



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 355**

51 Int. Cl.:
F23C 3/00 (2006.01)
F02C 3/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06750020 .7**
96 Fecha de presentación : **12.04.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1869307**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **26.12.2007**

54 Título: **Sistema integrado de energía de biomasa.**

30 Prioridad: **12.04.2005 US 670565 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
07.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
07.04.2011

73 Titular/es: **ZILKHA BIOMASS ENERGY L.L.C.**
1001 McKinney Suite 1900
Houston, Texas 77002, US
ZILKHA BIOMASS POWER L.L.C.

72 Inventor/es: **Elliott, Gerald, R.;**
McConnell, Clifford, T.;
Short, Alvin, D. y
Linderoth, Carl, E.

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

ES 2 356 355 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

Sistema integrado de energía de biomasa.

Esta solicitud reivindica prioridad de la solicitud de patente provisional de EE.UU. de titularidad conjunta, con número de serie 60/670.585, presentada el 12 de abril del 2005, titulada "Integrated Biomass Energy System" por Gary R. Elliot y Joseph P. Reynolds.

Existe un cierto número de industrias que generan grandes cantidades de biomasa. Dos ejemplos incluyen las industrias de productos forestales y las industrias agrícolas. Por ejemplo, en las industrias de productos forestales se generan grandes cantidades de biomasa, incluido serrín, cortezas, ramitas, ramas y otra madera de desecho. De igual modo, en las industrias agrícolas cada uno de los ciclos de la cosecha da como resultado grandes cantidades de biomasa incluidos bagazo, tusas de maíz, cascarillas de arroz y las podas o recortes de huertos y viñedos. Desechos de biomasa adicionales que se generan incluyen fango y estiércol. A pesar de las grandes cantidades que se producen, esta biomasa de desecho no puede ser utilizada con facilidad.

Para paliar los problemas asociados con el desecho de biomasa, ésta ha sido utilizada, hasta ahora, para la generación de energía. Adicionalmente, debido a que la biomasa es una fuente renovable y debido a que la biomasa libera la misma cantidad de carbono a la atmósfera que lo hace cuando se descompone de forma natural, el uso de biomasa para la generación de energía puede resolver varios problemas con combustibles convencionalmente fósiles.

Una técnica que ha sido desarrollada para utilizar la biomasa para la generación de energía es la gasificación. En la gasificación, la biomasa se convierte en un gas combustible que luego puede utilizarse para generar electricidad, por ejemplo en una turbina de gas. Sin embargo, cuando se emplea en un sistema de energía a pequeña escala (p. ej. menor que aproximadamente 10 megavatios), estas técnicas de gasificación tienen típicamente eficacias térmicas menores y unos costes de capital y operativos mayores que los sistemas de energía con turbina de gas de encendido directo, comentados en lo que sigue. De igual manera, técnicas que utilizan combustibles sólidos tales como biomasa para la generación de vapor, tienen también típicamente eficacias térmicas menores y mayores costes de capital operativos que los sistemas de energía con turbina de gas de encendido directo comentados en lo que sigue.

Como una alternativa a la gasificación y las técnicas de generación de vapor, también se han utilizado sistemas de energía que generan electricidad mediante el accionamiento de turbinas de gas, utilizando combustibles sólidos tales como biomasa. Sistemas de energía con turbina de gas que operan sobre combustibles sólidos pueden diseñarse como sistemas de encendido indirecto o de encendido directo. Estos sistemas tienen, típicamente, varios componentes primarios, incluido un compresor de aire, un horno o combustor, una turbina y un generador eléctrico. El generador eléctrico y el compresor de aire son accionados por energía creada por la expansión de aire comprimido caliente a través de la turbina. Este aire comprimido caliente, para su expansión a través de la turbina, es generado al comprimir aire en el compresor y calentar el aire comprimido resultante con energía térmica generada por parte del horno o combustor.

En sistemas de encendido indirecto, el horno o combustor opera típicamente en forma de una unidad funcional separada aparte de una unidad funcional que contiene el compresor de aire y la turbina. Este diseño de encendido indirecto protege a la turbina de gas de los efluentes corrosivos y de materia en partículas típicamente presentes en los gases de escape calientes procedentes de un horno o combustor que operan sobre la biomasa mediante el uso de un intercambiador de calor a alta temperatura. En el intercambiador de calor a alta temperatura, conductos que contienen el aire comprimido procedente del compresor se pueden disponer en estrecha proximidad a conductos que portan gases de escape altamente calentados procedentes del horno o combustor, dando como resultado un intercambio de calor de los gases de escape calientes al aire comprimido. Este aire calentado y comprimido acciona luego la turbina la cual, a su vez, acciona al compresor de aire y al generador eléctrico. Además de costes de capital y costes operativos elevados, estos sistemas de encendido indirecto tienen eficacias térmicas menores que el sistema de encendido directo.

En sistemas de encendido directo, el combustible sólido se quema en un combustor presurizado y los gases efluentes calentados procedentes del combustor son descargados directamente en la turbina. El combustor es parte de una unidad integrada y presurizada que incluye tanto el compresor como la turbina. En muchos casos, se puede emplear un equipo de limpieza de gas entre el combustor y la turbina para reducir la entrada en la turbina de efluentes corrosivos y materia en partículas.

El lector será ilustrado adicionalmente en cuanto al estado conocido de la técnica haciendo referencia a la publicación US 4724780. Características comunes con la invención definida en las reivindicaciones independientes de este documento y el documento US 4724780 se recogen en la parte pre-caracterizante de las reivindicaciones independientes.

Con el objeto de paliar al menos algunos de los problemas técnicos experimentados con la técnica anterior, la presente invención proporciona un método para hacer funcionar un combustor ciclónico, y un combustor ciclónico de

acuerdo con las reivindicaciones independientes. Aspectos adicionales de la invención se especifican en las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

5 Para una mejor comprensión de la invención y para demostrar la forma en que la misma se puede llevar a la práctica, se hará referencia, a modo de ejemplo, a los dibujos que se acompañan, en los que:

La Figura 1 es una ilustración esquemática de un ejemplo de sistema integrado de energía de biomasa de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 2 es una ilustración esquemática de un ejemplo de sistema de entrada de combustible y sistema de alimentación presurizado.

10 La Figura 3 es una ilustración esquemática de un ejemplo de sistema de entrada de combustible y sistema de alimentación presurizado.

La Figura 4 es una ilustración esquemática de un ejemplo de combustor.

La Figura 5 es una vista en sección transversal de la entrada de alimentación tomada a lo largo de las líneas 5-5 de la Figura 4.

15 La Figura 6 es una vista en sección transversal de la entrada de aire tomada a lo largo de las líneas 6-6 de la Figura 4.

La Figura 7 es una vista en sección transversal de la entrada de aire tomada a lo largo de las líneas 7-7 de la Figura 4.

La Figura 8 es una ilustración esquemática de un ejemplo de combustor.

20 La Figura 9 es una ilustración esquemática de un ejemplo de combustor de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 10 es una ilustración esquemática de un ejemplo de combustor que contiene un separador ciclónico de cenizas de acuerdo con una realización de la presente invención.

