

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 807 224**

51 Int. Cl.:

F23G 5/00	(2006.01) F23G 5/40	(2006.01)
F23G 5/04	(2006.01)	
F23G 5/30	(2006.01)	
F23G 5/46	(2006.01)	
F23G 7/00	(2006.01)	
F23G 7/10	(2006.01)	
F23L 15/04	(2006.01)	
F23J 15/02	(2006.01)	
F23K 5/18	(2006.01)	
F23D 14/68	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.07.2017** **PCT/EP2017/068825**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.02.2018** **WO18019861**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.07.2017** **E 17749411 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2020** **EP 3491293**

54 Título: **Combustión por etapas**

30 Prioridad:

28.07.2016 DE 102016213954

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

22.02.2021

73 Titular/es:

FLORADRY GMBH (100.0%)
Stahlgruberring 7A
81829 München, DE

72 Inventor/es:

SCHLEDERER, SWANTJE M.;
STEER, THOMAS y
WERNER, HANS

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 807 224 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

Combustión por etapas

La invención se refiere a una combustión por etapas para la combustión de materiales de carga húmeda con una precombustión diseñada como un horno de lecho fluidizado y una poscombustión en la cual el valor calorífico requerido de los materiales de carga es reducido al mínimo por un transmisor de calor.

Estado de la técnica

Las sustancias húmedas de alto contenido orgánico son productos o subproductos de procesos que ocurren frecuentemente en la industria. El objetivo siempre es utilizar estas sustancias para generar energía o, al menos, para reducir al mínimo la cantidad de material que debe ser desechado. En la mayoría de los casos son secados de antemano. Esto se hace especialmente difícil si el secado es una etapa del proceso necesaria para utilizar el material entonces más seco con energía en una etapa posterior, y si el material húmedo sin secado previo no tiene suficiente energía propia para mantener la combustión sin calentamiento externo. Además, las necesidades aumentan si las plantas son más pequeñas en el rango de capacidad. Para tales requisitos, el estado de la técnica a menudo no ofrece ninguna o ninguna solución satisfactoria, sobre todo si ya no pueden operar sin energía de apoyo externa. Esto es especialmente el caso de los lodos, y en este caso en particular, es el caso con los lodos de aguas residuales, y además con los residuos de fermentación.

En los lodos de depuración se presenta el inconveniente de que es posible la deshidratación mecánica con un contenido máximo de sólidos de hasta aprox. 25 %. Por regla general, se requiere un contenido de sólidos de al menos el 40 % para la incineración. Las plantas de incineración utilizadas para este fin no pueden proporcionar el calor necesario para secar los lodos de un 25 % a un 40 % de materia seca, por lo que siempre se requiere calor externo o, expresado más en general, energía externa mediante la combustión de costosos combustibles primarios para mantener el proceso. La temperatura de combustión adiabática de las materias de carga húmedas es demasiado baja para lograr una temperatura suficiente para una combustión limpia.

Para la solución sería necesario transferir el calor de los gases de escape después de una combustión a alta temperatura al aire de combustión antes de entrar en la cámara de combustión para elevar el nivel de temperatura de la misma. Sin embargo, esto no es posible porque los gases de escape después de la combustión suelen ser agresivos y atacarían la superficie metálica de un intercambiador de calor. No es posible el funcionamiento continuo de un intercambiador de calor de este tipo.

La combustión de los sólidos generalmente requiere un exceso de aire relativamente alto, que reduce en forma adicional el calor disponible para el secado. El calor utilizable ya no es suficiente para la provisión del calor de secado, incluso desde el punto de vista del balance. Se requiere energía adicional para secar el lodo de las aguas residuales.

Por esta razón, no se conoce hasta la fecha ninguna tecnología con sistemas pequeños y descentralizados. El estado actual de la técnica consiste en la recogida, a lo sumo, de lodos de depuración deshidratados mecánicamente de un gran número de plantas de tratamiento de aguas residuales a una gran planta de utilización central y estacionaria, en forma de combustión en lecho fluidizado como monocombustión, generalmente con una capacidad de más de 20 MW, o como co-combustión en grandes centrales eléctricas de carbón con una capacidad de combustión típica de 500 - 2.000 MW. Estas plantas combinan todas las plantas de tratamiento de aguas residuales de varios distritos.

Tales plantas son a menudo diseñadas como lechos fluidizados estacionarios. Estos sistemas de combustión son conocidos, tal como, por ejemplo, los que son descritos en Wikipedia bajo la palabra clave "Wirbelschichtfeuerung" ("combustión de lecho fluidizado"). Son usados en muchas aplicaciones a gran escala en el intervalo de potencia superior a 10 MW, especialmente en centrales eléctricas para la generación de electricidad o en plantas de incineración de residuos o para la combustión de lodos de depuradora secados térmicamente. En estas plantas, la purificación de los gases de desecho tiene lugar al final del proceso de enfriamiento o el uso del calor contenido en los gases de desecho a una temperatura de alrededor de 150 - 200 °C, generalmente con un filtro de tela, sólo con poca frecuencia con un precipitador electrostático. El principio de estas combustiones se basa en la combustión del combustible triturado en un lecho fluidizado de material de lecho caliente, por ejemplo, arena de cuarzo; el tamaño típico del grano de la arena de cuarzo u otro material de lecho es de aproximadamente 0,8 - 1 mm de diámetro equivalente. El material del lecho puede ser dotado con otros materiales para promover o prevenir reacciones individuales. El combustible y el material del lecho se mantienen en suspensión juntos mediante la adición de un medio fluidificante, por ejemplo, aire o vapor, y así se fluidifican. Las partículas de combustible trituradas tienen una gran superficie para que pueda producirse una buena combustión. La fluidificación del material del lecho resulta en un muy buen intercambio de impulso y calor, de modo que prevalece una temperatura sustancialmente uniforme en el lecho fluidizado. El material del lecho imprime esta temperatura en el flujo de masa de combustible introducido como temperatura de reacción. La temperatura del material del lecho puede ser determinada por el control de la planta. La formación de gases nocivos, especialmente los óxidos de nitrógeno, puede mantenerse baja. En el caso de las grandes plantas de última generación, la zona de precombustión (lecho fluidizado) y la zona de poscombustión (fuego superior) son directamente adyacentes entre sí. La combustión de los combustibles tiene lugar de una sola vez, es decir, sin que se añada calor

al gas de desecho en ningún punto del exterior, ni se retire calor en una zona químicamente no reactiva. La separación del polvo tiene lugar después del final de la combustión.

