecerá una pequeña proporción (menor del 1%) de la cantidad básicamente oxidable de material combustible sin quemar. Por tanto, en el sentido técnico, puede considerarse que la combustión se ha completado cuando la concentración de todos los compuestos del gas  
 60 descargado desde el reactor corresponde a la concentración que cumple con el equilibrio con la precisión requerida, siendo una precisión suficiente en la mayoría de los casos aproximadamente el 1-2%.

Para garantizar la oxidación completa, el volumen de la cámara de combustión superior se dimensiona de tal manera que el tiempo de retardo promedio del gas de escape en la cámara de combustión superior (volumen de

cámara de combustión/flujo de volumen de gas) es lo más preferiblemente de 1,0-3,0 segundos a una producción nominal. En el diseño de cámara de combustión debe garantizarse al mismo tiempo que se transporta un flujo portador de calor suficiente a la producción mínima requerida a través de la cámara de combustión, completamente hasta el dispositivo 120 separador. Si el gas de combustión y las partículas de transferencia de calor se retiran a través de una salida equipada en la parte superior de la cámara 11 de combustión, se hará frente a la incompatibilidad fundamental anteriormente mencionada entre el tiempo de retardo de combustión requerido y el flujo portador de calor después del conducto de subida.

Para evitar esta incompatibilidad, en el dispositivo de combustión según la invención el gas y las partículas portadoras de calor se descargan a través de unos medios 12 equipados en la parte inferior de la cámara 11 de combustión. La cámara de combustión superior se fabrica preferiblemente de tal manera que el flujo puede girar en un sentido esencialmente opuesto con respecto al sentido de suministro antes de descargarse desde la cámara. El flujo de gases de escape y las partículas portadoras de calor desde el conducto 10 de subida se dirigen en primer lugar de manera esencialmente vertical hacia arriba, tras lo cual los sentidos verticales de flujo giran finalmente de manera vertical hacia abajo hacia el dispositivo 120 separador en las partes superiores de la cámara de combustión.

El flujo vertical procedente del conducto 10 de subida se comporta esencialmente como un chorro libre en la cámara 11 de combustión, como resultado de lo cual la presión de gas en la cámara 11 de combustión es esencialmente constante. Por medio de dicha disposición de cámara 11 de combustión se logra un mezclado eficiente de los gases de escape y el material fluidizado, debido a lo cual la oxidación es eficiente y la fracción en volumen y velocidad de flujo de las partículas portadoras de calor siguen siendo suficientes para el control de temperatura del gas en la totalidad de la cámara de combustión.

Además, el tiempo de retardo en la cámara 11 de combustión pasa a ser lo suficientemente largo como para completar la combustión antes de que los gases de escape y el material fluidizado se guíen al dispositivo 120 separador. La cámara 11 de combustión se dimensiona preferiblemente de tal manera que la combustión puede completarse esencialmente en la cámara 11 de combustión antes de los medios 12 de dispositivo separador, de tal manera que con una carga nominal, más del 30% de la energía calorífica generada por la combustión del combustible quemado en el reactor no se libera hasta la cámara 11 de combustión superior. Con una carga parcial el porcentaje es evidentemente menor. Incluso es posible que el combustible se oxide entonces completamente antes de llegar a la cámara 11 de combustión superior.

Otro aspecto esencial de la disposición según la invención es la naturaleza adiabática del flujo de los gases de escape y el material fluidizado. Dicho de otro modo, el enfriamiento de la cámara 89 de combustión, la cámara 11 de combustión superior y el conducto 10 de subida que las conecta tiene lugar principalmente de manera adiabática por medio del material fluidizado que circula en los mismos, que se enfría en los conductos 15, 16 de retorno. La cantidad de calor transferido fuera del sistema, principalmente a través de las paredes, es muy pequeña, normalmente del orden de  $1 \text{ kW/m}^2$ , mientras que en soluciones de cámara de combustión convencionales con intercambiadores de calor es del orden de  $100 \text{ kW/m}^2$ . Las cámaras y el conducto de flujo entre las mismas se dimensionan y aíslan de tal manera que el flujo de calor neto transferido a las paredes de dichas partes de reactor mediante conducción y radiación, entre otras, es menor del 50%, preferiblemente menor del 30% y lo más preferiblemente menor del 10% de la producción de calor requerida, por ejemplo, para mantener la temperatura del gas de escape que se descarga desde el reactor, o del lecho fluidizado, al valor establecido deseado.

