

APARATO Y MÉTODO DE COMBUSTIÓN DE BIOMASA DE BAJO PODER CALORÍFICO Y COMBUSTIBLE

Campo técnico relacionado

5

La presente divulgación se relaciona con aparatos y métodos de combustión de biomasa. En particular se relaciona con aparatos y métodos de co-combustión de biomasa y gases combustibles.

10 Descripción del estado de la técnica

El estado de la técnica describe un aparato de co-combustión de gas natural y biomasa con rumen pulverizado de ganado en el documento “Colorado, A. et al (2022), *Heat Transfer Characteristics of a Water Heater Operating on Natural Gas and Cofiring Pulverized Rumen Contents*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4243143>” .
15 Este documento tiene fecha de publicación del 10 de octubre de 2022.

Este documento divulga un calentador de agua de 450 kW que funciona con gas natural (GN) y en modo de combustión conjunta quemando rumen sólido pulverizado y GN. Este
20 documento muestra un prototipo del quemador y reporta resultados de un análisis CFD de la aerotermodinámica de una cámara de combustión. Este documento menciona un modo cofiring donde se quema el contenido ruminal y el GN y menciona una cámara de combustión de acero al carbono aislada térmicamente, y un serpentín.

25 Además, este documento menciona que un caudal de aire primario arrastra partículas de rumen a una zona de combustión, donde el calentamiento, la desvolatilización, la ignición y la combustión del rumen pulverizado se ven favorecidos por las reacciones del GN. Dicho documento además menciona aire secundario que se utiliza para completar las reacciones de oxidación y entra en la cámara de combustión. En el documento se muestra
30 un quemador de doble combustible tipo swirler con unas paletas, unos álabes giratorios y una tobera. El documento menciona que el aire que transporta el material ruminal se inyecta a través del conducto central. El caudal de aire restante se hace pasar a través de

las paletas de remolino para producir una estabilización de baja turbulencia. A través de la sección anular sólo se inyecta GN.

Por otra parte, el estado de la técnica incluye el documento, "*Colorado, A. et al (2022), Modeling the optimal condition for drying rumen contents using a solar greenhouse dryer, Case Studies in Thermal Engineering, Volume 30, 2022, 101678, ISSN 2214-157X, <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101678>.*" Este documento tiene fecha de publicación de febrero de 2022.

10 Este documento divulga un secador solar de invernadero de secador directo configurado para secar contenido ruminal, a temperaturas entre 40 °C y 70 °C. Este documento además menciona que la combustión del contenido ruminal se facilita tras un proceso físico como la peletización o pulverización, y que la combustión del contenido ruminal reduce los costes energéticos y el volumen de residuos sólidos y líquidos vertidos al
15 medio ambiente. El documento menciona además que, el invernadero es un volumen cerrado enmarcado con paredes formadas por láminas de policarbonato (PC) soportadas por tubos de acero galvanizado.

Por otro lado, el documento DE4118908 divulga un dispositivo para la eliminación de
20 residuos orgánicos, concretamente, rumen de ganado. El dispositivo comprende un dispositivo de drenaje mecánico, un secador indirecto, un reactor de combustión lenta, un quemador de gas y una caldera de calor residual. El reactor de combustión lenta tiene una rejilla sobre la que hay un dispositivo para añadir continuamente el contenido seco del rumen, y el quemador de gas es un quemador ciclónico.

25

Este documento menciona que el rumen se deshidrata y seca en varias etapas sin acceso de aire, lo que limita el volumen de los vapores resultantes, y permite quemar el contenido del rumen de forma eficaz y respetuosa con el medio ambiente. Este documento además divulga que el contenido del rumen se procesa en una primera etapa de combustión lenta
30 con desarrollo moderado de calor y en una segunda etapa que comprende la combustión del gas de combustión lenta, con lo que se libera energía térmica aprovechable y se

produce una ceniza fácil de transportar y apta como fertilizante por su contenido mineral, mientras que los vapores que se secan se forman, condensan o degradan por postcombustión sin perturbar la combustión del gas de carbonización.

5 Este documento divulga además que el secador debe ser un secador indirecto del cual el agua evaporada se extrae en forma de vapores sin la adición de aire falso. Este secado indirecto es necesario para mantener el volumen del vapor extraído lo más bajo posible. Este documento menciona que los vapores son olorosos y, por lo tanto, es preferible no ventilarlos a la atmósfera.

10

Sin embargo, los aparatos y métodos descritos en el estado de la técnica tienen potencial de mejora para aprovechar el contenido energético del rumen de ganado.

Breve descripción de la divulgación

15

La presente divulgación describe modalidades de un aparato de combustión de biomasa de bajo poder calorífico y combustible, por ejemplo, un combustible gaseoso, la biomasa incluyendo desechos ruminales de ganado. El aparato comprende un mecanismo de secado configurado para obtener una biomasa seca a partir de la biomasa de bajo poder calorífico, donde el mecanismo de secado es operado por energía solar. La biomasa de 20 bajo poder calorífico incluye biomasa de desecho ruminal de ganado sacrificado.

25

El aparato además incluye un mecanismo de preprocesamiento conectado al mecanismo de secado y configurado para recibir la biomasa seca y obtener una biomasa seca triturada, y un mecanismo de dosificación conectado a una salida del mecanismo de preprocesamiento. También, el aparato tiene un mecanismo de combustión de tipo co-combustión conectado al mecanismo de dosificación, y configurado para quemar la biomasa seca triturada y un combustible, por ejemplo, un combustible gaseoso. El mecanismo de combustión de tipo co-combustión incluye un quemador tipo swirl que 30 tiene un primer conducto configurado para proporcionar la biomasa seca triturada y un segundo conducto configurado para proporcionar el combustible.

- La presente divulgación también describe modalidades de un aparato de calentamiento de fluidos, que comprende cualquiera de las modalidades del aparato de combustión de biomasa de bajo poder calorífico y combustible aquí divulgadas. El aparato de calentamiento de fluidos comprende un calentador de fluidos que incluye una cámara de combustión conectada al quemador tipo swirl del mecanismo de combustión. La cámara de combustión se extiende verticalmente hacia abajo del quemador y tiene una salida de gases en un extremo inferior. El aparato de calentamiento de fluidos además tiene un serpentín configurado para transportar un fluido a calentar, donde el serpentín se dispone sobre una cara externa de la cámara de combustión, y una camisa que rodea al menos una sección inferior de la cámara de combustión y el serpentín, y tiene una salida de gases de combustión localizada en una zona superior de la camisa. Los gases de combustión producidos por el quemador descienden por la cámara de combustión, salen por la salida de gases y ascienden a través la camisa hacia la salida de la camisa.
- La presente divulgación también describe modalidades de un proceso de combustión de biomasa de bajo poder calorífico y combustible, por ejemplo, un combustible gaseoso, la biomasa incluyendo desechos ruminales de ganado. El proceso tiene una etapa a) de obtener biomasa seca con un mecanismo de secado que recibe la biomasa. La biomasa de bajo poder calorífico incluye biomasa de desecho ruminal de ganado sacrificado. El proceso además tiene una etapa b) de obtener una biomasa seca triturada mediante un mecanismo de preprocesamiento que recibe la biomasa seca, y una etapa c) de quemar mediante un mecanismo de combustión de tipo co-combustión la biomasa seca triturada y un combustible. El mecanismo de combustión de tipo co-combustión incluye un quemador tipo swirl que tiene un primer conducto configurado para proporcionar la biomasa seca triturada, y un segundo conducto configurado para proporcionar el combustible.