En el documento DE 101 43 427 A1 es descrito un dispositivo para la utilización térmica de materiales biológicos, en el que varios materiales biológicos son combinados en una mezcla con un valor calorífico definido y se gasifican en un lecho fluidizado estacionario. El dispositivo puede ir precedido de un presecado del combustible mediante el calor residual de la combustión. El principal objetivo de la invención es la purificación del gas combustible producido durante la gasificación de los hidrocarburos de cadena larga (alquitranes) mediante el lavado con un líquido de lavado orgánico (aceite), así como el uso del aceite cargado con alquitranes como aceite de ignición en un motor a reacción en el que también se debe quemar el gas combustible. Esta planta se utiliza para la generación de gas producto y no principalmente para el secado de productos húmedos. Esta descripción no contiene ninguna declaración sobre la integración de un posible presecado con el gasificador.

A partir del documento DE 10 2006 053 337 A1 es conocido otro concepto de combustión. Esta publicación describe una disposición para la co-incineración de biomasa y residuos orgánicos en un sistema de combustión de carbón pulverizado para la generación de vapor. Para hacer funcionar el secador asociado para los combustibles secundarios húmedos, es desacoplado parte del flujo de gases de combustión del horno y son conducidos a un intercambiador de calor conectado al secador. Debido al uso de varios combustibles diferentes, la tasa de transferencia de calor especificada en el documento DE 10 2006 053 337 A1, especialmente porque se utiliza para la generación de vapor y no está diseñado específicamente para el secado de biomasa o de lodos de depuración. Una característica esencial de esta planta es que el equilibrio de calor en el horno está determinado por el combustible primario. No es relevante el contenido de agua del combustible secundario y, por lo tanto, la cantidad de vapores en relación con el contenido de energía del combustible secundario. En este procedimiento no se proponen tareas de integración termodinámica y, por lo tanto, naturalmente tampoco se resuelven.

En el documento DE 10 2014 106 901 A1 es descrito un gasificador y un procedimiento para la producción de un gas combustible a partir de material de carga carbonosa. La invención describe en detalle una posible secuencia del procedimiento en el gasificador. Se lleva a cabo un enfriamiento de los gases de escape del gasificador antes de la limpieza del gas (separación de polvo) con el único propósito de controlar las temperaturas del material en la limpieza del gas, que suelen ser inferiores a la temperatura de funcionamiento del gasificador. Se puede añadir vapor de agua al aire de combustión. No se ha previsto una mezcla de gas de escape recirculado.

El documento EP 1 161 312 A1 muestra una combustión por etapas para la combustión de materias de carga húmedas con precombustión, la transferencia de calor en un intercambiador de calor, la separación de polvos y poscombustión, en el que durante la transferencia de calor en el intercambiador de calor se enfrían los gases de escape de la poscombustión y es calentado el aire de combustión para la precombustión y luego se lo conduce a la precombustión.

Tareas y objeto de la invención

La invención está basada en la tarea de crear una combustión por etapas con un sistema de combustión de lecho fluidizado estacionario del tipo mencionado anteriormente, en el que puede ser utilizado material húmedo, con la característica esencial de la invención de que los materiales de carga pueden ser utilizados con un contenido de agua considerablemente mayor y un valor calorífico considerablemente menor que el que fue posible hasta ahora con el estado de la técnica, siendo la planta, sin embargo, autosuficiente en energía.

La tarea es resuelta con una combustión por etapas de acuerdo con la reivindicación 1. Los desarrollos ulteriores preferentes de la combustión escalonada de acuerdo con la invención resultan de las subreivindicaciones.

La invención es explicada esencialmente para el material de entrada "lodos de depuración", dado que la experiencia y el estado de la técnica son aquí más claros para presentar la invención. Sin embargo, la invención también está destinada a ser aplicada a todos los demás materiales de carga mencionados a continuación, como residuos de fermentación, hojas, recortes de hierba, algas, jacintos de agua, residuos de la industria alimentaria, aunque no se mencionen en cada caso por separado a continuación.

El objeto de esta invención es un procedimiento que permita utilizar energéticamente los materiales de carga húmedos después de la deshidratación mecánica mediante un sistema de combustión en lecho fluidizado móvil, descentralizado y con formación de burbujas, de tal manera que no se requiere calor o energía externa para mantener el proceso. El tamaño de la planta en el procedimiento de la invención está basado en los requisitos de producción descentralizada de los materiales de carga húmedos, por ejemplo, en el tamaño de una sola planta de tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo, una planta con una capacidad de 300 kW es adecuada para una planta de tratamiento de aguas residuales con una producción anual de aproximadamente 3.000 t de lodos deshidratados mecánicamente, lo que corresponde a un municipio de aproximadamente 4.000 habitantes. De acuerdo con el estado de la técnica, una planta de tratamiento de aguas residuales de este tamaño no puede reciclar los lodos producidos por sí misma, sino que debe -después de un posible almacenamiento provisional- transportarlos a gran costo a las plantas centrales de reciclaje y seguir pagando por estos. El uso de la planta de acuerdo con la invención no sólo ahorra los costos de almacenamiento intermedio, transporte y eliminación, sino que también produce un fertilizante mineral con un alto contenido de fósforo, que representa un valor financiero positivo. Los ciclos de materiales descentralizados y en

pequeña escala son mucho más aceptadas entre la población que las plantas centralizadas en gran escala, de modo que sólo la producción descentralizada del fertilizante puede ser aceptada por el sector agrícola que lo utiliza.

Si es necesario, la planta aún puede generar un excedente de calor utilizable.

El tamaño máximo de la planta móvil está limitado a aproximadamente 3 MW.

- 5 Si se requiere el presecado del material de carga húmeda fuera de la combustión en lecho fluidizado, esto es realizado de acuerdo con la invención, con el calor residual contenido en el gas de combustión del lecho fluidizado sin el suministro de calor del exterior.

Una característica esencial de la planta en su conjunto es que, como se mencionó anteriormente, después de la deshidratación mecánica de las biomásas o lodos, no se requiere un secado térmico fuera del sistema de cocción en lecho fluidizado y, si es necesario, un secador integrado.

10 Naturalmente, la invención también puede ser escalada para grandes plantas, que por supuesto ya no serían móviles en este caso.