La función del dispositivo 120 separador es, por su parte, separar las partículas portadoras de calor de los gases de escape, guiar las partículas separadas al interior de los conductos 15, 16, 19 de retorno y descargar los gases de escape del dispositivo de combustión, por ejemplo, para la recuperación de calor y purificación. El separador 120 de partículas está compuesto preferiblemente por una cámara 20 de separador que se extiende esencialmente en horizontal, en uno o ambos extremos de la cual está equipada una salida 21 de gas.

La entrada 12 preferiblemente rectangular del dispositivo separador está equipada en la parte inferior de la cámara 11 de combustión, preferiblemente de tal manera que el flujo dirigido hacia abajo en la cámara de combustión puede continuar directamente al interior de la cámara 20 de separador. La ventaja de la disposición es que la velocidad del material fluidizado que va a separarse es mayor en los medios 12 que la velocidad del gas. El flujo está dispuesto además preferiblemente de tal manera que el flujo se dirige a través de la entrada en la cámara 20 de una manera esencialmente tangencial. Esto tanto potencia la formación de un flujo turbulento como por otro lado facilita el direccionamiento del flujo de material fluidizado directamente hacia delante a través de la parte inferior abierta de la cámara 20 al interior de la parte 14 superior del sistema de conducto de retorno. La razón de la superficie libre de la abertura que conecta la cámara 20 de remolino con la parte 14 superior del sistema de conducto de retorno con respecto a la sección transversal horizontal más grande de la cámara de remolino es, incluso en su punto más pequeño, preferiblemente mayor de 0,7. Preferiblemente la sección transversal del conducto es esencialmente uniforme.

Por debajo de la entrada de separador puede haber además un deflector 13 de aire adecuado, por medio del cual

puede influirse en la turbulencia esencialmente horizontal que se forma en la cámara 20 de remolino. Según esta realización de la invención, el separador de partículas está caracterizado además porque se equipa junto con el conducto 10 de subida, entre la cámara 11 de combustión superior y los conductos 15, 16, 19 de retorno inferiores, tal como se comentó anteriormente con referencia a la figura 1.

5 Un flujo dirigido hacia abajo de gas y partículas portadoras de calor que llega lo más preferiblemente a una velocidad de 5-15 m/s desde una entrada 12 equipada de manera tangencial en el borde de la cámara 20 de remolino forma una turbulencia fuerte, esencialmente horizontal, en la cámara 20 de remolino horizontal cuando se dirige hacia la salida 21. Debido al efecto de la turbulencia en la cámara de remolino, en la parte inferior de la cámara de separador se forma una turbulencia inductiva de flujo lento separada, en la que las velocidades de flujo son bajas y la parte 14 superior del sistema de conducto de retorno, por tanto, actúa como cámara de sedimentación eficiente.