Descripción detallada

25 La Figura 1 ilustra esquemáticamente un nuevo sistema con turbina de gas presurizada de combustible de biomasa y encendido directo. Este sistema con turbina de gas presurizada de combustible de biomasa puede ser particularmente adecuado para sistemas de energía a pequeña escala, por ejemplo para la generación de menos de aproximadamente 10 megavatios y, en algunos ejemplos, en el intervalo de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 10 megavatios. El sistema representado en la Figura 1 comprende generalmente el sistema de alimentación presurizado 100, la cámara de combustión 110, el separador ciclónico de cenizas 120, la turbina de gas 130 y el generador 140. Partículas de biomasa son suministradas al sistema de alimentación presurizado 100 a la presión esencialmente atmosférica. Un ejemplo de sistema de alimentación presurizado 100 se describirá con mayor detalle con referencia a las Figuras 2 y 3. El sistema de alimentación presurizado 100 suministra partículas de biomasa a la cámara de combustión 110, esencialmente a la presión de trabajo de la cámara de combustión 110 a través de la tubería de alimentación de combustible presurizada 102. Ejemplos de cámara de combustión 110 se describen con mayor detalle con referencia a las Figuras 4 y 8-10.

40 Las partículas de biomasa suministradas al sistema de alimentación presurizado pueden comprender cualquier fuente adecuada de biomasa, incluidos serrín, cortezas, ramitas, ramas, otra madera de desecho, bagazo, tucas de maíz, cascarillas de arroz, podas o recortes de huertos y viñedos, fango, estiércol y combinaciones de los mismos. Preferiblemente, las partículas de biomasa suministradas al sistema de alimentación presurizado comprenden una biomasa basada en madera. Las partículas de biomasa suministradas al sistema de alimentación presurizado deberían tener un tamaño de partícula adecuado para la combustión ciclónica, por ejemplo las partículas de biomasa pueden tener un tamaño de manera que tengan una dimensión principal menor que aproximadamente 3 milímetros ("mm"). Además, las partículas de biomasa también deberían tener un contenido de humedad adecuado para la combustión ciclónica, por ejemplo las partículas de biomasa pueden estar secas, de modo que tengan un contenido de humedad de menos de aproximadamente 30% y, preferiblemente, un contenido de humedad en el intervalo de aproximadamente 8% a aproximadamente 16%. Los expertos ordinarios en la técnica reconocerán que, generalmente, la combustión ciclónica puede tener requisitos de alimentación diferentes (por ejemplo tamaño, contenido de humedad, etc.) que otros tipos de combustión.

50 El lector debe observar que todas las presiones recogidas son presiones manométricas, es decir presiones por

encima de la presión atmosférica.

Las partículas de biomasa se queman en la cámara de combustión 110 bajo presión, por ejemplo a una presión de trabajo en el intervalo de aproximadamente 276 kPa (40 psig) a aproximadamente 2.069 kPa (300 psig), en algunos ejemplos en el intervalo de aproximadamente 345-1.517 kPa (50-220 psig) y, en algunos ejemplos, en el intervalo de aproximadamente 690-1.379 kPa (100-200 psig). La combustión ciclónica de las partículas de biomasa produce un material en partículas de cenizas y un gas de combustión caliente y presurizado, por ejemplo a una temperatura en el intervalo de aproximadamente 982-1.538°C (1.800-2.800 °F) y, en algunas realizaciones, en el intervalo de aproximadamente 1.204-1.316°C (2.200-2.400°F). En un ejemplo, la cámara de combustión 110 opera a aproximadamente 1.034 kPa (150 psig) y a aproximadamente 1.149°C (2.100°F).

Aire comprimido es también suministrado a la cámara de combustión 110 a través de la tubería de alimentación de aire comprimido 112. El aire comprimido debería ser suministrado a la cámara de combustión 110 con el fin de fomentar el movimiento ciclónico dentro de la cámara de combustión 110. Por ejemplo, según se ilustra por las Figuras 6 y 7, el aire comprimido puede ser suministrado tangencialmente a la cámara de combustión 110. Además de proporcionar oxígeno suficiente para la combustión, también debería suministrarse a la cámara de combustión 110 una cantidad suficiente del aire comprimido para diluir el gas de combustión, de modo que tenga una temperatura adecuada para uso en la turbina de gas 130, por ejemplo una temperatura menor que aproximadamente 1.204°C (2.200°F) y, en un ejemplo, en el intervalo de aproximadamente 816-1.204°C (1.500-2.200°F).

El gas de combustión y el material en partículas de cenizas producido de la combustión de las partículas de biomasa se suministran entonces al separador ciclónico de cenizas 120. El separador ciclónico de cenizas 120 utiliza las fuerzas centrífugas para separar el material en partículas de cenizas del gas de combustión. Preferiblemente, al menos aproximadamente el 50% del material en partículas de cenizas se puede separar del gas de combustión. Los expertos ordinarios en la técnica reconocerán que el separador ciclónico de cenizas 120 debería separar al menos una parte (y preferiblemente al menos una parte sustancial) del material en partículas de cenizas mayor (p. ej. mayor que aproximadamente 10 micras) del gas de combustión, pero puede no separar una parte sustancial del material en partículas de cenizas menor (p. ej. menor que aproximadamente 1 micra). Por ejemplo, al menos aproximadamente el 80% (preferiblemente al menos aproximadamente el 90%) de material en partículas de cenizas mayor que aproximadamente 10 micras puede ser separado del gas de combustión. Un ejemplo de colector ciclónico de cenizas 120 integrado con la cámara de combustión 110 se describe con mayor detalle con respecto a la Figura 10.

El gas de combustión procedente del separador ciclónico de cenizas 120 se suministra entonces a una turbina de gas 130 que comprende la sección 131 de turbina y la sección 132 de compresor. La expansión del gas de combustión a través de la sección 131 de turbina proporciona energía mecánica para accionar a la sección 132 de compresor. La expansión del gas de combustión a través de la sección 131 de turbina proporciona también la energía mecánica necesaria para accionar al generador 140 para generar energía eléctrica. Según se representa en la Figura 1, la turbina de gas 130 puede tener un único árbol 133, de modo que tanto la sección 131 de turbina como la sección 132 de compresor pueden ser accionadas por una sola turbina. Alternativamente, aun cuando no se representa, la sección 131 de turbina puede comprender dos árboles que operan a diferentes velocidades de giro, por ejemplo se puede utilizar un primer árbol (no representado) para accionar a la sección 132 de compresor y se puede utilizar un segundo árbol (no representado) para accionar un generador 140.

La turbina de gas 130 puede ser cualquier turbina de gas adecuada. Por ejemplo, la turbina de gas 130 puede ser una turbina encendida por gas, en donde el quemador ha sido reemplazado por la cámara de combustión 110. También, la turbina de gas 130 puede tener cualquiera de una diversidad de relaciones de presión, por ejemplo turbinas de gas adecuadas para su uso pueden tener relaciones de presión en el intervalo de aproximadamente 8:1 a aproximadamente 20:1. Además, la turbina de gas 130 puede ser capaz de un doble encendido, en donde la turbina de gas puede ser encendida utilizando un combustible auxiliar, por ejemplo gas, propano o un combustible líquido. El combustible auxiliar puede utilizarse, por ejemplo, cuando el sistema de alimentación presurizado 100 y/o los sistemas de entrada de combustible 200, 300 (según se representa en las Figuras 2 y 3) no operan, tal como cuando uno o los dos de estos sistemas se encuentran desconectados para su mantenimiento.