De acuerdo con la invención, el material de carga húmedo, solo o mezclado con material de carga seco, se aplica primero a un lecho fluidizado de arena caliente (lecho fluidizado estacionario o que forma burbujas). El lecho de arena caliente se expone a un aire de combustión caliente de varios cientos de grados, preferiblemente por encima de 200 °C, de modo óptimo por encima de 400 °C. Preferiblemente, esto también es realizado en el intervalo de potencia por debajo de 3 MW de capacidad de combustión, más precisamente por debajo de 1 MW de capacidad de combustión. Preferiblemente, esto también se efectúa en plantas móviles y descentralizadas. La cantidad de aire - al mezclarse con el gas de desecho del horno - contiene exactamente la cantidad de oxígeno necesaria para mantener la temperatura del lecho de arena mediante la combustión parcial del material de carga húmeda. La temperatura de funcionamiento del lecho fluidizado puede ajustarse dentro de un amplio intervalo. Cuando se utilizan combustibles con un bajo punto de ablandamiento de las cenizas, por ejemplo, la paja, se puede seleccionar una temperatura de funcionamiento inferior de manera que se evite de forma fiable el ablandamiento de las cenizas. Después de salir del lecho fluidizado, un nuevo flujo parcial de aire caliente y, si es necesario, los vapores del proceso de secado son sopladados hacia los gases de escape. El combustible sólido y húmedo se convierte en un combustible gaseoso de bajo poder calorífico. El lecho fluidizado y la subsiguiente cámara de combustión comprenden la precombustión. El gas de escape después de la precombustión no sólo contiene nitrógeno del aire sino también los componentes combustibles monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H₂), varios hidrocarburos (C_mH_n) y los productos de la combustión dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (H₂O). La temperatura de los gases de escape a la salida del reactor es de aproximadamente 700 °C. Esta es la temperatura de equilibrio que se establece debido a la reacción de cambio entre el CO-H₂O y el CO₂-H₂. El uso de aire de combustión caliente en el lecho fluidizado aumenta su aporte de energía y, en consecuencia, reduce el aporte de energía del combustible, lo que es necesario para mantener el equilibrio energético en el lecho fluidizado de la precombustión. Esto permite reducir ventajosamente el valor calorífico mínimo requerido del combustible. A una temperatura de lecho fluidizado de 700 °C, el aire de combustión de 200 °C debe ser calentado por un total de 500 K, mientras que a un aire de combustión de 500 °C un calentamiento de 200 K y por lo tanto cerca del 40 % del calor requerido es suficiente. Así, el contenido máximo de agua permitido en el combustible puede aumentarse del 62 % al 75 %, y el valor calorífico mínimo requerido se reduce en consecuencia de 4.000 a 1.500 kJ/kg. Según el estado de la técnica, los lodos de depuración pueden ser deshidratados mecánicamente hasta aproximadamente 27 % de contenido en sólidos o 73 % de contenido en agua, pero no hasta 38 % de contenido en sólidos o 62 % de contenido en agua. Por lo tanto, el uso directo de los lodos residuales deshidratados mecánicamente sólo es posible en la planta de acuerdo con la invención. Lo mismo se aplica análogamente a toda la biomasa húmeda o a los lodos, etc.

Por medio de ajuste del suministro de aire a la unidad de precombustión, puede ajustarse específicamente el contenido de carbono residual de la ceniza. Por lo tanto, el procedimiento también es adecuado para la producción de fertilizantes que contienen carbono, que están adquiriendo cada vez más importancia en el debate sobre la protección del suelo y la conservación del humus. La ceniza también podría utilizarse como carbón activado en plantas técnicas.

Para ilustrar el procedimiento en el intervalo de pequeña capacidad, se modifican algunas características típicas de la combustión en lecho fluidizado. Por ejemplo, en lugar de un material de lecho con un diámetro medio de aproximadamente 1 mm, se utiliza un material con menos de 0,5 mm, lo que reduce la altura total requerida y recién hace posible la movilización de la planta.

Con el lecho fluidizado móvil, descentralizado y con formación de burbujas (intervalo de rendimiento menor que 3 MW), el lecho fluidizado permanece en la cámara de combustión. La ceniza y la abrasión del lecho pueden ser removidas de la cámara de combustión por medio de la salida del lecho hacia abajo. Sin embargo, después de haber sido molidos en pequeñas partículas y transportados junto con el gas de combustión, suelen ser separados por separadores de flujo descendente. De acuerdo con la invención, el polvo se separa del gas de escape ANTES de completar la combustión y DESPUÉS de la extracción de calor del gas de escape, por lo que el calor extraído se alimenta al aire de combustión para la precombustión y lo calienta. Particularmente ventajoso es el enfriamiento de los gases de escape de acuerdo con la invención con el calentamiento simultáneo del aire de combustión, que se

alimenta a la precombustión, al menos a 200°C, pero preferentemente al menos a 400°C. El calentamiento del aire de combustión para la precombustión reduce la conversión necesaria de la energía químicamente ligada del combustible en calor sensible en el gas de combustión: los combustibles secos como la ceniza tienen aproximadamente el potencial de calentar el gas de combustión en aproximadamente 1.700 K en la combustión estequiométrica. Si el horno funciona con un exceso de aire, el potencial de calentamiento disminuye en consecuencia. Un exceso de aire de 1,4, por ejemplo, reduce la envergadura a aproximadamente 1.300 K. Si el combustible también contiene agua, este valor se reduce en forma adicional, ya que el agua contenida en el combustible también se evapora durante la combustión y el vapor de agua liberado debe calentarse nuevamente. Esto resulta más difícil, debido a que el vapor de agua tiene una capacidad de calentamiento hasta dos veces mayor que el gas de escape, de modo que el posible calentamiento se reduce mucho más rápidamente que en un simple incremento del exceso de aire. Por ejemplo, si el contenido de agua del combustible es del 60 %, el intervalo de calentamiento se reduce a 850 K. Con un contenido de agua de 75% el valor cae a 530 K. En este intervalo de calentamiento bajo, en el estado de la técnica ya no es posible un control adecuado de la combustión.

El objeto de la invención es reducir al mínimo la liberación requerida de energía químicamente ligada en el proceso de precombustión para permitir el mayor contenido posible de agua en el combustible cuando se alimenta en el proceso de precombustión utilizando el exceso de energía químicamente ligada. Esto es logrado, por un lado, llevando a cabo un proceso de combustión en dos etapas. En la primera etapa, la combustión tiene lugar con una relación de aire inferior a 1; el intervalo de calentamiento teóricamente posible para el combustible seco corresponde entonces al de la combustión estequiométrica, ya que -como primera aproximación- la porción del calor químicamente ligado que se libera corresponde a la porción de aire que se suministra en relación con la combustión estequiométrica. El intervalo de calentamiento es, por lo tanto, en primera aproximación independiente del grado de subestimación cuando se conduce en modo subestimado. En segundo lugar, esto se logra calentando el aire de combustión a una temperatura lo más alta posible antes de entrar en la precombustión. La precombustión tiene lugar típicamente a una temperatura de 700 °C. Si el aire de combustión suministrado pudiera ahora precalentarse a 700 °C, sería suficiente -como primera aproximación- liberar la cantidad de energía químicamente ligada necesaria para vaporizar el agua del combustible y calentar el vapor de agua a 700 °C. El objetivo de la invención es precalentar el aire de combustión en la medida de lo posible a la temperatura de funcionamiento de la precombustión.