15 La parte principal de las partículas portadoras de calor procedentes desde la entrada 12 (más del 99%) continúa de hecho su movimiento debido al efecto de la fuerza de inercia y de la gravedad directamente a la parte superior del sistema de conducto de retorno, tal como se ilustra mediante la flecha 180 que representa la ruta. Solo una pequeña parte de las partículas se transportan al interior de la cámara 20 de remolino con el flujo 170 turbulento generado. En la misma se concentran debido al efecto de la aceleración centrífuga sobre las superficies de pared de la cámara 20 de remolino y se transportan desde la misma mediante el efecto de la aceleración de la gravedad y centrífuga desde la parte inferior de la cámara 20 de remolino que está completamente abierta en su lado inferior hasta la parte 14 superior del sistema de conducto de retorno. Las ventajas de la disposición de separador descrita son, entre otras, que la velocidad de las partículas que van a separarse es más alta en la entrada 12 que la velocidad del gas (4-7 m/s más alta), y la superficie en sección transversal completamente abierta de la parte 14 superior de la cámara 20 de remolino, que en conjunto provocan una separación eficiente de las partículas portadoras de calor, lo cual se ha verificado mediante pruebas de modelado de flujo.

25 En la parte 14 superior del sistema de conducto de retorno, el flujo al interior de los conductos 15, 16 de retorno puede controlarse de una manera regulada mediante los accionadores 17, 18 según la cantidad de calor requerida en los intercambiadores de calor. En los conductos 15 de retorno, los intercambiadores 115 de calor que comprenden las superficies de transferencia de calor que evaporan el flujo de material portador de calor en un estado compactado se guían por medio de accionadores 17 equipados en la parte inferior de los conductos de retorno de tal manera que la temperatura del gas permanece a su valor establecido después de la tubería 21 central del separador. De manera similar, en los conductos 16 de retorno, los intercambiadores 116 de calor que comprenden las superficies de transferencia de calor que supercalientan el flujo de material portador de calor en un estado compactado se guían por medio de accionadores 18 equipados en la parte inferior de los conductos de retorno de supercalentamiento de tal manera que la temperatura del vapor supercalentado permanece a su valor establecido.

40 Los conductos 19 de retorno no enfriados actúan preferiblemente como conductos de desbordamiento, mediante lo que esa parte de las partículas portadoras de calor que no se guía de manera intencionada al interior de los conductos 15, 16 de retorno, se guía como flujo autorregulado a través de los conductos 19 de retorno no enfriados directamente al interior de la cámara 8 de lecho fluidizado. También puede usarse control activo con respecto al conducto 19 de retorno no enfriado. Se descargan gases 171 de escape purificados desde el separador 120 a través de la tubería 21 central.

45 Las estructuras 22 de soporte de carga del reactor según la invención se implementan lo más preferiblemente como paneles enfriados de agua y/o vapor estancos al gas. El propósito de los aislantes 23 térmicos del reactor según la invención es a su vez proteger las estructuras de soporte de carga frente al desgaste y la corrosión y limitar el flujo de calor conducido a las mismas para que sea bajo con respecto al requisito de enfriamiento de la cámara de combustión. Los aislantes térmicos pueden implementarse lo más preferiblemente con materiales convencionales, por ejemplo, cerámicos.