La sección 132 de compresor aspira aire a través de la entrada de aire 134. La sección 131 de turbina acciona a la sección 132 de compresor para comprimir el aire y producir una corriente de aire comprimido 135. Se puede utilizar un motor auxiliar (no representado) para accionar la sección 132 de compresor durante el arranque del sistema. Una primera porción de la corriente de aire comprimido 135 puede ser suministrada a la cámara de combustión a través de la tubería de alimentación de aire comprimido 112. Una segunda porción 136 de la corriente de aire comprimido 135 procedente de la sección 132 de compresor puede transportar las partículas de biomasa desde el sistema de alimentación presurizado 100 a la cámara de combustión 110 en una tubería de alimentación de combustible presurizada 102. Según se necesite para una aplicación particular, se puede utilizar un segundo compresor (no representado) para comprimir adicionalmente esta segunda porción 136. También, según se necesite para una aplicación particular, la segunda porción 136 de la corriente de aire comprimido 135 procedente de la sección 132 de

compresor se puede enfriar mediante un intercambiador de calor (no representado) para evitar la combustión de las partículas de biomasa antes de que penetren en la cámara de combustión 110.

La corriente de escape 137, obtenida al expandir el gas de combustión a través de la sección 131 de turbina, puede encontrarse en o próxima a la presión atmosférica y a una temperatura en el intervalo de aproximadamente 316-649°C (600-1.200°F) y, en algunos ejemplos, en el intervalo de aproximadamente 482-538°C (900-1.000°F). Según se desee para una aplicación particular, la corriente de escape 137 se puede utilizar directa o indirectamente para proporcionar energía térmica para una aplicación particular. Por ejemplo, la corriente de escape 137 se puede utilizar para generar vapor, calentar otro fluido que pueda utilizarse para fines de calentamiento, precalentar las partículas de biomasa y/o secar las partículas de biomasa. Según se representa en la Figura 1, la corriente de escape 137 se puede hacer pasar a través de una unidad de recuperación de calor 150 (p. ej. un intercambiador de calor) con el fin de proporcionar energía térmica para una aplicación deseada. De la unidad de recuperación de calor 150, la corriente de escape 152 sale del sistema a través de la pila 160.

Haciendo ahora referencia a la Figura 2, se ilustran esquemáticamente un ejemplo de sistema de alimentación presurizado 100 y un ejemplo de sistema de entrada de combustible 200. El sistema de entrada de combustible 200 suministra partículas de biomasa dimensionadas y secadas al sistema de alimentación presurizado 100. El sistema de entrada de combustible 200 comprende, generalmente, la tolva de entrada 210 que puede recibir partículas de biomasa de una o más fuentes (p. ej. camiones, vehículos ferroviarios, sistemas transportadores, depósitos de almacenamiento, silos, etc.). El transportador de biomasa 220 mueve las partículas de biomasa desde la tolva de entrada 210 a la cámara de entrada 230 a la presión esencialmente atmosférica. El transportador de biomasa 220 puede ser cualquier dispositivo adecuado para mover las partículas de biomasa hacia la cámara de entrada 230, por ejemplo el transportador de biomasa 220 puede ser un transportador de tornillo sin fin.

Se pueden utilizar métodos alternativos para suministrar combustible clasificado y secado al sistema de alimentación presurizado 100. Por ejemplo, la Figura 3 representa esquemáticamente un sistema de entrada de combustible 300 alternativo. El sistema de entrada de combustible 300 alternativo es similar al sistema de entrada de combustible 200 representado en la Figura 2, excepto que el sistema de entrada de combustible alternativo comprende, además, un transportador de transferencia 310, equipo de clasificación 320, equipo de secado 330 y silo de almacenamiento 340 de la biomasa. La biomasa bruta se suministra al sistema de entrada de combustible 300 alternativo, en donde la biomasa bruta se clasifica y se seca para producir partículas de biomasa adecuadas para la combustión en la cámara de combustión 110.

Según se representa en la Figura 3, una o más fuentes pueden suministrar biomasa bruta a la tolva de entrada 210. El transportador de transferencia 310 mueve entonces la biomasa bruta desde la tolva de entrada 210 al equipo de clasificación 320. Como una alternativa a un sistema transportador se puede utilizar un cargador de extremo delantero u otro equipo adecuado para mover la biomasa bruta al equipo de clasificación 320. El equipo de clasificación 320 puede incluir cualquier equipo adecuado para reducir el tamaño de la biomasa bruta a un tamaño adecuado para la combustión ciclónica, por ejemplo con una dimensión principal menor que aproximadamente 3 mm. Por ejemplo, el equipo de clasificación 320 puede incluir un equipo de trituración, dispositivos de molienda y/o pulverizadores. Las partículas de biomasa producidas por el equipo de clasificación 320 se transfieren luego al equipo de secado 330. El equipo de secado 330 puede incluir cualquier equipo adecuado para reducir el contenido de humedad de las partículas de biomasa a un nivel adecuado para la combustión ciclónica, por ejemplo un contenido de humedad menor que aproximadamente 30%. Un ejemplo de un equipo de secado 330 adecuado puede incluir un secador del tipo de tambor rotatorio con accionamientos eléctricos. Tal como se comenta anteriormente, el calor recuperado de la corriente de escape 137 se puede utilizar directa o indirectamente para proporcionar al menos una parte del calor necesario para el equipo de secado 330. Aun cuando no se representa en la Figura 3, el equipo de separación se puede utilizar para separar materiales no combustibles (p. ej. metales no deseados) de la biomasa bruta antes de alimentarlos al equipo de clasificación 320 y al equipo de secado 330. Una vez que las partículas de biomasa se secan en el equipo de secado 330, las partículas de biomasa dimensionadas y secadas son desplazadas al silo de almacenamiento de biomasa 340. Las partículas de biomasa se pueden desplazar al silo de almacenamiento de biomasa 340 utilizando cualquier metodología adecuada, por ejemplo se pueden transportar por medios neumáticos. El silo de almacenamiento de biomasa 340 puede ser un silo cerrado con una capacidad suficiente para una aplicación particular. Por ejemplo, el silo de almacenamiento de biomasa 340 puede tener una capacidad suficiente para almacenar hasta 24 horas los requisitos de alimentación del sistema con turbina de gas presurizada de combustible de biomasa y encendido directo, de modo que no se interrumpe el funcionamiento del sistema debido a una incapacidad temporal de la biomasa bruta. El transportador de biomasa 220 desplaza las partículas de biomasa desde el silo de almacenamiento de biomasa 340 a la cámara de entrada 230 sustancialmente a la presión atmosférica.

Aunque no se representa en la Figura 3, en determinadas realizaciones, por ejemplo en los casos en los que la biomasa bruta comprende ramas de árboles (p. ej. de hasta aproximadamente 30,48 cm (12 pulgadas) de diámetro) el equipo de clasificación 320 puede incluir una operación de trituración para reducir la biomasa bruta a un tamaño adecuado para su uso en el equipo de secado 330. En estas realizaciones, a continuación del equipo de secado 330 se

puede utilizar un equipo de clasificación adicional (no representado) (p. ej. un dispositivo de molienda, un pulverizador, etc.) para reducir adicionalmente el tamaño de la biomasa bruta a un tamaño adecuado para la combustión ciclónica en la cámara de combustión 110.