Breve descripción de las figuras

- La FIG. 1 muestra un diagrama de flujo de proceso de una modalidad del aparato de combustión de biomasa de bajo poder calorífico y combustible. Esta modalidad ilustra un mecanismo de secado de tipo invernadero, y un quemador de co-combustión que recibe biomasa y gas combustible.

La FIG. 2 muestra una vista en isométrico de una modalidad de un mecanismo de secado de tipo invernadero.

- 5 La FIG. 3 muestra un diagrama de flujo de proceso de un quemador de co-combustión que se conecta a un Venturi. El Venturi a su vez se conecta a un mecanismo de dosificación de biomasa y a un mecanismo de ventilación. El quemador ilustrado además se conecta a una fuente de combustible.
- 10 La FIG. 4 muestra una modalidad de un aparato de calentamiento de fluidos que tiene una cámara de combustión conectada a un quemador de una modalidad del aparato de combustión de biomasa de bajo poder calorífico y combustible.

- La FIG. 5 ilustra una vista en isométrico de una modalidad de un mecanismo de preprocesamiento de biomasa que tiene una tolva, un mecanismo de trituración y un mecanismo de transporte.
- 15

Descripción detallada

- 20 La presente divulgación describe modalidades de un aparato (1) de combustión de biomasa (2) de bajo poder calorífico y combustible (12), por ejemplo, un combustible gaseoso, la biomasa (2) incluyendo desechos ruminales de ganado. El aparato (1) comprende un mecanismo de secado (3) configurado para obtener una biomasa seca (5) a partir de la biomasa (2) de bajo poder calorífico, donde el mecanismo de secado (3) es
- 25 operado por energía solar, y donde la biomasa (2) de bajo poder calorífico incluye biomasa (2) de desecho ruminal de ganado sacrificado.

- El aparato (1) además incluye un mecanismo de preprocesamiento (4) conectado al mecanismo de secado (3) y configurado para recibir la biomasa seca (5) y obtener una biomasa seca triturada (6), y un mecanismo de dosificación (7) conectado a una salida del mecanismo de preprocesamiento (4). También, el aparato (1) tiene un mecanismo de combustión (8) de tipo co-combustión conectado al mecanismo de dosificación (7), y configurado para quemar la biomasa seca triturada (6) y un combustible (12). El
- 30

mecanismo de combustión (8) de tipo co-combustión incluye un quemador (9) tipo swirl que tiene un primer conducto (10) configurado para proporcionar la biomasa seca triturada (6), y un segundo conducto (11) configurado para proporcionar el combustible (12).

5

Se entenderá en la presente divulgación por biomasa de bajo poder calorífico a materia orgánica utilizada como fuente de energía que tiene un valor calorífico relativamente bajo en comparación con otros combustibles, en particular, en comparación con combustibles fósiles. La biomasa de bajo poder calorífico puede incluir diversos materiales orgánicos como desechos agrícolas, residuos forestales, desechos de la industria alimentaria o desechos ruminales de ganado.

Los desechos ruminales de ganado sacrificado se refieren a los residuos orgánicos que se generan como resultado del sacrificio y procesamiento de ganado rumiante, como vacas, ovejas o cabras. Estos desechos incluyen partes no comestibles del animal, como el rumen, el retículo, el omaso y el abomaso, que forman parte de su sistema digestivo.

Cuando se sacrifica al ganado rumiante, estos órganos internos y otras partes del sistema digestivo que no son aptas para consumo humano son separados y considerados desechos ruminales. Estos desechos pueden contener restos de alimentos vegetales, microorganismos del rumen, contenido estomacal y otros tejidos no comestibles.

La gestión adecuada de los desechos ruminales de ganado sacrificado evita problemas de salud pública y minimiza impactos ambientales negativos. Una correcta gestión de los desechos ruminales de ganado sacrificado permite prevenir la propagación de enfermedades, minimizar olores y riesgos ambientales, y cumplir con las normativas establecidas para la eliminación adecuada de estos residuos.

Cualquiera de estas modalidades del aparato (1) permite aprovechar de manera más eficiente el poder calorífico de los desechos ruminales de ganado presente en la biomasa (2). En particular, el quemador (9) opera bajo co-combustión, quemando el material ruminal contenido en la biomasa (2) simultáneamente con el combustible (12).

El combustible (12) preferiblemente es un combustible gaseoso. Por ejemplo, el combustible (12) puede ser gas natural.

5 El combustible (12) gaseoso puede ser cualquier tipo de combustible en estado gaseoso que se utiliza para la generación de energía térmica o para otros fines energéticos. Los combustibles gaseosos pueden ser naturales, como el gas natural, o pueden ser producidos a partir de la transformación de otros materiales orgánicos, como el biogás obtenido de la descomposición de materia orgánica. También, el combustible (12) puede ser metano, hexano, hidrógeno, gas de síntesis, biogás, gas de
10 coque, o cualquier otro gas combustible obtenido de procesos químicos, bioquímicos y/o petroquímicos.

Se entenderá en la presente divulgación por co-combustión al proceso en el que se queman conjuntamente dos o más combustibles en una misma instalación o mecanismo
15 de combustión. En el contexto de la biomasa, la co-combustión implica la mezcla y quema simultánea de biomasa con otro tipo de combustible (12) para aprovechar las características y beneficios de ambos. La co-combustión puede ofrecer ventajas en términos de eficiencia energética, reducción de emisiones y aprovechamiento de recursos renovables.

20 La co-combustión es beneficiosa debido a que la reacción del combustible (12), por ejemplo, gas natural, ayuda a estabilizar la combustión de la biomasa sólida de bajo poder calorífico, lo cual podría ser difícil de quemar sin la asistencia de reacciones de combustible gaseoso. En este caso, la asistencia de la combustión del combustible (12)
25 ayuda a completar la liberación de volátiles de la biomasa sólida y su ignición, lo que permite que se utilice de manera más eficiente la biomasa. La liberación de los volátiles de los sólidos de la biomasa requiere de un proceso de calentamiento, y en este caso, la combustión de combustible (12) ayuda a mantener un calentamiento estable, lo que contribuye a una liberación de volatilización adecuada y un proceso de combustión
30 mejorado.

Adicionalmente, la co-combustión de material ruminal contenido en la biomasa (2) con combustible (12) gaseoso permite una combustión estable, completa con bajas emisiones CO, NOx y más eficiente en comparación con quemar la biomasa (2) de otra manera.

- 5 Cualquiera de estas modalidades del aparato (1) incluye un mecanismo de secado (3) configurado para obtener una biomasa seca (5) a partir de la biomasa (2) de bajo poder calorífico. El mecanismo de secado (3) permite deshidratar la biomasa (2). La biomasa (2) puede tener altas concentraciones de humedad, y contener fluidos que dificultan la combustión. El mecanismo de secado (3) elimina estos elementos
- 10 térmicamente. El mecanismo de secado (3) puede operar con energía solar para elevar la temperatura de la biomasa (2) y retirar la humedad. También, el mecanismo de secado (3) puede circular una corriente de aire que extrae la humedad de la biomasa (2).