50 Aunque anteriormente se describió la invención con referencia a una única realización mostrada en las figuras 1-4, resulta sin embargo evidente que la invención no se limita a esta descripción y estas figuras, sino que pueden concebirse diversas modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Asimismo, las características dadas a conocer en relación con diferentes realizaciones pueden usarse dentro de la idea básica de la invención tal como se define en las reivindicaciones en relación con otras realizaciones y/o las características presentadas pueden combinarse para dar diferentes entidades, si se desea y existen las posibilidades técnicas para ello. Por tanto, cualquier realización de la invención puede llevarse a cabo dentro del alcance de la invención tal como se define por las reivindicaciones. Aunque esta solicitud da a conocer la aplicación de la invención principalmente a reactores de masa circulante, evidentemente también puede usarse en relación con un reactor de lecho fluidizado convencional, así como en otros tipos de caldera de vapor.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para potenciar el funcionamiento de un reactor (1) de masa circulante, reactor (1) de masa circulante en el que al menos una parte del calor contenido por los gases de escape formados en el reactor (1) de masa circulante se transfiere a un material (80) fluidizado dispuesto para circular en el reactor (1) de masa circulante, y reactor (1) de masa circulante que comprende
  - una cámara (8) de lecho fluidizado, en cuya la parte inferior se proporciona un lecho (108) fluidizado que contiene el material (80) fluidizado,
  - medios para separar el material (80) fluidizado de los gases de escape, y
  - un sistema (15, 16, 19) de conducto de retorno, a través del cual puede devolverse el material (80) fluidizado a la cámara (8) de lecho fluidizado y que incluye al menos un conducto (15, 16) de retorno enfriado, en el que una parte de la energía calorífica contenida por el material (80) fluidizado que pasa a través del mismo se transfiere a un líquido de transferencia de calor que circula en el reactor de masa circulante por medio de intercambiadores (115, 116) de calor equipados en los conductos (15, 16) de retorno enfriados,
  - una cámara (89) de combustión inferior, que comprende la cámara (8) de lecho fluidizado, y una cámara (11) de combustión superior, y un conducto (10) de flujo que las conecta, estando el conducto (10) de flujo, los medios para separar el material (80) fluidizado de los gases de escape y el sistema (15, 16, 19) de conducto de retorno dispuestos para ubicarse entre la cámara (89) de combustión inferior y la cámara (11) de combustión superior, al menos principalmente por encima de la cámara (89) de combustión inferior y por debajo de la cámara (11) de combustión superior, estando la cámara (89) de combustión inferior y la cámara (11) de combustión superior dimensionadas de tal manera que la combustión del combustible puede completarse esencialmente antes de la descarga de los gases de escape desde la cámara (11) de combustión,

en el que el tiempo de retardo promedio de los gases de escape en la cámara de combustión superior es lo más preferiblemente de 0,3-3,0 segundos, y en el que el material (80) fluidizado se separa de los gases de escape después de la cámara (11) de combustión superior y se guía de vuelta a la cámara (8) de lecho fluidizado a través de los conductos (15, 16) de retorno enfriados y/o un sistema (19) de conducto de retorno no enfriado en una razón deseada.
2. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque el enfriamiento de la cámara (89) de combustión inferior, la cámara (11) de combustión superior y el conducto (10) de flujo que las conecta tiene lugar principalmente de manera adiabática por medio del material (80) fluidizado que circula en los mismos, enfriándose el material fluidizado fuera de las cámaras de combustión.
3. Método según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque la componente de velocidad horizontal del gas calculada basándose en la sección transversal de flujo de la sección vertical de la cámara (89) de combustión con la carga nominal del reactor (1) de masa circulante está dispuesta para que sea de entre 2-15 m/s, preferiblemente 4-12 m/s, lo más preferiblemente 5-10 m/s.
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en los conductos (15, 16) de retorno, el material (80) fluidizado está dispuesto para fluir en un estado compacto al menos en los intercambiadores (115, 116) de calor.
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la componente de velocidad horizontal de los gases de escape calculada basándose en la sección transversal de flujo de la entrada (12) del separador (120) con la carga nominal del reactor (1) de masa circulante está dispuesta para ser de entre 4-25 m/s, preferiblemente 5-20 m/s, lo más preferiblemente 5-15 m/s.
6. Reactor (1) de masa circulante, en el que al menos una parte del calor contenido por gases de escape formados en el reactor (1) de masa circulante se transfiere a un material (80) fluidizado dispuesto para circular en el reactor (1) de masa circulante, y reactor (1) de masa circulante que comprende
  - una cámara (8) de lecho fluidizado, en una parte inferior de la cual se proporciona un lecho (108) fluidizado que contiene material (80) fluidizado,
  - medios para separar el material (80) fluidizado de los gases de escape, y
  - un sistema (15, 16, 19) de conducto de retorno, a través del cual puede devolverse el material (80)

fluidizado a la cámara (8) de lecho fluidizado y que incluye al menos un conducto (15, 16) de retorno enfriado, en el que una parte de la energía calorífica contenida por el material (80) fluidizado que pasa a través del mismo se transfiere a un líquido de transferencia de calor que circula en el reactor (1) de masa circulante por medio de intercambiadores (115, 116) de calor equipados en los conductos (15, 16) de retorno enfriados

en el que

- para la combustión de un combustible que tiene lugar en el reactor (1) de masa en circulación se proporciona una cámara (89) de combustión inferior, que comprende la cámara (8) de lecho fluidizado, y una cámara (11) de combustión superior, y un conducto (10) de flujo que las conecta,