5 El sistema de alimentación presurizado 100 se ilustra esquemáticamente por las Figuras 2 y 3. En general, el sistema de alimentación presurizado 100 recibe partículas de biomasa sustancialmente a la presión atmosférica y suministra las partículas de biomasa a la cámara de combustión 110 bajo presión. El sistema de alimentación presurizado comprende generalmente la cámara de entrada 230, la cámara de transferencia 240, la cámara de alimentación 250 y la válvula rotatoria 260. Las válvulas 242, 244 y el compresor de aire 270 permiten la transferencia de las partículas de biomasa de la cámara de entrada 230, a la presión atmosférica, a la cámara de alimentación 250 a una presión mayor que la presión de trabajo de la cámara de combustión 110.

10 Una primera válvula 242 está situada en la entrada de la cámara de transferencia 240, y una segunda válvula 244 está situada en la descarga de la cámara de transferencia 240. Aunque no se representa en las Figuras 2 y 3, cada una de las válvulas 242, 244 puede ser eléctricamente controlada por una válvula de solenoide. Cuando está abierta, la primera válvula 242 permite que las partículas de biomasa en la cámara de entrada 230 se desplacen a la cámara de transferencia 240. Cuando está abierta, la segunda válvula 244 permite que las partículas de biomasa en la cámara de transferencia 240 se desplacen a la cámara de alimentación 250. Para mantener la presión en la cámara de alimentación 250, la primera válvula 242 debería estar cerrada cuando la segunda válvula 244 está abierta. El movimiento de las partículas de biomasa desde la cámara de entrada 230 a la cámara de transferencia 240 y luego a la cámara de alimentación 250, utiliza generalmente, fuerzas gravitatorias. Las válvulas 242, 244 pueden ser cualquier válvula adecuada, capaz de mantener el diferencial de presión entre la cámara de transferencia 240 y la cámara de alimentación 250, al tiempo que ciclan una vez por minuto o incluso con mayor frecuencia. Por ejemplo las válvulas 242, 244 pueden ser válvulas de compuerta de corredera.

15 La válvula de aire 276 permite la presurización de la cámara de transferencia 240 a una presión mayor que la presión de trabajo de la cámara de combustión 110 al introducir aire comprimido procedente de un depósito de aire 274 a través del conducto de aire 278. Al depósito de aire 274 se le suministra aire comprimido procedente del compresor de aire 270 a través del conducto 272. La válvula 246 permite la despresurización de la cámara de transferencia 240, por ejemplo a la presión atmosférica.

20 La cámara de alimentación 250 incluye un mezclador 252 (p. ej. un mezclador de paletas, un mezclador de cinta o cualquier otro equipo mezclador adecuado) para prevenir (o reducir) la aglomeración de las partículas de biomasa y para facilitar el movimiento de las partículas de biomasa a la válvula rotatoria 260.

25 La válvula rotatoria 260 suministra las partículas de biomasa bajo presión desde la cámara de alimentación 250 a la tubería de alimentación de combustible presurizada 102. La válvula rotatoria 260 debería ser construida y dispuesta para alimentar cantidades variables de partículas de biomasa en base a los requisitos operativos de la cámara de combustión 110 por medio de un motor de accionamiento de velocidad variable (no representado). La válvula rotatoria 260 está construida y dispuesta adicionalmente para minimizar las pulsaciones de combustión en la cámara de combustión 110, al descargar la cantidad más pequeña de partículas de biomasa posible dentro de las limitaciones impuestas por las características de flujo gravimétrico de las partículas de biomasa. Las características del flujo gravimétrico de las partículas de biomasa se optimizan por parte la acción de agitación del mezclador 252 antes de la entrada de la válvula rotatoria 260. La válvula rotatoria 260 acepta entonces las partículas de biomasa en alojamientos especialmente proyectados, alternados en zig-zag por la anchura de la válvula rotatoria. La velocidad rotativa de los alojamientos de válvula controla la cantidad de partículas de biomasa suministradas a la tubería de alimentación de combustible presurizada 102. La cantidad mínima de partículas en cada uno de los alojamientos de válvula facilita el suministro más uniforme posible de partículas de biomasa a la cámara de combustión 110 con pulsaciones mínimas. Aunque no se representa en las Figuras 2 y 3, la válvula rotatoria 260 puede montarse dentro de un recipiente a presión, de modo que pueda trabajar bajo presión, por ejemplo a una presión mayor que la presión de trabajo de la cámara de combustión 110. En una realización, la válvula rotatoria 260 trabaja a aproximadamente 150 psig.

30 El sistema de alimentación presurizado 100 puede utilizarse para proporcionar un suministro continuo de partículas de biomasa a la cámara de combustión 110. En funcionamiento, el transportador de biomasa 220 suministra partículas de biomasa a la cámara de entrada 230. El flujo de partículas de biomasa a la cámara de transferencia 240 se controla por parte de la primera válvula 242. La primera válvula 242 se puede abrir para transferir partículas de biomasa desde la cámara de entrada 230 a la cámara de transferencia 240. Para mantener la presión en la cámara de alimentación 250, la segunda válvula 244 debería ser cerrada cuando las partículas de biomasa están siendo transferidas a la cámara de transferencia 240. Una vez que las partículas de biomasa han sido transferidas a la cámara de transferencia 240, la primera válvula 242 se cierra y se presuriza la cámara de transferencia 240. Para presurizar la cámara de transferencia 240, se abre la válvula de aire 276 y el aire comprimido procedente del depósito de aire 274 se introduce en la cámara de transferencia 240. La cámara de transferencia 240 debería ser presurizada a una presión mayor que la presión de trabajo de la cámara de combustión 110. La segunda válvula 244 se puede luego abrir para

mover las partículas de biomasa bajo presión desde la cámara de transferencia 240 a la cámara de alimentación 250. La cámara de alimentación 250 se mantiene generalmente a presión para facilitar la transferencia de las partículas de biomasa a la cámara de combustión 110. Por ejemplo, la cámara de alimentación 250 se puede mantener a una presión mayor que la presión de trabajo de la cámara de combustión 110. Para mantener la presión en la cámara de alimentación 250, la primera válvula 242 debería permanecer cerrada durante la transferencia de las partículas de biomasa a la cámara de alimentación 250. Después de transferir las partículas de biomasa a la cámara de alimentación 250, la segunda válvula 244 se puede cerrar, y la cámara de transferencia 240 se puede despresurizar a la presión atmosférica abriendo la válvula 246. El ciclo de presión en la cámara de transferencia 240 desde la presión atmosférica a una presión mayor que la presión de trabajo de la cámara de combustión 110 se puede repetir cada minuto o incluso con mayor frecuencia. Sin embargo, este ciclo de presión también se puede producir a una frecuencia menor que una vez por minuto. La transferencia de partículas de biomasa a la cámara de transferencia 240 también se puede entonces repetir. Este tiempo de ciclo se puede variar en base a un cierto número de factores, incluido el volumen de las partículas de biomasa, la capacidad de la cámara de transferencia 230 y la cámara de alimentación 240 y el caudal deseado de partículas de biomasa hacia la cámara de combustión 110.