- En algunas modalidades del aparato (1), el mecanismo de secado (3) puede ser de tipo
- 15 invernadero operado por energía solar. Por ejemplo, haciendo referencia a la FIG. 2, el mecanismo de secado (3) puede incluir un túnel de secado (13) que tiene una marquesina (14) a través de la cual ingresa radiación solar. En este caso, la biomasa (2) se procesa en el túnel de secado (13) para obtener biomasa seca (5). También, el mecanismo de secado (3) puede incluir un mecanismo de ventilación (15) conectado al
- 20 túnel de secado (13) y configurado para generar un flujo de aire.

- Una de las ventajas de usar un mecanismo de secado (3) de tipo invernadero, es que se aprovecha la energía del sol, en vez de usar combustibles para calentar el aire que seca la biomasa (2). A su vez, es más eficiente que usar combustibles para calentar directamente
- 25 la biomasa (2) y extraer la humedad. Este último caso tiene como desventaja que, al calentar directamente la biomasa (2), de no haber un calentamiento homogéneo, pueden generarse puntos de sobrecalentamiento, en los que se empiezan a liberar volátiles que pueden ser aprovechados más adelante, en particular, en la co-combustión.

- 30 En cuanto a la marquesina (14), esta puede incluir paneles de materiales translúcidos y/o transparentes que permitan generar el efecto invernadero. Los paneles de la marquesina (14) pueden ser de vidrio, o materiales poliméricos. Por ejemplo, los paneles de la marquesina (14) pueden ser de policarbonato. También, los paneles de la

marquesina (14) pueden ser laminados con capas de vidrio, plástico y combinaciones de los mismos.

5 En modalidades no ilustradas, el mecanismo de secado (3) puede incluir un calentador solar. El calentador solar puede tener intercambiadores de calor, o concentradores de calor que calientan un fluido de servicio. El fluido de servicio puede ser líquido o gaseoso. El fluido de servicio puede a su vez calentar la biomasa (2) de manera indirecta o directa.

10 En otras modalidades, el mecanismo de secado (3) puede incluir secadores solares híbridos. Estos dispositivos combinan la energía solar con otras fuentes de energía, como la electricidad o el gas, para secar la biomasa (2). La energía solar se utiliza como principal fuente de calor, complementada con otras fuentes cuando sea necesario. Por ejemplo, en zonas donde el aire tiene alta humedad relativa, o en donde la incidencia de luz solar sea irregular a lo largo del año, el mecanismo de secado (3) puede incluir un calentador de
15 respaldo.

El calentador de respaldo puede seleccionarse del grupo que comprende calentadores de resistencias eléctricas, calentadores o quemadores a gas, como de gas propano o metano, calentadores de chaqueta de vapor, quemadores de carbón, calentadores de tubos
20 radiantes, y combinaciones de los mismos.

En otras modalidades no ilustradas, el mecanismo de secado (3) puede seleccionarse del grupo que comprende secadores de tambor o trómel, secadores de lecho fluidizado, secadores de banda transportadora, secadores de lecho fijo, y combinaciones de los
25 mismos.

En cualquiera de sus modalidades, el aparato (1) puede además incluir un mecanismo de compactación (no ilustrado) que, por medio de una prensa, rodillos, o cualquier otro elemento de compactación mecánica, retira la humedad en exceso contenida en la
30 biomasa (2). Por ejemplo, la biomasa (2) puede tener una humedad superior al 80%. El mecanismo de compactación puede obtener una biomasa preprocesada con una humedad entre 50% y 65%. Esta biomasa preprocesada puede ingresarse posteriormente al mecanismo de secado (3) para obtener la biomasa seca (5).

El aparato (1) además incluye un mecanismo de preprocesamiento (4). El mecanismo de preprocesamiento (4) permite obtener biomasa seca triturada (6). Esto es beneficioso, ya que la biomasa seca triturada (6) tiene un tamaño de partícula más pequeño y uniforme, lo que facilita su manejo, almacenamiento y transporte. Además, el tamaño reducido de partícula mejora la eficiencia de combustión y la disponibilidad de superficie para reacciones químicas. En particular, la biomasa seca triturada (6) tiene una mayor área superficial que la biomasa seca (5). Esto permite tener una mayor área de transferencia de calor y de masa durante la co-combustión. De esta manera se facilita la extracción de volátiles y el calentamiento homogéneo de la partícula de biomasa que se quema.

El mecanismo de preprocesamiento (4) puede incluir un mecanismo de trituración (37) configurado para reducir el tamaño de partícula de biomasa seca (5) que sale del mecanismo de secado (3).

El mecanismo de trituración (37) puede seleccionarse del grupo que comprende molinos de molinos de rodillos, molinos de cuchillas, molinos de dientes truncados, molinos de discos, molino de barrotes, molino tipo cono, molinos de cono inverso, molinos de cizalla, molinos de pin/discos, molinos de impacto, molinos de bolas, molinos de martillo, elementos de cizallamiento en configuraciones de uno y dos tornillos y combinaciones de estos.

Haciendo referencia a la FIG. 5, el mecanismo de preprocesamiento (4) puede incluir una tolva (36) configurada para recibir la biomasa seca (5) que sale del mecanismo de secado (3) y un mecanismo de trituración (37) configurado para reducir el tamaño de partícula de la biomasa seca (5) hasta obtener la biomasa seca triturada (6). También, el mecanismo de preprocesamiento (4) puede incluir un mecanismo de transporte (38) conectado entre la tolva (36) y el mecanismo de trituración (37).

El mecanismo de transporte (38) puede seleccionarse del grupo que comprende transportadores de tornillo, transportadores de cadena, transportadores neumáticos, transportadores de banda, transportadores vibratorios y transportadores helicoidales, y

combinaciones de los mismos. Otros ejemplos de mecanismo de transporte (38) son transportadores de rastrillo, transportadores de tornillo sinfín, transportadores de cubo o cangilones, transportadores de vacío, transportadores de tornillo flexible, transportadores de tornillo vertical y transportadores de raca o rascadores, y
5 combinaciones de los mismos.

Por ejemplo, haciendo referencia a la FIG. 5, el mecanismo de transporte (38) puede incluir motorreductor (39) conectado a un transportador de tornillo sinfín (40).

10 Por su parte el mecanismo de trituración (37) ilustrado incluye martillos que homogenizan el tamaño de partícula de la biomasa seca (5). El mecanismo de trituración (37) tiene una carcasa que contiene un rotor con martillos (no ilustrados) oscilantes en su interior. El rotor gira a alta velocidad utilizando un motor eléctrico conectado mediante una transmisión, por ejemplo, de poleas o cadenas, lo que hace que
15 los martillos se muevan hacia adelante y hacia atrás golpeando la biomasa seca (5). Los martillos están diseñados con una cabeza y un vástago que se conecta al rotor el cual es accionado por un motor eléctrico. La cabeza del martillo está hecha de un material resistente al desgaste, por ejemplo, acero endurecido.