El aire de combustión en el lecho fluidizado básicamente cumple DOS tareas. En primer lugar, proporciona el oxígeno necesario para oxidar el combustible y proporcionar el calor que mantiene constante la temperatura del lecho. La segunda tarea esencial es fluidificar el lecho fluidizado. La fluidificación siempre requiere una cantidad mínima de aire para ser soplado en el lecho fluidizado. De acuerdo con la invención, el aire de combustión está mezclado con gas de combustión recirculado con un bajo contenido de oxígeno para poder ajustar el contenido de oxígeno independientemente de la cantidad de aire suministrado.

Pueden ser usados muchos tipos de combustible de acuerdo con la invención como combustibles en la combustión en lecho fluidizado. Pueden ser usados en forma simultánea varios combustibles diferentes, lo que hace que este tipo de combustión sea muy flexible. Así, los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos pueden ser usados en cualquier mezcla, por lo que no se requiere ninguna premezcla. La mezcla es realizada en forma independiente por el lecho fluidizado, incluso si los combustibles se adicionan separados espacialmente. En el funcionamiento del secador de acuerdo con la invención, es ventajoso que pueda suministrarse una mezcla de material a secar o ya secado al sistema de combustión, por lo que la mezcla también incluye la proporción "0" a "100" tanto para la porción húmeda como para la seca.

Como combustibles pueden ser usados, por ejemplo, biomásas primarias tal como recortes de hierba, hojas, arbustos, material leñoso o herbáceo, algas de agua dulce, salada y salobre, jacintos de agua, nueces de jatropa con todas sus partes y subproductos, tal como paja y paja de cereales, cáscaras de molienda de granos de cereales, cáscara de arroz, etc. Pero de la misma manera es concebible emplear biomásas después de un primer aprovechamiento, ya que se trata de residuos de fermentación, orujo de uvas, residuos de la producción de alimentos o desechos de alimentos, por nombrar sólo algunos ejemplos; si se mira más de cerca esta área, se puede ver la diversidad: así, la producción de ketchup produce hierba de tomate como residuo, la producción de alimentos para bebés produce cáscaras de zanahoria, la producción de ensalada de frutas produce muchas cáscaras de cítricos, el prensado de aceite de oliva produce torta de prensa de aceitunas y huesos de aceitunas, la producción de azúcar de la caña de azúcar produce bagazo. Además, son concebibles todas las sustancias que se producen como excrementos de seres vivos. Esto abarca desde los lodos de depuración hasta el estiércol de animales, por ejemplo, de pollos o caballos, vacas o cerdos u otros animales, con o sin camada. También hay muchos lodos industriales que pueden ser utilizados. Entre ellos se incluyen, por ejemplo, los lodos del tratamiento del papel de desecho y del tratamiento de las aguas residuales de las fábricas de papel, los lodos oleosos, los lodos de las curtiembres y de otras industrias.

Una gran ventaja del lecho fluidizado usado en la presente invención es que el combustible se encuentra en un lecho móvil. El combustible y el aire de combustión son distribuidos homogéneamente por el lecho de arena. El lecho fluidizado contiene aproximadamente 98 – 99 % de arena y sólo aproximadamente 1 – 2 % de combustible. La arena determina la temperatura de reacción en el lecho fluidizado; proporciona la energía necesaria para activar las reacciones y absorbe la energía liberada durante las reacciones sin cambiar significativamente su temperatura.

Con otros sistemas de combustión, en principio existe el inconveniente de que el aire de combustión fluye preferentemente a lo largo de un sitio en el que hay poco o ningún combustible; por lo tanto, hay zonas con proporciones muy diferentes de combustible respecto del aire. Esto produce entonces una reacción muy desigual con una calidad y homogeneidad deficientes de los gases de combustión y, especialmente cuando el aire y el combustible están presentes en proporciones casi estequiométricas, a temperaturas de combustión local muy elevadas con una fuerte tendencia a formar escorias. En principio, los demás sistemas de combustión del estado de la técnica requieren un gran exceso de aire como consecuencia para poder proporcionar suficiente oxígeno incluso en aquellos lugares donde la distribución del aire y del combustible es desfavorable. Esto reduce la eficiencia y también es desfavorable con respecto a la evitación de componentes de gas nocivos en el gas de combustión. O bien queda una cantidad considerable de monóxido de carbono (CO) y carbono orgánico (COT) debido a la insuficiencia de oxígeno o bien se produce una cantidad considerable de óxido de nitrógeno debido al exceso de oxígeno y a los picos de temperatura localmente demasiado altos. Es particularmente desventajoso que ambos puedan ocurrir también en paralelo en diferentes lugares de esa combustión. La combustión estacionaria en lecho fluidizado de acuerdo con la invención, asegura una relación óptima entre combustible y aire en cualquier punto del lecho fluidizado, evitando así las desventajas de los otros sistemas de combustión en cuanto a las emisiones del estado de la técnica inherentes al sistema. Se posibilita un precalentamiento excesivo del aire porque la temperatura de combustión está determinada por la temperatura del lecho de arena y no son posibles los picos de temperatura ni hacia abajo, ni tampoco hacia arriba.

Una característica esencial de un sistema de combustión de lecho fluidizado preferente de acuerdo con la invención es que el aire de combustión es precalentado al menos a 200 °C, preferentemente a como mínimo a 400 °C. El calentamiento preferentemente es realizado al menos en dos etapas. En este caso, la primera etapa sería una calefacción que utiliza el calor residual contenido en el gas de combustión frente a la chimenea, la segunda etapa directamente en contraflujo con el gas de combustión de la precombustión. Si fuera necesario o ventajoso, también puede ser añadida una tercera etapa como etapa intermedio, en la que es usado el calor del gas de combustión ANTES de su uso externo. En los sistemas de combustión sin lecho fluidizado, el precalentamiento del aire no suele ser posible, ya que el aire de combustión se requiere frío para enfriar suficientemente los componentes en los que se encuentran las brasas sólidas de la combustión. Es precisamente la posibilidad o imposibilidad de un precalentamiento elevado de aire lo que influye decisivamente sobre la eficiencia de un sistema.