La válvula rotatoria 260 debería suministrar de forma continua las partículas de biomasa bajo presión desde la cámara de alimentación 250 a la tubería de alimentación de combustible presurizado 102. La segunda porción 136 de la corriente de aire comprimido 135 procedente de la sección 110 de compresor puede transportar las partículas de biomasa desde el sistema de alimentación presurizado 100 a la cámara de combustión 110 en una tubería de alimentación de combustible presurizado 102. Las partículas de biomasa deberían suministrarse a la cámara de combustión 110 a una velocidad suficiente para cumplir los requisitos operativos de la cámara de combustión 110, de modo que se pueda conseguir la salida deseada de energía desde la turbina de gas 130. Aunque no se representa en las Figuras 2 y 3, se puede utilizar un compresor de aire (tal como un compresor de aire 270 o un segundo compresor de aire) para transportar las partículas de biomasa desde el sistema de alimentación presurizado 100 a la cámara de combustión 110 en la tubería de alimentación de combustible presurizada 102. El compresor de aire se puede utilizar en lugar de o en combinación con el gas presurizado procedente de la sección 110 de compresor.

Los expertos ordinarios en la técnica, con el beneficio de esta descripción, comprenderán que se pueden utilizar sistemas de alimentación presurizados alternativos para suministrar partículas de biomasa a la cámara de combustión 110 bajo presión, con la condición de que se puedan suministrar suficientes partículas de biomasa para cumplir los requisitos de trabajo de la cámara de combustión 110.

La Figura 4 ilustra esquemáticamente un ejemplo de combustor ciclónico 400 para la combustión presurizada de partículas de biomasa en la cámara de combustión 110. Como se representa en la Figura 4, el combustor ciclónico 400 comprende generalmente una armazón exterior metálica 410, una camisa de combustión 420 que forma una cámara de combustión 110 configurada de modo esencialmente cilíndrico. El combustor ciclónico 400 comprende, además, una entrada de alimentación de biomasa 414 formada a través de la camisa de combustión 420 para recibir partículas de biomasa procedentes del sistema de alimentación presurizado 100 a través de la tubería de alimentación de combustible presurizada 102. Para la salida del gas de combustión y el material en partículas de cenizas producido en el interior de la cámara de combustión 110 de la combustión de las partículas de biomasa, el combustor ciclónico comprende, además, una salida 416 de la cámara de combustión. Además, esta dispuesta una pluralidad de toberas de aire 430a, 430b, 430c, etc. para introducir aire comprimido en la cámara de combustión 110.

La armazón exterior 410 puede tener una forma generalmente cilíndrica. La armazón exterior metálica rodea a la camisa de combustión 420 con el fin de definir una cámara colectora de la alimentación de aire 412 entre la armazón exterior 410 y la camisa de combustión 420. La camisa de combustión 420 puede tener una forma generalmente cilíndrica y define la cámara de combustión 110. La camisa de combustión 420 debería comprender un material que sea adecuado para las condiciones de trabajo de la cámara de combustión 110. En algunas realizaciones, los materiales pueden ser adecuados para temperaturas de hasta aproximadamente 1.649°C (3.000°F). Ejemplos de materiales adecuados incluyen materiales refractarios y metales.

La cámara de combustión 110 recibe partículas de biomasa para su combustión a través de la entrada de alimentación de biomasa 414 en un extremo de la cámara de combustión 110. La entrada de alimentación de biomasa 414 está formada a través de la armazón exterior 410 y la camisa de combustión 420. Según se ilustra por la Figura 5, la entrada de alimentación de biomasa 414 debería estar formada con una componente tangencial con respecto al eje longitudinal de la camisa de combustión 420. Esta disposición fomenta el movimiento ciclónico de las partículas de biomasa en la cámara de combustión 110. La tobera de aire 430a proporciona aire comprimido que dispersa las partículas de biomasa suministradas a la cámara de combustión 110. En la cámara de combustión 110, las partículas de biomasa son arrastradas a una velocidad tangencial mayor que aproximadamente 24,4 metros por segundo (m/s) (80 pies por segundo) (ft/s)) y, en algunos ejemplos, en el intervalo de aproximadamente 30,5-61,0 m/s (100-200 ft/s).

La cámara de combustión 110 comprende generalmente tres zonas diferentes, a saber la zona de ignición 402, la zona de combustión 404 y la zona de dilución 406. Estas tres zonas están dispuestas longitudinalmente a lo largo del

eje de la cámara de combustión 110 con la zona de ignición 402 en un extremo de la cámara de combustión 110, y la zona de dilución 406 en el otro extremo de la cámara de combustión 110. La zona de combustión 404 está situada entre la zona de ignición 402 y la zona de dilución 406.

En la cámara de combustión 110, las partículas de biomasa se queman para producir ceniza en partículas y un gas de combustión presurizado y caliente. Las partículas de biomasa penetran en la cámara de combustión 110 en la zona de ignición 402. En la zona de ignición 402, las partículas de biomasa deberían ser calcinadas. Debería suministrarse una cantidad suficiente de aire comprimido a la zona de ignición 402 a través de las toberas de aire 430a, 430b, 430c para calcinar las partículas de biomasa y facilitar al menos una combustión parcial de las partículas de biomasa. Una cantidad subestequiométrica de aire comprimido se puede suministrar a la zona de ignición 402 a través de las toberas de aire 430a, 430b, 430c, de modo que las partículas de biomasa y el oxígeno en el aire comprimido reaccionen en una combustión subestequiométrica. La combustión subestequiométrica puede ser deseada, en algunos ejemplos, para controlar la temperatura de la llama de las partículas de biomasa con el fin de reducir la formación de óxidos nitrosos procedentes de la combustión de las partículas de biomasa.

Las partículas de biomasa y los productos de la combustión pasan desde la zona de ignición 402 a la zona de combustión 404, en donde se completa la combustión de las partículas de biomasa. Además de un suministro suficiente de aire comprimido para la combustión, el aire comprimido suministrado a la zona de combustión 404 por parte de las toberas de aire 430d, 430e, 430f, 430g, 430h, también diluye a los productos de la combustión.

Después de atravesar la zona de combustión 404, los productos de la combustión penetran en la zona de dilución 406. A la zona de dilución 404 debería suministrarse una cantidad suficiente de aire comprimido por parte de las toberas de aire comprimido 430i, 430j, 430k, 430l, para completar la dilución de los productos de la combustión. La dilución completa del gas de combustión debería facilitar el enfriamiento del gas de combustión hasta una temperatura adecuada para ser utilizado en la turbina de gas 130, por ejemplo menor que aproximadamente 1.204°C (2.200°F) y, en algunos ejemplos, en el intervalo de aproximadamente 816-1.204°C (1.500-2.200°F). Se puede desear completar la dilución en la cámara de combustión 110, por ejemplo cuando el combustor 400 comprende, además, un separador ciclónico de cenizas 120, según se ilustra en la Figura 10. El gas de combustión y las cenizas en partículas producidas de la combustión de las partículas de biomasa salen de la zona de dilución 404 a través de la salida 416 de la cámara de combustión. La salida 416 de la cámara de combustión puede estar en el extremo opuesto de la cámara de combustión 110 de la entrada 414 de alimentación de biomasa.