20 Preferiblemente, el mecanismo de trituración (37) incluye una criba o tamiz en la salida donde se obtiene la biomasa seca triturada (6). La criba o tamiz permite controlar el tamaño de partícula de la biomasa seca triturada (6).

La biomasa seca triturada (6) puede almacenarse en una tolva de entrada (no ilustrada)
25 del mecanismo de dosificación (7).

Por su parte, el mecanismo de dosificación (7) puede ser cualquier tipo de mecanismo configurado para proporcionar de manera controlada un flujo de material sólido. Por
30 ejemplo, haciendo referencia a la FIG. 1, el mecanismo de dosificación (7) puede ser un mecanismo de tornillo sinfín que incluye un motor conectado a un tornillo sinfín con una transmisión. El motor puede ser un motorreductor eléctrico conectado un dispositivo de control. El dispositivo de control permite regular electrónicamente el avance del tornillo

sinfín, y de esta manera, regula el flujo de biomasa seca triturada (6) que se suministra al quemador (9).

5 Por ejemplo, el dispositivo de control puede seleccionarse del grupo que comprende controladores lógicos programables (PLC), arduinos, raspberri-pi, computadores de propósito específico, microcontroladores, micro procesadores, DSCs (Digital Signal Controller por sus siglas en inglés), FPGAs (Field Programmable Gate Array por sus siglas en inglés), CPLDs (Complex Programmable Logic Device por sus siglas en inglés), ASICs (Application Specific Integrated Circuit por sus siglas en inglés), SoCs (System on Chip por sus siglas en inglés), PSoCs (Programmable System on Chip por sus siglas en inglés), computadores, servidores, tabletas, celulares, celulares inteligentes, generadores de señales, y cualquier otro dispositivo de control conocido por una persona medianamente versada en la materia.

15 Otros ejemplos del mecanismo de dosificación (7) pueden ser dosificadores de tornillo dosificador de paletas, dosificadores de correa ponderados, dosificadores de tornillo flexible, dosificadores de compuerta deslizante, dosificadores de celda de carga, dosificadores de tornillo múltiple y dosificadores de disco rotativo, y combinaciones de los mismos.

20 Por otro lado, el mecanismo de combustión (8) de tipo co-combustión incluye al menos un quemador (9) tipo swirl que tiene un primer conducto (10) configurado para proporcionar la biomasa seca triturada (6), y un segundo conducto (11) configurado para proporcionar el combustible (12).

25 Una de las ventajas del quemador (9) tipo swirl es que éste permite una mezcla más homogénea de la biomasa (2) y el combustible (12), lo que resulta en una combustión más completa y eficiente en comparación que solo quemar la biomasa (2). Esto se traduce en una mayor liberación de energía y una mejor utilización de los recursos combustibles.

30 Haciendo referencia a la FIG. 1, el mecanismo de combustión (8) puede incluir un mecanismo de ventilación (18) que arrastra neumáticamente la biomasa seca triturada (6) que dosifica el mecanismo de dosificación (7).

Usar un mecanismo de ventilación (18) ayuda a lograr una distribución más uniforme de la biomasa seca triturada (6) en el mecanismo de combustión (8). Al arrastrar neumáticamente la biomasa seca triturada (6), se asegura una dispersión homogénea de las partículas en el flujo de aire, lo que favorece una combustión más completa y eficiente.

Adicionalmente, el mecanismo de ventilación (18) neumática permite un control preciso del flujo de biomasa seca triturada (6) hacia el mecanismo de combustión (8). Esto es especialmente beneficioso para ajustar la cantidad de biomasa seca triturada (6) alimentada al proceso de combustión de acuerdo con las necesidades específicas de operación.

Haciendo referencia a la FIG. 3, en algunas modalidades del aparato (1), este puede incluir un Venturi (16) que tiene una primera entrada (17) conectada a una salida del mecanismo de ventilación (18); una segunda entrada (19) conectada al mecanismo de dosificación (7), y una salida (21) que se conecta al primer conducto (10) del quemador (9) tipo swirl. El Venturi (16) permite mezclar de manera más homogénea la biomasa seca triturada (6) con aire. Además, controlando el flujo de aire que entra al Venturi (16) a través del mecanismo de dosificación (7), se puede controlar indirectamente el flujo de biomasa seca triturada (6) que se arrastra hacia el quemador (9).

Adicionalmente, el quemador (9) ilustrado en la FIG. 1 y la FIG. 3 puede además incluir un segundo conducto (11) conectado a una fuente de combustible que almacena combustible (12), por ejemplo, un combustible gaseoso. La fuente de combustible puede incluir un inyector (39) de combustible que controla el suministro de combustible (12) al quemador (9).

El inyector (39) puede seleccionarse del grupo que comprende inyectores de tipo pulverizador, inyectores de tipo chorro, inyectores de tipo vaporizador, inyectores de tipo anular, inyectores de tipo mezclador, inyectores de tipo venturi, inyectores de tipo doble cono, inyectores de tipo paleta, y combinaciones de los mismos.

En cualquiera de las modalidades del aparato (1) aquí descrito, el quemador (9) puede incluir un tercer conducto (23). La FIG. 3 muestra un ejemplo de un quemador (9) con un tercer conducto (23) que tiene un diámetro mayor que el primer conducto (10) y el segundo conducto (11) del quemador (9). Los conductos (10, 11, 23) del quemador (9) se disponen concéntricamente. De esta manera, la biomasa seca triturada (6) ingresa con un flujo de aire primario a través del primer conducto (10). A través del segundo conducto (11) se suministra el combustible (12), por ejemplo, un combustible gaseoso.

En modalidades en las que el combustible (12) sea, o incluya combustible líquido o sólido, el combustible (12) ingresa a través del segundo conducto (11) mezclado con un gas de arrastre. El gas de arrastre puede ser aire, aire empobrecido, o gases de combustión recirculados.

Para la quema de combustibles líquidos, se pueden incluir inyectores (39) o pulverizadores en el quemador (9) que permitan atomizar el combustible líquido en pequeñas gotas finas. Estos inyectores (39) pulverizan el combustible líquido y lo dispersan en la cámara de combustión para facilitar la mezcla con el aire. Además, se deben ajustar las condiciones de alimentación de combustible y la cantidad de aire primario y secundario para garantizar una relación aire-combustible óptima que promueva una combustión completa y eficiente. También se puede incluir un quemador piloto configurado para iniciar la ignición del combustible líquido.

Para quemar combustibles sólidos, el quemador (9) puede incluir álabes (26) que permitan una distribución uniforme del combustible sólido en la cámara de combustión. Estos álabes (26) aseguran una adecuada mezcla entre el combustible sólido y el aire para lograr una combustión homogénea. Además, se puede incluir con un mecanismo de alimentación que suministre el combustible sólido de manera controlada al quemador (9). Esto puede lograrse mediante un mecanismo de tornillos transportadores, transportadores de cadena o alimentadores vibratorios. También, se puede incluir un mecanismo de fluidización que permita arrastrar el combustible sólido hacia la cámara de combustión con aire y/o gases de combustión recirculados.