El gas de escape de la precombustión es equivalente al combustible ahora en estado gaseoso. De acuerdo con la invención, es enfriado por transferencia de calor con el aire de combustión para la precombustión. La conducción de los gases que contienen polvo en el intercambiador de calor se efectúa en ángulo o verticalmente de arriba abajo, de manera que todo el polvo contenido en el gas pasa a través del intercambiador de calor sólo por gravedad, sin que los gases tengan la tarea de transportar el polvo. Un intercambiador de calor de este tipo no es usado en las grandes plantas en el estado de la técnica porque no puede implementarse en la práctica o los gases de escape están completamente oxidados y por lo tanto producirían corrosión en el intercambiador de calor. El diseño de construcción con el tubo vertical y descendente para los gases de desecho cargados de polvo sólo es adecuado para el intervalo de potencia pequeño. En las grandes plantas, el aire de combustión se suministra a menos de 200 °C en el estado de la técnica, lo que es muy desventajoso para el proceso global en términos de ingeniería térmica.

De acuerdo con la invención, el gas combustible enfriado hasta aproximadamente 450 °C pasa directamente a otro reactor en el que es retenido el polvo (unidad de filtrado). En un diseño de combustión de lecho fluidizado de acuerdo con la invención, es realizada la separación del polvo después de que los componentes sólidos del combustible - excepto la ceniza restante- fueron transferidos a la fase gaseosa; es suficiente suministrar al lecho fluidizado sólo la cantidad de oxígeno necesaria para mantener la temperatura del lecho fluidizado. La transferencia de los combustibles sólidos a la fase gaseosa es realizado automáticamente a la temperatura del lecho fluidizado. Lo ideal es que los gases de escape solo sean enfriados en un intercambiador de calor contra el aire fresco al lecho fluidizado (2ª etapa de precalentamiento) antes de su ingreso en el colector de polvo a una temperatura de al menos 450 °C. El separador de polvo está conformado por materiales cerámicos o de metales sinterizados. Los elementos individuales tienen forma de vela. Las velas están instaladas verticalmente, están firmemente cerradas en la parte inferior y tienen una abertura sólo en el extremo superior. El gas cargado de polvo fluye a través de la vela desde el exterior al interior y sale de la vela por su abertura en la parte superior. El polvo se pega al exterior de la vela. La eliminación del polvo de la superficie de la vela se logra mediante una corta inversión del flujo con un gas inerte libre de polvo. El gas inerte que ahora fluye a través de la vela desde el interior hacia el exterior, que preferentemente es nitrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono o vapor de agua, se lleva consigo las partículas de polvo adheridas al exterior. Las partículas de polvo caen entonces en el embudo de recogida situado debajo de las velas. De esta manera, se limpia el gas combustible de polvo y emerge del reactor técnicamente libre de polvo. El polvo se descarga a través de una esclusa de aire. La esclusa está diseñada de tal manera que se evita de forma fiable un ingreso del aire que contiene oxígeno.

El filtro está ventajosamente diseñado como un sistema multicámara con limpieza en línea, en el que para fines de limpieza son desconectadas durante el funcionamiento las cámaras individuales o incluso es realizada la limpieza mediante la imposición de contracorriente sin desconectar las cámaras individuales. Esto permite la realización de plantas en el intervalo de potencia pequeño por debajo de 3 MW, que pueden funcionar de forma continua, así como mantener las calidades de emisión de las grandes plantas.

En tanto el sistema de limpieza de gases ha de estar dispuesto una vez finalizado el proceso de combustión, sería preferible instalarlo después de que el calor contenido en el gas de escape haya sido usado para operar en el intervalo de temperatura más bajo.

5 La ceniza polvorienta separada a altas temperaturas en la unidad de filtrado contiene una proporción muy baja de metales pesados, ya que estos están todavía presentes en su mayor parte en forma de vapor. Estas cenizas son especialmente adecuadas para la utilización de los minerales contenidos y, sobre todo en el caso de los lodos de depuración, especialmente para la utilización posterior del fósforo contenido en los lodos de depuración, ya sea por extracción o por utilización directa de las cenizas de los lodos de depuración.

10 Es particularmente ventajoso que las cenizas se separen antes de la oxidación completa. Esto también reduce al mínimo la oxidación del fósforo, lo que aumenta considerablemente la disponibilidad directa de fósforo de las cenizas a los fines de la fertilización biológica. En el caso de la monocombustión en grandes plantas de última generación, la separación del polvo se produce siempre DESPUÉS de la combustión completa y en el intervalo de temperaturas inferior a 200 °C, de modo que no se logran en esas plantas las ventajas de la planta de acuerdo con la invención.

15 Los pronósticos a nivel mundial de las materias primas disponibles indican una escasez de fósforo, por lo que el reciclaje de fósforo de los lodos de depuración desempeña una función clave. La planta, de acuerdo con la invención, puede contribuir a esto mediante la separación selectiva de la ceniza y la utilización del fósforo contenido en ciclos materiales posteriores.

20 Dado el caso, es instalada una trampa de condensación específica para los metales pesados que aún están contenidos en el gas de escape. Los metales pesados se separan en esta trampa de condensación y ya no contaminan la ceniza, sino que están presentes -separados de la ceniza- en forma concentrada y pueden ser devueltos al ciclo de materiales de valor.

25 De acuerdo con la invención, la oxidación completa de los gases de escape (poscombustión) tiene lugar en una cámara de combustión posterior al separador de polvo. La oxidación preferentemente es realizada en forma de una adición múltiple de un flujo parcial de aire de combustión, preferentemente en una adición de aire de 4 etapas, pero al menos en una adición de aire de 2 etapas. De esta manera, pueden reducirse de manera significativa las emisiones de óxidos de nitrógeno, ya que hay escasez de oxígeno en todas las secciones excepto en la última, y el nitrógeno reacciona preferentemente en presencia de nitrógeno molecular y no de óxido de nitrógeno en caso de escasez de oxígeno. Como el gas ya no contiene polvo, puede ser quemado con muy poco exceso de aire, similar a las condiciones cuando se utiliza el gas natural. Así, la calidad de la combustión en términos de emisiones también es equivalente a la del gas natural. Las emisiones de la combustión del gas natural son considerablemente menores que las de los sistemas de combustión de combustibles sólidos de acuerdo con el estado de la técnica. De esta manera es maximizado el calor utilizable del gas o del combustible originalmente utilizado.