Como se ha comentado anteriormente, el aire comprimido necesario para la combustión de las partículas de biomasa y la dilución de los productos de la combustión se suministra a la cámara de combustión 110 a través de una pluralidad de toberas de aire 430a, 430b, 430c, etc. conformadas a través de la camisa de combustión 420. Las aberturas de las toberas pueden tener generalmente una forma cónica (estrechándose hacia la cámara de combustión) y una relación de longitud/anchura que exceda de aproximadamente 2:1 y, en algunos ejemplos, en un intervalo de 3:1 a 5:1. Tal como se ilustra por las Figuras 6 y 7, las toberas de aire 430a, 430b, 430c, etc. deberían estar conformadas con una componente tangencial con respecto al eje longitudinal de la camisa de combustión 420. Esta disposición fomenta el movimiento ciclónico dentro de la cámara de combustión 110. El aire comprimido es suministrado generalmente a través de la pluralidad de toberas de aire 430a, 430b, 430c, etc. a una velocidad tangencial mayor que aproximadamente 30,5 m/s (100 ft/s) y, en algunos ejemplos, en el intervalo de aproximadamente 33,5-45,7 m/s (110-150 ft/s). Las toberas de aire 430a, 430b, 430c, etc. están en comunicación con una cámara de sobrepresión de alimentación de aire 412, a la que se le suministra aire comprimido a través de la tubería de alimentación de aire comprimido 112 procedente de la sección 132 de compresor. La tubería de alimentación de aire comprimido 112 suministra el aire comprimido a la cámara de sobrepresión de alimentación de aire 412 a través de la entrada de aire 418 conformada a través de la armazón exterior 410.

Las toberas 430a, 430b, 430c, etc. deberían construirse y disponerse para suministrar el aire necesario en cada una de las zonas de la cámara de combustión 110. Filas que contienen al menos una de la pluralidad de toberas de aire 430a, 430b, 430c, etc. están generalmente separadas a lo largo de la longitud de la camisa de combustión 420 en el intervalo de aproximadamente 2 filas a aproximadamente 20 o más filas. En un ejemplo, existen 12 filas separadas a lo largo de la longitud de la camisa de combustión 420. En un ejemplo, 4 filas en la zona de ignición 402, 5 filas en la zona de combustión 404 y 3 filas en la zona de dilución 406. Cada fila puede contener de 1 a aproximadamente 20 o más toberas distribuidas en el mismo plano. Según se indica en las Figuras 4-10, las toberas de aire 430a, 430b, 430c, etc. pueden estar dispuestas en un diseño alternado en zig-zag, en donde al menos una tobera en cada una de las filas está desplazada 90° a lo largo de la circunferencia de la camisa de combustión 420 con respecto a la fila precedente. Por ejemplo, las toberas de aire 430b pueden estar desplazadas 90° a lo largo del eje longitudinal de la camisa de combustión 420 con respecto a las toberas de aire 430c.

También, cada una de la pluralidad de toberas de aire 430a, 430b, 430c, etc. puede tener el mismo tamaño o tamaños diferentes según se desee para una aplicación particular. Por ejemplo, las toberas de aire 430a, 430b, 430c, etc. en la misma fila y/o zona pueden ser del mismo tamaño o de tamaños diferentes según se desee para una

5 aplicación particular. El tamaño de las toberas se puede ajustar para controlar el flujo de aire que penetra en las zonas de la cámara de combustión 110 y, así, controlar la temperatura de la llama de las partículas de biomasa. Según se desee, se puede ajustar la temperatura de la llama para reducir la formación de óxidos de nitrógeno procedentes de la combustión. En algunas realizaciones, al menos una tobera en cada una de las filas puede aumentar de tamaño a lo largo de la longitud de la camisa de combustión 420 procedente de la entrada de alimentación de biomasa 414. En un ejemplo, las toberas 430a, 430b, 430c, etc. pueden aumentar linealmente de tamaño. Aunque no se ilustra en la Figura 4, las toberas 430b serían mayores que las toberas 430a, las toberas 430c serían mayores que las toberas 430b, siendo las toberas 430i, 430j, 430k, 430l las toberas más grandes en la camisa de combustión 420. En algunas realizaciones, las toberas de aire 430a, 430b, 430c, de la zona de ignición 402 y las toberas 430d, 430e, 430f, 430g, 430h de la zona de combustión 404 pueden aumentar de tamaño a lo largo del eje longitudinal de la cámara de combustión 110 procedente del conducto de alimentación de biomasa 414. Por ejemplo, en un ejemplo, las toberas 430d, 430e, 430f, 430g, 430h de la zona de combustión 404 pueden ser mayores que la tobera más grande en la zona de ignición 402. Los agujeros en la zona de dilución 406 pueden ser del mismo tamaño o mayores que las toberas más grandes en la zona de ignición 402 y la zona de combustión 404.

15 Los expertos ordinarios en la técnica reconocerán que se puede utilizar un modelo del fluido por ordenador para determinar el tamaño óptimo de las toberas, la velocidad tangencial del aire comprimido, el número de toberas en cada una de las zonas de la cámara de combustión 110 y la cantidad de aire comprimido suministrado a cada una de las zonas.

20 El combustor 400 puede comprender, además, el quemador 440. El quemador 440 puede trabajar en un combustible auxiliar, tal como gas natural, propano, o un combustible líquido. El quemador 440 puede utilizarse durante el arranque del combustor 400 para calentar la camisa de combustión 410 hasta una temperatura suficiente para calcinar los materiales en partículas de la biomasa y/o calcinar los materiales en partículas de la biomasa durante un período de tiempo deseado durante el arranque. El quemador 440 puede estar dimensionado solamente para el arranque o, alternativamente, el quemador 440 puede estar dimensionado para permitir un rendimiento completo a través del sistema, de modo que la potencia eléctrica del generador 140 pueda permanecer constante, por ejemplo en los casos en los que pueda limitarse el suministro de partículas de biomasa. En un ejemplo, el quemador 440 es capaz de un encendido directo de una turbina de gas, tal como la turbina de gas 130.

30 La Figura 8 ilustra esquemáticamente un combustor ciclónico 800 alternativo. El combustor ciclónico 800 es similar al combustor ciclónico 400 representado en la Figura 4, excepto que el combustor ciclónico 800 comprende una pluralidad de cámaras colectoras de alimentación de aire 810, 820, 830, definidas entre la armazón externa 410 y la camisa de combustión 420. La pluralidad de cámaras colectoras de combustión de aire 810, 820, 830 están separadas por una pluralidad de tabiques 840, 850. Cada una de la pluralidad de cámaras colectoras de la alimentación de aire 810, 820, 830 está en comunicación con al menos una de la pluralidad de toberas de aire 430. Por ejemplo, la primera cámara 810 está en comunicación con las toberas de aire 430a, 430b, 430c. A las toberas de aire 430a, 430b, 430c, etc. se les suministra aire a partir del conducto de alimentación de aire comprimido 112 a través de las cámaras colectoras de alimentación de aire 810, 820, 830. Cada una de la pluralidad de cámaras colectoras de alimentación de aire 810, 820, 830 comunica con una porción respectiva 112a, 112b, 112c de la tubería de alimentación de aire comprimido 112 procedente de la sección 132 de compresor. De acuerdo con los requisitos operativos de cada una de las zonas de la cámara de combustión 110, el suministro de aire comprimido a cada una de la pluralidad de cámaras colectoras de alimentación de aire 810, 820, 830 se controla por una pluralidad de válvulas 860, 870, 880, respectivamente. Por ejemplo, la válvula 860 debería controlar el suministro de aire comprimido hacia la zona de ignición 402 de la cámara de combustión 110 para asegurar un suministro suficiente de aire comprimido para calcinar las partículas de biomasa. La válvula 870 debería controlar el suministro de aire comprimido hacia la zona de combustión 404 de la cámara de combustión 110 con el fin de asegurar un suministro suficiente de aire comprimido para la combustión completa de las partículas de biomasa y para comenzar la dilución de los productos de combustión. La válvula 880 debería controlar el suministro de aire comprimido hacia la zona de dilución 406 de la cámara de combustión 110 con el fin de asegurar un suministro suficiente de aire comprimido para diluir por completo los productos de la combustión.