La adaptación del quemador (9) para combustibles líquidos y sólidos también puede incluir el ajustar la zona de combustión. Los álabes (26) pueden ubicarse estratégicamente en el tercer conducto (23) para generar un efecto swirl que facilite la mezcla adecuada entre el combustible y el aire. Además, se puede considerar ajustar las proporciones de distribución del aire primario y secundario para optimizar la eficiencia de la combustión y reducir las emisiones no deseadas.

Haciendo referencia a la FIG. 3, a través del tercer conducto (23) ingresa un flujo de aire secundario. El flujo de aire secundario permite enriquecer el contenido de oxígeno que rodea el flujo de biomasa seca triturada (6) que se eyecta por la salida del primer conducto (10). Preferiblemente, el tercer conducto (23) se conecta al mecanismo de ventilación (18) con una tubería (22). El mecanismo de ventilación (18) puede incluir unas válvulas (20, 24) configuradas para controlar el flujo de aire que llega al tercer conducto (23), y al Venturi (16).

En la FIG. 3 se muestra una primera válvula (20) conectada entre el mecanismo de ventilación (18) y el Venturi (16). También, se muestra una segunda válvula (24) dispuesta en la tubería (22).

Las válvulas (20, 24) pueden seleccionarse del grupo que comprende válvulas de globo, válvulas de mariposa, válvulas de compuerta, válvulas de control de flujo, válvulas de bola, válvulas de diafragma, válvulas de aguja, válvulas de control de flujo en línea, y combinaciones de las mismas.

En cualquiera de las modalidades del aparato (1) el quemador (9) puede incluir unos álabes (26). Los álabes (26) pueden ser fijos, móviles o combinaciones de los mismos. Los álabes (26) permiten generar el efecto de swirl. Por ejemplo, si el quemador (9) tiene un tercer conducto (23), el tercer conducto (23) puede incluir los álabes (26). También los álabes (26) pueden disponerse en el primer conducto (10) o en el segundo conducto (11).

El fenómeno del efecto swirl en la combustión de gases se refiere a la generación de un flujo rotacional en una corriente de gas. Cuando el combustible (12) pasa a través de los

álabes (26), se crea un movimiento giratorio en el flujo. Este flujo rotacional resultante tiene varias ventajas en la combustión de gases. Una de estas ventajas es mejorar la mezcla entre el combustible (12) y el aire secundario y primario que ingresan a través de los conductos (10, 11, 23) del quemador (9). El movimiento rotacional generado por los álabes (26) promueve una distribución más uniforme de la biomasa seca triturada (6), el aire, y el combustible (12), lo que favorece una combustión eficiente y reduce la formación de zonas de combustión localizada.

Otra de las ventajas del efecto swirl es ayudar a estabilizar la llama en el quemador (9).

El flujo rotacional generado por los álabes (26) contribuye a mantener una región centralizada de combustión, evitando la propagación de la llama hacia los bordes del quemador (9). Esto proporciona una combustión más estable y controlada, reduciendo las posibilidades de apagado de la llama y mejorando la seguridad operativa.

En algunas modalidades del aparato (1) que incluyen el quemador (9) tipo swirl, el quemador (9) es de tipo bajo swirler. La implementación de un quemador con efecto de bajo swirler permite acortar la zona de reacción y aumentar el tiempo de residencia de la biomasa con material ruminal en esta zona para garantizar su combustión óptima y estable.

Se entenderá en la presente divulgación por un quemador de bajo swirler como un tipo de quemador que presenta un nivel reducido de efecto swirl o vórtice en la corriente de combustible y aire. En este contexto, "bajo" se refiere a que la intensidad del efecto swirl generado es menor en comparación con otros diseños de quemadores que pueden tener un mayor nivel de swirl.

El efecto swirl en un quemador (9) se logra mediante la introducción de álabes (26), difusores o dispositivos similares que generan un movimiento rotacional en la mezcla de combustible (v.g., biomasa seca triturada (6) y combustible (12) gaseoso) y aire. Este movimiento rotacional ayuda a mejorar la mezcla y la estabilidad de la combustión.

En un quemador de bajo swirler, el nivel de swirl se reduce o se mantiene a un nivel mínimo controlado. Esto puede tener ventajas específicas dependiendo de la aplicación.

Algunas de estas ventajas pueden incluir una menor formación de NO_x (óxidos de nitrógeno), una combustión más estable y controlada, y una menor sensibilidad a las variaciones en la velocidad del flujo de combustible y aire.

- 5 El uso de un quemador de bajo swirler puede ser apropiado en situaciones donde se busca un control más preciso de la combustión, una menor producción de contaminantes o cuando las características del combustible o los requerimientos de la aplicación así lo dicten. Cabe destacar que el diseño y funcionamiento específico de un quemador de bajo swirler puede variar según la aplicación y los requisitos de rendimiento.

10

Preferiblemente, el tercer conducto (23) tiene una entrada tangencial. Esto permite imprimir un movimiento rotacional al aire secundario. Además, el tercer conducto (23) preferiblemente incluye álabes (26) en la salida. Esta geometría del tercer conducto (23) ayuda a generar el efecto swirl del quemador (9).

15

La presente divulgación también describe modalidades de un aparato de calentamiento de fluidos, que comprende cualquiera de las modalidades del aparato (1) de combustión de biomasa (2) de bajo poder calorífico y combustible (12) aquí divulgadas.

- 20 El aparato de calentamiento de fluidos comprende un calentador de fluidos (27) que incluye una cámara de combustión (28) conectada al quemador (9) tipo swirl del mecanismo de combustión (8). La cámara de combustión (28) se extiende verticalmente hacia abajo del quemador (9) y tiene una salida de gases (29) en un extremo inferior (30). El aparato de calentamiento de fluidos además tiene un serpentín (31) configurado para
- 25 transportar un fluido a calentar, donde el serpentín (31) se dispone sobre una cara externa (32) de la cámara de combustión (28), y una camisa (33) que rodea al menos una sección inferior de la cámara de combustión (28) y el serpentín (31), y tiene una salida (34) de gases de combustión localizada en una zona superior de la camisa (33). Los gases de combustión producidos por el quemador (9) descienden por la cámara de
- 30 combustión (28), salen por la salida de gases (29) y ascienden a través la camisa (33) hacia la salida (34) de la camisa (33).