35 De acuerdo con la invención, este circuito permite producir gases de escape libres de polvo a partir de combustible sólido a una temperatura típica de 950 °C de acuerdo con la enumeración anterior. A diferencia del estado de la técnica, la ausencia de polvo es una característica de calidad esencial y permite de acuerdo con la invención que la utilización del calor posterior se lleve a cabo de una manera que de otro modo solo sería posible mediante el uso del gas natural. Con la instalación de acuerdo con la invención, las superficies de calefacción pueden ser provistas, por ejemplo, de tubos con aletas sin que exista ningún riesgo de contaminación. Asimismo, se puede prescindir de dispositivos complejos para limpiar el polvo de las superficies calefactoras, incluso sin aletas. Además, la altura total de los paquetes de intercambiadores de calor ya no se limita a la profundidad de penetración de los dispositivos de limpieza. Asimismo, se pueden permitir mayores velocidades de los gases de escape sin riesgo de erosión de los tubos.

45 De acuerdo con las leyes sobre control de la contaminación del aire y la incineración de residuos vigentes en los distintos países, la calidad de la incineración permite que los residuos se utilicen como combustible en la planta, siempre que se cumplan todos los reglamentos aplicables, por ejemplo, el uso de madera de desecho contaminada en Europa está sujeto a los reglamentos de la UE 2000/76. En este caso, la planta funcionaría de tal manera que el cumplimiento de la temperatura mínima de incineración después de la última adición de aire esté garantizado por el sistema de control. La tecnología de acuerdo con la invención permite por primera vez el uso de estos residuos en pequeñas plantas de menos de 3 MW. El estado de la técnica no lo permite, ya que sólo es usado el vapor como medio de trabajo y en el intervalo de potencia por debajo de aproximadamente 10 MW no es posible concebir ni realizar operaciones rentables.

55 Tras la poscombustión, el calor contenido en el gas de escape puede ser usado de acuerdo con la invención para hacer funcionar el secador del combustible en el caso de combustibles húmedos. Por regla general, no todo el calor contenido en el gas de escape es necesario para hacer funcionar el secador. El calor excedente puede ser utilizado -antes o después de calentar el secador- en un circuito termodinámico adecuado para proporcionar calor externo y/o para generar energía eléctrica. Dado que el gas no tiene polvo, por ejemplo, resulta ventajoso usar un motor Stirling que tiene la mayor eficiencia termodinámica, pero cuyo intercambiador de calor, debido al proceso, resulta obstruido muy rápidamente y no puede ser limpiado en caso de gases de escape cargados de polvo. Esto puede ser realizado preferentemente de manera tal que el calor residual sea usado en primer lugar para generar energía eléctrica, de

manera ventajosa, por ejemplo, mediante un sistema ORC, una máquina de vapor o un motor Stirling. La cámara de combustión de una máquina en funcionamiento también puede ser usada directamente como una cámara de combustión, preferentemente la cámara de una turbina de gas. En consecuencia, sería usado el calor residual restante para el secado. Si no se requiere calor de secado, el uso del calor contenido en el gas de escape también podría verse limitado a la generación de energía eléctrica o combinado con otros usos del calor residual, por ejemplo, en una red de calefacción urbana.

Los gases de escape pueden ser enfriados a cualquier temperatura antes de su uso por la mezcla con gases de escape enfriados después de su aprovechamiento. En el caso de un secador de contacto Floradry descrito en la solicitud paralela presentada por el solicitante el mismo día, se trata, por ejemplo, de la temperatura de 400 °C, que no debe ser superada como temperatura de entrada. Una máquina de vapor o un sistema ORC está diseñado a menudo para una temperatura de entrada de aproximadamente 550 °C, ya que esto corresponde a la temperatura habitual de los gases de escape de una PCCE. Esta temperatura puede ser fácilmente ajustada con el sistema diseñado de acuerdo con la invención. De este modo se pueden evitar los ajustes de las unidades para utilizar el calor contenido en el gas de escape, lo que ahorra considerables esfuerzos y costos de inversión. Esta conmutación sólo es posible porque, de acuerdo con la invención, el gas de escape se extrae directamente después de la unidad para la recirculación y el calor todavía presente en el gas de escape hacia la chimenea puede utilizarse para precalentar el aire de combustión. La cantidad total de gas de recirculación puede ser hasta 10 veces la cantidad de gas de escape conducido a la chimenea.

Si el contenido de agua del combustible excede 75 %, puede ser ventajoso calentar el aire de combustión con la energía de los gases de escape después de la poscombustión. Aquí debe tenerse en cuenta que los gases de escape después de la poscombustión siempre contienen oxígeno residual. Este oxígeno puede corroer las superficies de calefacción si el gas de escape lo promueve, como ocurre, por ejemplo, si hay suficiente cloro en el combustible. Por lo tanto, la posible temperatura de precalentamiento del aire de combustión a partir de la energía de la poscombustión se limita generalmente a un valor inferior a aproximadamente 350 °C.

Si el combustible tiene un contenido de agua superior al 70 %, es ventajoso utilizar parte del calor utilizable de los gases de escape para el presecado del combustible. Es preferente que el secador tenga una conexión o un acoplamiento de flujo entre la salida del intercambiador de calor para el material secado y el horno que funciona a presión negativa, a través del cual el vapor producido durante el secado es atraído al horno. Preferentemente, se integra un secador en la planta, cuyos vapores llegan al horno y se limpian allí. De esta manera, también pueden usarse los combustibles con un contenido de agua de aproximadamente 85%.

De acuerdo con la invención, el secador está diseñado preferentemente con un alto grado de eficiencia, tal como un denominado secador de contacto. Un secador de convección requiere tanto aire de dilución en los vapores que se excluye el uso de los vapores como aire de combustión, ya que la capacidad requerida del sistema de cocción sería muy superior a las necesidades de calor del secador de convección. Un secador de convección no es adecuado para la combinación integrada con un sistema de combustión. Un secador de contacto y especialmente el secador de contacto Floradry no requieren aire, de modo que los vapores no se diluyen con el aire, excepto pequeñas proporciones de aire falso. El uso de un secador de contacto reduce al mínimo el aire falso introducido en el secador y maximiza la tolerancia de la planta con respecto al contenido máximo de agua permitido en el combustible húmedo. Los vapores producidos durante el secado se utilizan de acuerdo con la invención directamente en el sistema de encendido.

El secador de contacto puede implementarse con especial facilidad, si los gases de escape se enfrían a menos de 400 °C mediante la recirculación de los gases de escape antes de ingresar en el secador. Esto simplifica considerablemente los requisitos de seguridad para el secador de contacto. Por supuesto, también es factible cualquier otra temperatura como la temperatura de entrada a las unidades para utilizar el calor contenido en el gas de escape.