- el conducto (10) de flujo, los medios para separar el material (80) fluidizado de los gases de escape y el sistema (15, 16, 19) de conducto de retorno están dispuestos para ubicarse esencialmente entre la cámara (89) de combustión inferior y la cámara (11) de combustión superior, por encima de la cámara (89) de combustión inferior y por debajo de la cámara (11) de combustión superior,

- la cámara (89) de combustión inferior y la cámara (11) de combustión superior están dimensionadas de tal manera que la combustión del combustible puede completarse esencialmente antes de la descarga de los gases de escape desde la cámara (11) de combustión,

- estando el reactor (1) de masa circulante adaptado de tal manera que el material (80) fluidizado puede separarse de los gases de escape después de la cámara (11) de combustión superior y guiarse de vuelta a la cámara (8) de lecho fluidizado a través de los conductos (15, 16) de retorno enfriados y/o un sistema (19) de conducto de retorno no enfriado en una razón deseada.

7. Reactor (1) de masa circulante según la reivindicación 6, caracterizado porque, calculado basándose en el valor calorífico efectivo del combustible, el volumen específico de la cámara (89) de combustión inferior es lo más preferiblemente de 2,0-0,3 m<sup>3</sup>/MW.

8. Reactor (1) de masa circulante según la reivindicación 6 ó 7, caracterizado porque la razón de la sección transversal de flujo promedio del conducto (10) de subida con respecto a la superficie libre promedio de la sección vertical transversal de la parte (9) superior de la cámara (89) de combustión inferior está dispuesta para ser menor de 0,5, preferiblemente 0,1-0,4, lo más preferiblemente 0,15-0,3.

9. Reactor (1) de masa circulante según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 6-8, caracterizado porque los dispositivos (7) de suministro de combustible y el extremo (110) del conducto (10) de subida en el lado de cámara (89) de combustión inferior están ubicados esencialmente en lados opuestos de la cámara (89) de combustión inferior.

10. Reactor (1) de masa circulante según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 6-9, caracterizado porque como medio para separar material (80) fluidizado de los gases de escape se proporciona un separador (120), que incluye una cámara (20) de separación que está esencialmente abierta desde su parte inferior.

11. Reactor (1) de masa circulante según la reivindicación 10, caracterizado porque el flujo de gas de escape desde la cámara (11) de combustión superior y las partículas portadoras de calor del material (80) fluidizado se guían hasta el separador (120) de manera esencialmente directa hacia abajo de tal manera que se forma un remolino en la cámara (20) de separador alrededor de un árbol esencialmente horizontal.

12. Reactor (1) de masa circulante según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 6-11, caracterizado porque la entrada (12) del separador (120) rectangular, esencialmente horizontal, del gas de combustión y las partículas portadoras de calor se equipa en la parte inferior de la cámara (11) de combustión.

13. Reactor (1) de masa circulante según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 6-12, caracterizado porque la razón de la superficie libre de la abertura que conecta la cámara (20) de remolino con la parte (14) superior del sistema de conducto de retorno con respecto a la sección transversal horizontal más grande de la cámara de remolino es lo más preferiblemente mayor de 0,7.

14. Reactor (1) de masa circulante según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 6-13, caracterizado porque las boquillas (6) de aire secundarios dirigidas esencialmente hacia arriba en el espacio (9) de mezclado están lo más preferiblemente equipadas en la parte inferior del espacio de mezclado, en lados opuestos de la cámara (8) de lecho fluidizado.