- Una de las ventajas del aparato de calentamiento de fluidos es que los gases de combustión, al descender por la cámara de combustión (28) y salir por la salida de gases (29) inferior proporciona un mayor control y seguridad en el proceso de combustión. Al direccionar los gases hacia abajo, se minimiza el riesgo de retroceso de llama o propagación de la combustión no deseada. Además, la ubicación de la salida (34) de gases de combustión en la zona superior de la camisa (33) ayuda a evitar la acumulación de residuos y asegura una salida adecuada de los gases de combustión, mejorando así la eficiencia y seguridad del sistema en general.
- 10 También, la configuración vertical de la cámara de combustión (28) en combinación con el serpentín (31) que se dispone en la cara externa de la cámara de combustión (28) permite una alta eficiencia en la transferencia de calor en comparación con el caso de usar intercambiadores de calor convencionales.
- 15 Los gases de combustión producidos por el quemador (9) descienden por la cámara de combustión (28) y ascienden a través de la camisa (33), rodeando el serpentín (31). Este flujo de gases calientes garantiza una transferencia de calor efectiva al fluido que circula a través del serpentín (31). Adicionalmente, esta configuración de la cámara de combustión (28) permite aprovechar la transferencia de calor por radiación que se genera a causa de la llama generada por el quemador (9). También, al quemarse la biomasa seca triturada (6), esta se incendia y genera calor por radiación el cual también es intercambiado con la superficie de la cámara de combustión (28). De acuerdo con lo anterior, la configuración y geometría del quemador (9), la cámara de combustión (28) y el serpentín (31) permiten aprovechar el calor de la combustión tanto por convención como por radiación.
- 25
- Preferiblemente, el fluido que circula a través del serpentín (31) es agua. Esta agua caliente puede ser utilizada en los procesos productivos de una planta de sacrificio bovino. Por ejemplo, de la planta de donde se obtienen los desechos ruminales de ganado.
- 30 De esta forma, se busca aprovechar de manera eficiente el material ruminal como fuente de energía renovable y sostenible en el sistema de calentamiento de agua, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y contribuyendo a la gestión de residuos orgánicos.

Por el contrario, en otros tipos de intercambiadores de calor, como intercambiadores de tubos o de placas, no se aprovecha de igual manera el calor de la combustión.

5 El fluido que circula a través del serpentín (31) puede ser cualquier otro tipo de fluido líquido o gaseoso. Por ejemplo, el fluido puede ser aceite térmico o un fluido orgánico que se usan como fluido de servicio para aportar calor a procesos industriales.

10 En algunas de las modalidades del aparato de calentamiento de fluidos, el calentador de fluidos (27) puede además incluir un Quart cónico (35) dispuesto entre el quemador (9) y la cámara de combustión (28), donde el Quart cónico (35) está configurado para formar una zona de combustión adiabática en la cámara de combustión (28).

15 Una de las ventajas del Quart cónico (35) es que permite formar una zona de combustión adiabática en la cámara de combustión (28). Esto significa que el calor generado durante la combustión se mantiene dentro de esta zona y no se disipa hacia el entorno. Esta característica adiabática es beneficiosa, ya que ayuda a maximizar la transferencia de calor al fluido que se calienta en el serpentín (31). Al mantener el calor dentro de la zona de combustión, se logra una mayor eficiencia en la transferencia de calor y se evita la pérdida innecesaria de energía.

20 Otra ventaja del Quart cónico (35) es que aporta una mayor estabilidad de la llama, una mejor distribución de la temperatura en la cámara de combustión y una reducción de las emisiones contaminantes.

25 En algunas de las modalidades del aparato de calentamiento de fluidos, el quemador (9) se dispone verticalmente en el calentador de fluidos (27), encima de la cámara de combustión (28), donde el quemador (9) genera una llama que se propaga hacia abajo.

30 Una de las ventajas de ubicar el quemador (9) encima de la cámara de combustión (28) es que la llama se propaga hacia abajo, lo que permite una distribución más uniforme del calor en el calentador de fluidos (27). Esto ayuda a garantizar que el fluido que circula en el serpentín (31) se caliente de manera uniforme, evitando puntos calientes o zonas frías.

Esta distribución uniforme del calor mejora la eficiencia y el rendimiento del calentador de fluidos (27).

Además, al generar una llama que se propaga hacia abajo, aumenta el tiempo de contacto entre la llama y la superficie de la cámara de combustión (28) en donde se localiza el serpentín (31). Esto proporciona una mayor oportunidad para que el calor se transfiera al fluido de manera eficiente. El resultado es un calentamiento más rápido y efectivo del fluido, lo que mejora la productividad y reduce los tiempos de calentamiento.

En algunas de las modalidades del aparato de calentamiento de fluidos, el quemador (9) puede incluir un tercer conducto (23). La FIG. 3 muestra un ejemplo de un quemador (9) con un tercer conducto (23) que tiene un diámetro mayor que el primer conducto (10) y el segundo conducto (11) del quemador (9). Los conductos (10, 11, 23) del quemador (9) se disponen concéntricamente. De esta manera, la biomasa seca triturada (6) ingresa con un flujo de aire primario a través del primer conducto (10). A través del segundo conducto (11) se suministra el combustible (12), por ejemplo, un combustible gaseoso.

En estas modalidades, el flujo de aire que se suministra al quemador (9) se divide en una proporción predeterminada. Por ejemplo, entre un 80% y un 95% del aire se puede suministrar a través del tercer conducto (23). Esta proporción de aire se denomina aire secundario. El porcentaje de aire restante se puede suministrar en el primer conducto (10) junto con la biomasa seca triturada (6). Este aire restante se denomina aire primario, y se encarga del arrastre neumático de la biomasa seca triturada (6) que incluye el material ruminal.

Preferiblemente, el tercer conducto (23) tiene una entrada tangencial. Esto permite imprimir un movimiento rotacional al aire secundario. Además, el tercer conducto (23) preferiblemente incluye álabes (26) en la salida. Esta geometría del tercer conducto (23) ayuda a generar el efecto swirl del quemador (9).

La presente divulgación también describe modalidades de un proceso de combustión de biomasa (2) de bajo poder calorífico y combustible (12), por ejemplo, un combustible gaseoso, la biomasa (2) incluyendo desechos ruminales de ganado. El proceso tiene una

etapa a) de obtener biomasa seca (5) con un mecanismo de secado (3) que recibe la biomasa (2). La biomasa (2) de bajo poder calorífico incluye biomasa (2) de desecho ruminal de ganado sacrificado. El proceso además tiene una etapa b) de obtener una biomasa seca triturada (6) mediante un mecanismo de preprocesamiento (4) que recibe la biomasa seca (5), y una etapa c) de quemar mediante un mecanismo de combustión (8) de tipo co-combustión la biomasa seca triturada (6) y un combustible (12). El mecanismo de combustión (8) de tipo co-combustión incluye un quemador (9) tipo swirl que tiene un primer conducto (10) configurado para proporcionar la biomasa seca triturada (6), y un segundo conducto (11) configurado para proporcionar el combustible (12).

10

En cualquiera de sus modalidades, el proceso permite aprovechar el poder calorífico de la biomasa (2) que incluye desechos ruminales de ganado.

15

En la etapa a), la biomasa seca (5) puede obtenerse con cualquiera de las modalidades del mecanismo de secado (3) aquí divulgadas. Por ejemplo, la biomasa (2) puede ingresar al mecanismo de secado (3) con una humedad mayor al 80%, y salir del mecanismo de secado (3) con una humedad entre el 11% y 13%. Este rango de humedad es deseable para evitar el crecimiento de microorganismos en la biomasa seca (5). Una humedad menor a este rango podría generar que igualmente la biomasa seca (5) absorba humedad del aire circundante, con lo cual se generaría un desperdicio energético en el mecanismo de secado (3).

20

25

Preferiblemente, la etapa a) se ejecuta en un mecanismo de secado (3) que opera con energía solar. Por ejemplo, puede usarse un mecanismo de secado (3) como el ilustrado en FIG. 2. El mecanismo de secado (3) ilustrado tiene un túnel de secado (13) con forma semicircular. El túnel de secado (13) tiene una marquesina (14) que permite el ingreso de radiación y calor solar y genera un efecto invernadero. Además, el mecanismo de secado (3) tiene un mecanismo de ventilación (15) que genera un flujo de aire dentro del túnel de secado (13).