50 La Figura 9 ilustra esquemáticamente un combustor ciclónico 900 de acuerdo con la invención. El combustor ciclónico 900 es similar al combustor ciclónico 800 representado en la Figura 8, excepto que el combustor ciclónico 900 comprende, además, un forro intermedio 910 que tiene una forma generalmente cilíndrica entre la armazón exterior 410 y la camisa de combustión 420. Una cámara colectora de enfriamiento 920 está definida entre la armazón exterior 410 y la camisa de combustión 420. El aire comprimido procedente la sección del compresor penetra en la cámara colectora de enfriamiento 420 a través de la tubería de alimentación de aire comprimido 112 y se pre-calienta mediante calor radiante procedente de la cámara de combustión 110, enfriando con ello la cámara de combustión 110. Después de haber sido pre-calentado, este aire comprimido penetra en el tubo 930 que le separa en tres porciones 930a, 930b, 930c. Cada una de la pluralidad de cámaras colectoras de la alimentación de aire 810, 820, 830 comunica con una porción 860, 870, 880 respectiva, de modo que el aire es suministrado a una zona respectiva de la zona de combustión 110 a través de toberas de aire 430. De acuerdo con los requisitos operativos de cada una de las zonas de la cámara de combustión 110, el suministro de aire comprimido a cada una de la pluralidad de cámaras colectoras de alimentación de

aire 810, 820, 830 es controlada por una pluralidad de válvulas 860, 870, 880, respectivamente.

La Figura 10 ilustra esquemáticamente otro combustor ciclónico 1000 de acuerdo con la invención. El combustor ciclónico 1000 es similar al combustor ciclónico 900 representado en la Figura 9, excepto que el combustor ciclónico 1000 comprende, además, un separador ciclónico de cenizas 120 y un conjunto de transición 1010. En general, el separador ciclónico de cenizas 120 comprende un elemento de estrangulación 1020, un orificio 1030 para cenizas en partículas conformado entre el elemento de estrangulación 1020 y la camisa de combustión 420 y un pasaje 1040 para la recogida de cenizas en comunicación con la cámara de combustión 110 a través del orificio 1030 para cenizas en partículas.

A la salida de la zona de dilución 406 de la cámara de combustión 110 está previsto un elemento de estrangulación 1020 situado centradamente y provisto de una abertura 1022 en su interior. La abertura 1022 en el elemento de estrangulación 1020 puede ser de forma generalmente cilíndrica o puede tener cualquier otra forma adecuada. Por ejemplo, la abertura 1022 puede estar hecha con una forma generalmente no circular. La abertura 1022 debería tener un área en sección transversal menor que la de la cámara de combustión 110. Por ejemplo, la abertura 1022 puede tener un área en sección transversal en el intervalo de aproximadamente 80% a aproximadamente 90% del área en sección transversal de la cámara de combustión 110. Si se desea, el elemento de estrangulación 1020 puede estar revestido con un material (p. ej. un material refractario o un metal) que sea adecuado para las condiciones de trabajo de la cámara de combustión 110.

El orificio 1030 para cenizas en partículas está situado entre el elemento de estrangulación 1020 y la camisa de combustión 420. El orificio 1030 para cenizas en partículas puede extenderse de 90° a aproximadamente 180° a lo largo de la circunferencia de la mitad inferior de la camisa de combustión 420. El pasaje 1040 para la recogida de cenizas está en comunicación con la cámara de combustión 110 a través de la abertura 1030 para cenizas en partículas.

Generalmente, el conjunto de transición 1010 debería ser construido y dispuesto para minimizar la transferencia de fuerzas desde el combustor ciclónico 1000 a la turbina de gas 130. En general, el conjunto de transición 1010 comprende una armazón exterior 1050 y un revestimiento interno 1060 que forma un pasaje 1070 para gas de combustión de forma sustancialmente cilíndrica.

La armazón externa 1050 puede tener una forma generalmente cónica, con el extremo más ancho junto a la cámara de enfriamiento 110. Alternativamente, la armazón externa 1050 puede tener una forma cilíndrica o incluso puede ser de forma no circular. La armazón externa 1050 rodea al revestimiento interno 1060 con el fin de definir una cámara colectora de enfriamiento 1080 entre la armazón externa 1050 y el revestimiento interno. El conjunto de transición 1010 debería construirse y disponerse de manera que la cámara colectora de enfriamiento 1080 del conjunto de transición 1010 esté en comunicación con la cámara colectora de enfriamiento 920 del combustor ciclónico 1000. Aun cuando no se representa en la Figura 10, la armazón externa 1050 del conjunto de transición 1010 puede ser acoplada a la armazón externa 410 del combustor ciclónico 1000 utilizando cualquier metodología adecuada, por ejemplo se puede utilizar una brida empernada para acoplar la armazón externa 1050 a la armazón externa 410.

Un pasaje 1070 para gas de combustión, de forma esencialmente cilíndrica, que comprende una entrada y una salida está definido por el revestimiento interno 1060. Alternativamente, el pasaje 1070 para gas de combustión puede tener cualquier otra forma adecuada, por ejemplo no circular. El pasaje 1070 para gas de combustión puede estrecharse desde el separador ciclónico de cenizas 120 a la salida 1090 del conjunto de transición, de modo que la salida del pasaje 1070 para gas de combustión tenga un área en sección transversal menor que la entrada. El conjunto de transición 1010 debería construirse y disponerse de manera que el pasaje 1070 para gas de combustión esté en comunicación con la cámara de combustión 110 a través de la abertura 1022 en el elemento de estrangulación 1020 del separador ciclónico de cenizas 120.

En funcionamiento, debido al movimiento ciclónico y a la elevada velocidad tangencial del gas de combustión y de las cenizas en partículas en la cámara de combustión 110, se genera sobre ellos elevadas fuerzas centrífugas. Como resultado de las fuerzas centrífugas, la ceniza en partículas gira en la cámara de combustión 110 adyacente a la camisa de combustión 410, de manera que la ceniza en partículas atraviesa la abertura 1030 para cenizas en partículas y atraviesa el pasaje 1040 de recogida de cenizas hacia la tolva de cenizas (no representada), en donde se recoge. El gas de combustión se mueve generalmente desde la cámara de combustión 110 a la abertura 1022 en el elemento de estrangulación 1020 hacia el pasaje 1070 para gas de combustión. Al tiempo que pasa a través del pasaje 1070 para gas de combustión, el gas de combustión se enfría mediante intercambio de calor con el aire comprimido en la cámara colectora de enfriamiento 1080 procedente de la alimentación de aire comprimido 112. El aire comprimido pasa a través de la cámara colectora de enfriamiento 1080 a la cámara colectora de enfriamiento 920 del combustor 1000. El gas de combustión sale generalmente por el conjunto de transición 1010 a través de la salida 1090 del conjunto de transición después de atravesar el pasaje 1070 para gas de combustión. Este gas de combustión es suministrado luego a la turbina de gas 130 según se representa en la Figura 1.