El secador de contacto asegura una eficiente transferencia de calor al material a secar y un alto rendimiento del secador. Es preferente que el secador de contacto esté diseñado como un secador indirecto con vapor como medio de transferencia de calor. Sería ventajoso que los tubos de secado estuvieran dispuestos en una zona superior, en la que el material a secar se transporta mediante un dispositivo de transporte como un tornillo sin núcleo. Cuando se calientan los tubos de secado, el vapor se condensa en el exterior de la pared del tubo y gotea hacia abajo. Los tubos de calefacción están dispuestos en una zona inferior, en la que los gases de escape transfieren el calor al agua, produciendo así su evaporación; el vapor asciendo al área de los tubos de secado, cerrando así el circuito de un generador de vapor de circulación natural con condensador integrado. Las zonas de secado y de calentamiento están ventajosamente delimitadas por una camisa cilíndrica común, que también absorbe la fuerza de la presión del vapor. El material a secar está en contacto con la pared interna del tubo de secado circundante y es transportado en su dirección longitudinal. En el área de calentamiento, también puede ser ventajoso permitir que los gases de escape no fluyan a través de los tubos sino alrededor de estos y dotar a los tubos de aletas. En este caso, los tubos de calefacción serían dispuestos por fuera del revestimiento y serían conectados a esto al menos por un tubo; sin embargo, los tubos de calefacción siempre están dispuestos debajo de los tubos de secado.

La planta descentralizada y de pequeña escala también permite combinar la planta con las plantas de energía ya existentes en un lugar. Por ejemplo, los residuos de fermentación mecánicamente predeshidratados de una planta de biogás pueden utilizarse como material de carga en la combustión en lecho fluidizado y el gas de escape puede

mezclarse con el biogás después de ser desempolvado para su uso en el motor de pistón. En este caso, el lugar de instalación de la planta sería la ubicación de la planta de biogás. Si el lugar de la instalación es una planta de procesamiento de alimentos, los residuos de alimentos de la producción pueden utilizarse como material de carga para la combustión en lecho fluidizado y los gases de escape pueden quemarse después de ser desempolvados en una caldera de vapor, que suele haberse dispuesto allí. Si se trata de la eliminación de biomasa como ha sido descrito anteriormente, también es ventajoso establecer la planta en un lugar de la zona de eliminación pertinente donde se pueda utilizar directamente el calor o el gas de desecho. Esto también incluye que el gas residual ya sea usado directamente después del intercambiador de calor y antes de la unidad de filtrado, por ejemplo, para la inyección en la cámara de combustión de un sistema de combustión de combustible sólido más grande, como en las plantas de calefacción o de cogeneración alimentadas con combustibles sólidos, por ejemplo, con carbón.

La combustión en lecho fluidizado es particularmente ventajosa cuando es usada en un procedimiento de preparación de biomasa húmeda para combustible, como es desvelado, por ejemplo, en los documentos EP 1 443 096 A1 o EP 1 587 899 A1. En este procedimiento, las impurezas que se adhieren parcialmente a la biomasa, tal como, por ejemplo, los metales pesados adheridos como polvo y sales disueltas, son eliminadas por lavado de forma selectiva antes de que continúe el procesamiento de la biomasa para convertirla en combustible. Esta combinación permite obviar las etapas de "secado térmico" y "peletización" del procedimiento mencionado, al menos para la parte que es usada directamente para el funcionamiento de la planta mediante la generación de calor y electricidad.

La invención naturalmente también es adecuada para un campo de aplicación adicional, si el material más seco es usado para secar otros materiales usados fuera de la planta con el exceso de calor restante. La ventaja esencial de la invención es que ahora también es posible en el intervalo de potencia reducido de menos de 1 MW y en las plantas móviles.

Ejemplo de diseño

A continuación, la invención es explicada con mayor detalle mediante un ejemplo de diseño, que es mostrado en vista esquemática en la única figura. Las flechas de la figura indican la dirección del flujo del respectivo medio bombeado; representan conexiones de tuberías, canales o ejes para combustibles o gases.

El aire de combustión 1 es aspirado del ambiente y precalentado por un intercambiador de calor 2, opcionalmente existe también una etapa de precalentamiento adicional 18. Después del precalentamiento, parte del aire de combustión 3 es mezclado con gas de escape 4 recirculado y calentado en otro intercambiador de calor 5 antes de llegar a la precombustión 6. En la precombustión 6, el lecho fluidizado 7 estacionario que forma burbujas se encuentra en la sección inferior, por encima de la cual se encuentra la zona de posreacción 8 (francobordo). El gas de escape 9 parcialmente quemado 9 extraído de la zona de posreacción 8 se enfría en un intercambiador de calor 5, por el que es calentado el aire de combustión 4 y el gas de combustión recirculado 5. El gas de combustión enfriado es alimentado a un filtro de polvo 10. En el filtro de polvo, el polvo 11 contenido en el gas de combustión es separado para que el gas de escape sin polvo 12 salga del filtro de polvo para su poscombustión 13. En la poscombustión 13, es añadida otra mezcla de aire de combustión 14 y gas de escape recirculado 15 para lograr la completa combustión de los gases de escape de la precombustión. Los gases de escape quemados 16 salen de la poscombustión y son enfriados con los gases de escape recirculados 17 si es necesario. En otro intercambiador de calor opcional 18, es calentado el aire de combustión 1, mientras los gases de escape 16 de la poscombustión son enfriados en forma adicional. Después del intercambiador de calor 18, los gases de combustión pasan a un consumidor de calor externo o a una máquina en funcionamiento 19 (en este ejemplo un secador), en el que es realizado el presecado del material de carga húmeda 20. El material de carga seca 21 es alimentado para precombustión 6 en el área del lecho fluidizado 7. Los vapores 22 producidos durante el secado también son conducidos a la precombustión 6, pero en el área de la zona de posreacción 8. Después el secador 19 es desviado de los gases de escape 23 del gas de escape recirculado (4, 15, 17). Después de la desviación, el gas de escape pasa por otro intercambiador de calor 2, en el que tiene lugar la primera etapa de precalentamiento del aire de combustión 1. Al final, los gases de combustión salen de la planta.

Si el consumidor de calor externo 19 no es un secador, el material de carga húmeda 20 llega al lecho fluidizado directamente como flujo de material 21, por lo que se omite el flujo de material de los vapores 22.