30

En la etapa a) la temperatura de operación del mecanismo de secado (3) puede ser entre 38°C y 65°. Este rango de temperatura puede generarse con energía solar. También, la temperatura de operación del mecanismo de secado (3) puede ser entre 65°C y 100°C.

Estos rangos de temperatura pueden obtenerse con mecanismos de secado (3) que incluyan calentadores, por ejemplo, calentadores auxiliares eléctricos, o que operan con quemadores de combustibles y/o biomasa, o recirculación de gases de combustión. Por ejemplo, el mecanismo de secado (3) puede ser de tipo invernadero, y además tener un
5 calentador eléctrico que precalienta el aire que se ingresa al túnel de secado (13).

En otras modalidades del proceso, antes de la etapa a) puede ejecutarse una etapa de compactar la biomasa (2) y retirar una humedad en exceso. En estas modalidades en la etapa a) se recibe biomasa preprocesada y se obtiene a partir de ella la biomasa seca (5).
10 La etapa de compactación puede ejecutarse en un mecanismo de compactación como los anteriormente descritos. También, entre la etapa de compactación y la etapa a) puede ejecutarse una etapa de secar mecánicamente la biomasa (2). Esta etapa se puede ejecutar en secadores mecánicos, por ejemplo, secadores de banda transportadora, o de trómel.

15 También, en otro ejemplo de la etapa a), el mecanismo de secado (3) puede recircular el aire de secado. El aire de secado recirculado puede además calentarse con un calentador auxiliar. Opcionalmente, el aire de secado usado en la etapa a) puede incluir gases de combustión que se obtienen en la etapa c) donde se genera la co-combustión de biomasa seca triturada (6) y combustible (12).
20

En la etapa b) de cualquiera de las modalidades del proceso aquí descrito, el mecanismo de preprocesamiento (4) obtiene la biomasa seca triturada (6) a partir de la biomasa seca (5). El mecanismo de preprocesamiento (4) puede ser cualquiera de las
25 modalidades anteriormente descritas. El mecanismo de preprocesamiento (4) puede obtener biomasa seca triturada (6) con un tamaño de partícula inferior a 10mm.

Por ejemplo, el tamaño de partícula puede ser entre 1 y 10mm. Este rango permite un intercambio de calor y masa adecuado durante la co-combustión. Además, permite que
30 la partícula se caliente homogéneamente y libere los volátiles que luego se queman y sostienen la combustión.

También, el tamaño de partícula puede ser entre 0,5 y 5mm. Este rango puede generar ventajas adicionales cuando el quemador (9) es de tipo swirl, ya que el menor tamaño de partícula facilita su fluidización, de manera que sigue el remolino generado por el quemador (9). Esta capacidad de seguir el remolino generado por el quemador (9) permite una mejor mezcla y distribución de las partículas de biomasa en la corriente de aire o combustible, lo que promueve una combustión más completa y una mayor eficiencia en la co-combustión. Además, la fluidización de las partículas también ayuda a prevenir la formación de aglomeraciones o bloqueos en el sistema, asegurando un flujo constante y uniforme de biomasa seca triturada (6) hacia el quemador (9).

10

En la etapa c) de cualquiera de las modalidades del proceso aquí descrito, el quemador (9) puede ser cualquiera de las modalidades del quemador (9) anteriormente descritos. El quemador (9) tipo swirl permite la co-combustión de la biomasa seca triturada (6) y el combustible (12).

15

El quemador (9) puede tener un primer conducto (10) y un segundo conducto (11). Preferiblemente, los conductos (10, 11) están dispuestos concéntricamente. A través del primer conducto (10) se proporciona la biomasa seca triturada (6) junto con una corriente de aire primario. A través del segundo conducto (11) se ingresa el combustible (12). Preferiblemente, el quemador (9) tiene además un tercer conducto (23). El tercer conducto (23) puede también estar dispuesto concéntricamente con el primer conducto (10) y el segundo conducto (11). El tercer conducto (23) suministra aire secundario.

25 El efecto swirl puede generarse con álabes (26), los cuales pueden estar en cualquiera de los conductos (10, 11, 12) del quemador (9). Preferiblemente, los álabes (26) se disponen en el tercer conducto (23), para generar el vórtice remolino con el aire secundario.

El efecto swirl generado por los álabes (26) promueve una mezcla más efectiva entre el combustible (12) y el aire secundario. El vórtice creado por los álabes (26) ayuda a mezclar de manera más homogénea el combustible (12) y el aire, lo que resulta en una combustión más eficiente y completa. Esto mejora la liberación de energía y reduce la formación de productos de combustión no deseados.

Además, el efecto swirl generado por los álabes (26) también contribuye a la estabilización de la llama. El vórtice creado ayuda a mantener una distribución más uniforme de la llama en el quemador (9), evitando fluctuaciones y asegurando una combustión estable. Esto es especialmente importante en aplicaciones donde se requiere una llama constante y controlada, como en calderas o sistemas de calefacción industrial. Esto a su vez puede reducir las emisiones contaminantes, como los óxidos de nitrógeno (NOx) y los compuestos orgánicos volátiles (COV).

La proporción de aire primario y aire secundario puede ser entre 10% y 20% de aire primario y entre 80% y 90% de aire secundario.

Opcionalmente, el aire primario puede reemplazarse, o mezclarse con gases de combustión obtenidos en el quemador (9). Esto permite precalentar la biomasa seca triturada (6) en su camino hacia el quemador (9). También, esto evita que la biomasa seca triturada (6) entre en contacto con una fuente de aire rica en oxígeno, lo que mejora la seguridad del proceso.

La presente divulgación también describe modalidades de un proceso de calentamiento de fluidos que incluye cualquiera de las modalidades del proceso de combustión de biomasa (2) de bajo poder calorífico y combustible (12), por ejemplo, un combustible gaseoso, la biomasa (2) incluyendo desechos ruminales de ganado.

El proceso de calentamiento de fluidos incluye la etapa c) del proceso de combustión de biomasa (2) de bajo poder calorífico y combustible (12), la biomasa (2) incluyendo desechos ruminales de ganado. En este caso, el quemador (9) se disponen en una cámara de combustión (28) de un calentador de fluidos (27). La cámara de combustión (28) se extiende verticalmente hacia abajo del quemador (9) y tiene una salida de gases (29) en un extremo inferior (30).

También, el proceso de calentamiento de fluidos incluye una etapa d) de calentar un fluido que circula por un serpentín (31) dispuesto sobre una cara externa (32) de la cámara de combustión (28). En la etapa d) los gases de combustión bajan por el interior de la cámara

de combustión (28) hasta la salida de gases (29), para luego pasar hacia una camisa (33) que rodea la cámara de combustión (28). En la camisa (33) los gases de combustión ascienden y entran en contacto con el serpentín (31). Los gases de combustión luego salen por una salida (34) localizada en una zona superior de la camisa (33).

5

La salida (34) de la camisa (33) preferiblemente se conecta a una chimenea. También, la salida (34) de la camisa (33) puede conectarse a una tubería de recirculación (no ilustrada). La tubería de recirculación puede conectarse a al menos un intercambiador de calor. Dicho al menos un intercambiador de calor puede estar configurado para precalentar la biomasa seca triturada (6), o para aportar calor al mecanismo de secado (3). La tubería de recirculación puede también conectarse al mecanismo de ventilación (18) y usar los gases de combustión para arrastrar la biomasa seca triturada (6) hacia el quemador (9).

15 La tubería de recirculación puede también conectarse a un mecanismo de ventilación (15) del túnel de secado (13) del mecanismo de secado (3), con el fin de usar los gases de combustión calientes para secar la biomasa (2).

Opcionalmente, el proceso puede además incluir una etapa e) de capturar dióxido de carbono de los gases de combustión obtenidos por el quemador (9). Esta etapa puede ejecutarse usando un dispositivo de captura de CO₂. Ejemplos de dispositivos de captura de CO₂ son aparatos de absorción con aminas, con tamices moleculares, con membranas, con líquidos iónicos, con carbonatos fundidos, con membranas porosas, con catalizadores de oxidación, con dispositivos de crio-condensación y combinaciones de los mismos.

25

La inclusión de una etapa de captura de CO₂ en el proceso de co-combustión de biomasa seca triturada (6) y combustible (12) ofrece ventajas, como la reducción de emisiones de CO₂, el cumplimiento de regulaciones ambientales, y la posibilidad de usar el CO₂ capturado.

30

Ejemplos

Ejemplo 1: aparato (1) de combustión de biomasa (2) de bajo poder calorífico y gas natural

Un primer ejemplo del aparato (1) de combustión de biomasa (2) de bajo poder calorífico
5 usa gas natural como combustible (12).

El aparato (1) tiene un mecanismo de secado (3) de tipo invernadero. El mecanismo de
secado (3) tiene un túnel de secado (13) con sección transversal semicircular. El túnel de
secado (13) tiene un mecanismo de ventilación (15) y una marquesina (14). El
10 mecanismo de ventilación (15) incluye un par de ventiladores axiales dispuestos en los
extremos longitudinales del túnel de secado (13).

El mecanismo de preprocesamiento (4) incluye un molino de martillos y una criba que
limita el tamaño de partícula que obtiene el mecanismo de preprocesamiento (4).
15

El mecanismo de dosificación (7) es un dosificador de tornillo sinfín, que tiene una
camisa, el tornillo sinfín y un motorreductor eléctrico conectado al tornillo sinfín. El
mecanismo de combustión (8) tiene un quemador (9) tipo swirl con un primer
conducto (10) y un segundo conducto (11). En este ejemplo, el segundo conducto (11)
20 tiene álabes (16) que generan el efecto swirl.

Ejemplo 2: aparato (1) de combustión de biomasa (2) de bajo poder calorífico y gas natural que incluye quemador (9) con tres conductos (10, 11, 23)

Se modificó el aparato del ejemplo 2 de manera que el quemador (9) incluye un tercer
conducto (23). Los álabes (26) se disponen en el tercer conducto (23). Al tercer conducto
se suministra aire secundario que genera el vórtice del efecto swirl. El gas natural se
proporciona a través del segundo conducto (11). A través del primer conducto (10) se
ingresa la biomasa seca triturada (6) junto con aire primario.
25

30

Ejemplo 3: aparato (1) de combustión de biomasa (2) de bajo poder calorífico y gas natural que incluye quemador (9) con tres conductos (10, 11, 23)

Se modificó el aparato (1) del ejemplo 2 incluyendo un Venturi (16) que tiene una primera entrada (17) conectada a una salida de un mecanismo de ventilación (18); una segunda entrada (19) conectado mecanismo de dosificación (7), y una salida (21) que se conecta al primer conducto (10) del quemador (9) tipo swirl.

5

Además, el aparato (1) de este ejemplo tiene una primera válvula (20) conectada entre la salida del mecanismo de ventilación (18) y la primera entrada (17) del Venturi (16), y una segunda válvula (24) dispuesta en una tubería (22) que conecta la salida del mecanismo de ventilación (18) con un tercer conducto (23) del quemador (9) tipo swirl. Las
10 válvulas (20, 24) son válvulas de bola. El mecanismo de ventilación (18) incluye un ventilador centrífugo.

Ejemplo 4: aparato de calentamiento de fluidos

15 Un ejemplo del aparato de calentamiento de fluidos es un calentador de agua que incluye el aparato (1) del ejemplo 1.

El aparato de calentamiento de fluidos tiene un calentador de fluidos (27) con una cámara de combustión (28). La cámara de combustión (28) tiene una zona de combustión
20 adiabática en la cual se conecta el quemador (9) del aparato (1). La cámara de combustión (28) además tiene una sección central en la cual se dispone un serpentín (31). El serpentín (31) está dispuesto sobre una cara externa (32) de la cámara de combustión (28). La cámara de combustión (28) tiene una sección inferior convergente hacia una salida de gases (29) localizada en su extremo inferior (30). La
25 cámara de combustión (28) es un cuerpo de revolución con eje de simetría alineado coaxialmente con el quemador (9).

El aparato de calentamiento de fluidos tiene una camisa (33) que rodea la cámara de combustión (28) y el serpentín (31). A través del serpentín (31) circula agua.

30

Ejemplo 5: aparato de calentamiento de fluidos con quemador (9) con tres conductos (10, 11, 23)

Se modificó el aparato de calentamiento de fluidos ejemplo 4 incluyendo el quemador (9) descrito en el ejemplo 3.

Ejemplo 6: Proceso de combustión de biomasa (2) de bajo poder calorífico y combustible (12) gaseoso

En un primer ejemplo del proceso de combustión de biomasa (2) de bajo poder calorífico y combustible (12) gaseoso, se quema biomasa seca triturada (6) y gas natural. En este caso, la biomasa seca triturada (6) proviene de biomasa (2) con un porcentaje de desechos ruminales de ganado superior al 80%.

En la etapa a) biomasa seca (5) con un mecanismo de secado (3) que recibe la biomasa (2). La biomasa seca (5) tiene una humedad entre el 10% y el 13%. En la etapa b) se obtiene la biomasa seca triturada (6) con un mecanismo de preprocesamiento (4) que reduce el tamaño de partícula 5mm o menos. El mecanismo de preprocesamiento (4) incluye un molino de martillos y una criba que limita el paso de partículas con tamaño superior a 5mm.

En la etapa c) se quema la biomasa seca triturada (6) junto con el combustible (12), que en este ejemplo es gas natural. El mecanismo de combustión (8) de tipo co-combustión incluye un quemador (9) tipo swirl que tiene un primer conducto (10) configurado para proporcionar la biomasa seca triturada (6), y un segundo conducto (11) configurado para proporcionar el combustible (12). El quemador (9) de este ejemplo, es el descrito en el ejemplo 1 del aparato (1).

Se debe entender que la invención aquí reivindicada no se limita a las modalidades aquí divulgadas e ilustradas, pues como lo entenderá una persona medianamente versada en el arte, existen posibles variaciones y modificaciones posibles que no se alejan del espíritu de la invención, el cual solo se encuentra definido por las siguientes reivindicaciones.