Listado de referencias

	1	aire de combustión
	2	primer calentador de aire
	3	aire de combustión para precombustión
5	4	gas de recirculación para precombustión
	5	segundo calentador de aire
	6	precombustión
	7	lecho fluidizado
	8	zona de posreacción
10	9	gas de escape parcialmente quemado
	10	filtro de polvo
	11	polvo (ceniza) separado en el filtro de polvo
	12	gas de escape parcialmente quemado, sin polvo
	13	poscombustión
15	14	aire de combustión para la poscombustión
	15	gas de escape recirculado para la poscombustión
	16	gas residual quemado
	17	gas de escape recirculado para enfriar los gases de escape
	18	transmisor de calor opcional
20	19	consumidor de calor externo (por ejemplo, secador o máquina de trabajo)
	20	material de carga húmeda
	21	material de carga seca
	22	vapores
	23	gas de escape después de consumidor de calor externo
25	24	gas de escape hacia la chimenea

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la combustión de material de carga húmeda, que se lleva a cabo como una combustión por etapas y comprende las siguientes etapas:
 - a) una unidad de precombustión (6) diseñada como un sistema de combustión de lecho fluidizado; seguido de
 - b) una transferencia de calor en un intercambiador de calor (5); seguido de
 - c) un separador de polvo (10), seguido de
 - d) una poscombustión (13),en el que son enfriados los gases de escape de la precombustión (6) durante la transferencia de calor en el intercambiador de calor (5) y el aire de combustión es calentado para la precombustión (6) con los gases de escape y luego son conducidos a la precombustión (6).
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el aire de combustión para la precombustión y/o para la poscombustión es una mezcla de aire fresco y gas de escape recirculado de la poscombustión.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** el aire de combustión para la precombustión es calentado en el intercambiador de calor al menos a 200°C.
4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado porque** el aire para la combustión en el intercambiador de calor es calentado al menos a 400°C.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 4, **caracterizado porque** el aire fresco para la precombustión y/o poscombustión es precalentado en un intercambiador de calor adicional por gases de escape de la poscombustión.
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado porque** una parte de la energía térmica de los gases de escape de la poscombustión es usada para precalentar el aire de combustión antes de entrar en el intercambiador de calor posterior.
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** la utilización de esta parte de la energía térmica tiene lugar en un secador en el que el material de carga húmeda está completa o parcialmente presecado.
8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado porque** el secado es realizado mediante un secador de contacto.
9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7 u 8, **caracterizado porque** los vapores del secado son alimentados a la precombustión.
10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado porque** con el calor residual de la precombustión los vapores del secador son secados antes de ser conducidos a la precombustión.
11. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los gases de escape de la precombustión pasan a través del intercambiador de calor de tal manera que tienen una temperatura de al menos 400°C al entrar en un filtro de polvo diseñado como separador de polvo, preferentemente al salir del filtro de polvo.
12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado porque** es extraído fósforo y/u otras sustancias de las cenizas separadas en el filtro de polvo.
13. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** como material de carga húmeda son usados lodos de depuración, residuos de fermentación, hojas, recortes de hierba, algas, jacintos de agua y/o residuos de la industria alimentaria.

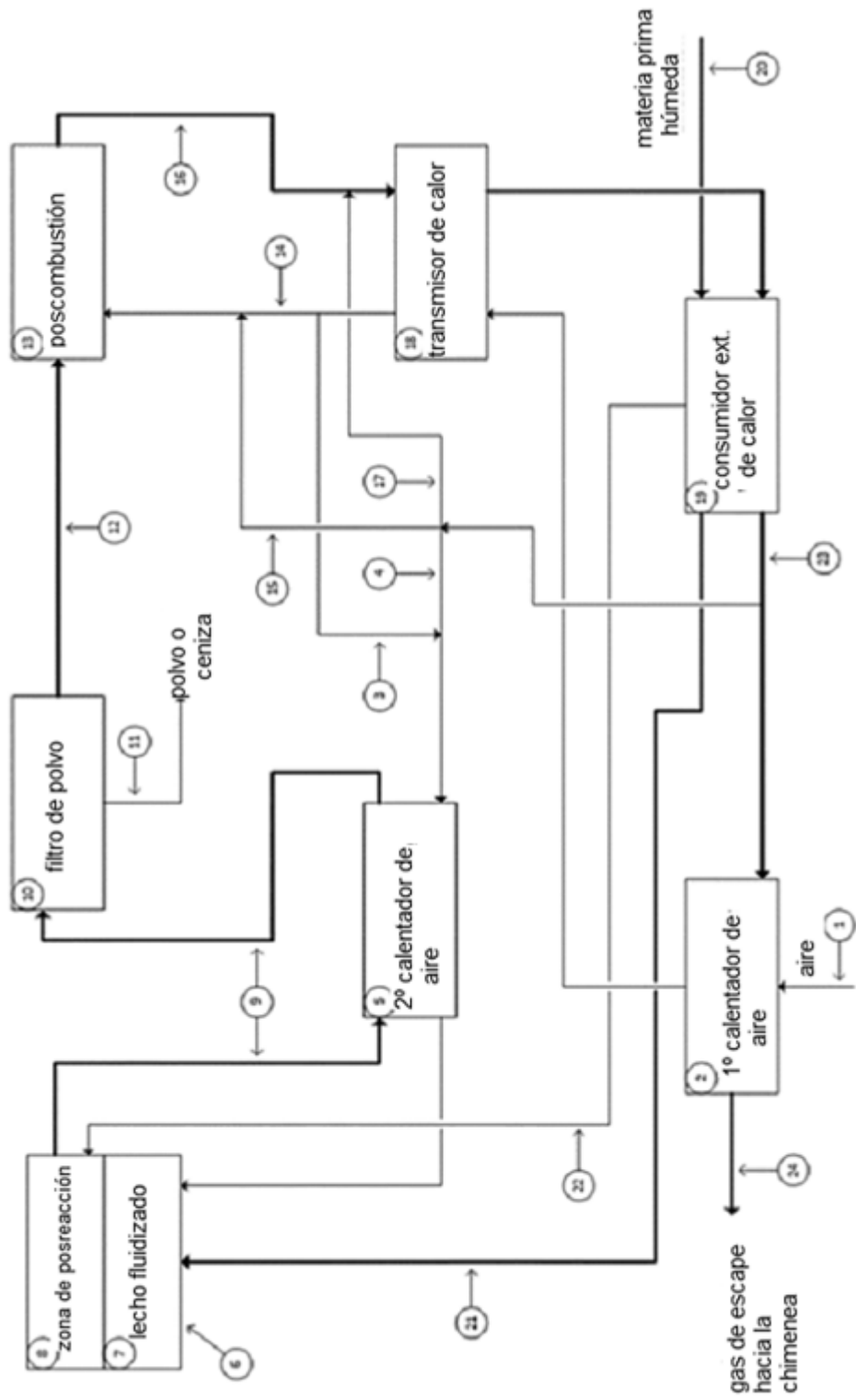


Fig. 1