La expresión "se acoplan" o "se acopla", utilizada en esta memoria, pretende dar a entender una conexión

indirecta o directa. Así, si un primer dispositivo se acopla a un segundo dispositivo, esa conexión puede ser a través de una conexión directa o a través de una conexión eléctrica indirecta a través de otros dispositivos y conexiones.

5 La presente invención está bien adaptada, por lo tanto, para llevar a cabo los objetos y lograr los fines mencionados así como aquellos que sean inherentes. Aun cuando la invención ha sido representada, descrita y definida con referencia a ejemplos de la invención, una referencia de este tipo no implica una limitación de la invención y no debe inferirse limitación alguna de este tipo. La invención es capaz de sufrir una modificación, alteración y equivalentes de forma y función considerables, como se les ocurrirá a los expertos ordinarios en la técnica con el beneficio de esta descripción. Los ejemplos representados y descritos no son exhaustivos de la invención. Por consiguiente, se pretende que la invención quede limitada solamente por el alcance de las reivindicaciones anejas.

REIVINDICACIONES

1.- Un método para hacer funcionar un combustor ciclónico que comprende una camisa de combustión (420) que forma una cámara de combustión (110) de forma esencialmente cilíndrica, que comprende:

5 suministrar partículas de biomasa bajo presión a una zona de ignición de la cámara de combustión, en donde las partículas de biomasa se transfieren a la zona de ignición con una componente tangencial con respecto al eje longitudinal de la cámara de combustión (110);

10 suministrar aire comprimido a la zona de ignición de la cámara de combustión (110) en una cantidad suficiente para iniciar la combustión de las partículas de biomasa, en donde el aire comprimido se suministra a la zona de ignición con una componente tangencial con respecto al eje longitudinal de la cámara de combustión (110), de modo que las partículas de biomasa giran en la cámara de combustión en un movimiento ciclónico;

15 mover las partículas de biomasa calcinadas procedentes de la zona de ignición de la cámara de combustión a una zona de combustión de la cámara de combustión (110) y suministrar aire comprimido a la zona de combustión de la cámara de combustión (110) en una cantidad suficiente para completar la combustión de las partículas de biomasa, en donde el aire comprimido es suministrado a la zona de combustión con una componente tangencial con respecto al eje longitudinal de la cámara de combustión (110), de manera que las partículas de biomasa giren en la cámara de combustión (110) en un movimiento ciclónico;

mover el gas de combustión y las cenizas en partículas producidas de la combustión de las partículas de biomasa hacia una zona de dilución de la cámara de combustión (110);

20 suministrar aire comprimido a la zona de dilución de la cámara de combustión (110) en una cantidad suficiente para diluir el gas de combustión hasta una temperatura adecuada para uso en una turbina de gas, en donde el aire comprimido es suministrado a la zona de dilución con una componente tangencial con respecto al eje longitudinal de la cámara de combustión (110), de modo que la ceniza en partículas y el gas de combustión giren en la cámara de combustión (110) en un movimiento ciclónico;

25 caracterizado por las etapas de suministrar el aire comprimido a al menos una cámara colectora de aire (412) en comunicación con la cámara de combustión presurizada (110), de modo que el aire comprimido es suministrado a cada una de las zonas de la cámara de combustión (110) a través de al menos una cámara colectora de aire (412), en donde la al menos una cámara colectora de aire (412) está definida por la camisa de combustión (420) y una camisa intermedia (910) que tiene una forma generalmente cilíndrica y que rodea a la camisa de combustión (420); y

30 suministrar el aire comprimido a una cámara colectora de enfriamiento (920) en comunicación con la al menos una cámara colectora de aire (412), de modo que el aire comprimido se suministra a la al menos una cámara colectora de aire (412) a través de la cámara de enfriamiento, en donde la cámara de enfriamiento está definida por la camisa intermedia (910) y la armazón externa (410) que tiene una forma generalmente cilíndrica y rodea a la camisa intermedia (910).

35 2.- El método de la reivindicación 1, en el que el aire comprimido es suministrado a la zona de ignición, la zona de combustión y la zona de dilución a través de una pluralidad de toberas (430) conformadas a través de la camisa de combustión (420).

40 3.- El método de la reivindicación 2, en el que la pluralidad de toberas (430) en la camisa de combustión (420) están dispuestas en una pluralidad de filas separadas a lo largo de la longitud del eje longitudinal de la camisa de combustión (420), en donde cada una de las filas contiene al menos una tobera dispuesta en el mismo plano.

4.- El método de la reivindicación 3, en el que la al menos una tobera de aire en una o más de la pluralidad de filas está desplazada 90 grados a lo largo de la circunferencia de la camisa de combustión (420) con respecto a la fila precedente.

45 5.- El método de la reivindicación 3, en el que la al menos una tobera de aire en una o más de la pluralidad de filas es mayor que la al menos una tobera de aire de la camisa de combustión (420) con respecto a la fila precedente.

6.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que una cantidad sub-estequiométrica de aire comprimido se suministra a la zona de ignición.

50 7.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende, además, suministrar el aire comprimido a al menos una cámara colectora de aire (412) en comunicación con la cámara de combustión presurizada (110), de modo que el aire comprimido se suministra a cada una de las zonas de la cámara de combustión (110) a través de la al menos una cámara colectora de aire (412), en donde la al menos una cámara colectora de aire

(412) se define por la camisa de combustión (420) y una armazón exterior que tiene una forma generalmente cilíndrica que rodea a la camisa de combustión (420).

8.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende:

transferir las partículas de biomasa a la cámara de combustión presurizada (110) con una componente tangencial con respecto al eje longitudinal de la cámara de combustión (110);

mover una porción sustancial del gas de combustión a través de una abertura en un elemento de estrangulación presente en el combustor ciclónico, configurado para mejorar la separación de cenizas, en el que la abertura de la estrangulación tiene un área en sección transversal reducida en comparación con el área en sección transversal de la cámara de combustión (110); y

permitir que al menos una porción de la ceniza en partículas salga de la cámara de combustión (110) a través de una abertura (1030) de las cenizas en partículas definida entre el elemento de estrangulación (1020) y la camisa de combustión.

9.- El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en combinación con un método de encender de forma directa una turbina de gas (130) utilizando el gas de combustión procedente del combustor ciclónico, que comprende:

suministrar partículas de biomasa a una primera cámara (230) a la presión atmosférica;

presurizar la cámara de combustión (110) con aire comprimido procedente de un compresor (270);

transferir las partículas de biomasa procedentes de la primera cámara presurizada (230) a una segunda cámara presurizada (240);

transferir las partículas de biomasa procedentes de la segunda cámara presurizada (240) a la cámara de combustión presurizada (110);

separar al menos una porción de la ceniza en partículas del gas de combustión;

suministrar el gas de combustión desde la cámara de combustión (110) a una turbina de gas (130) que comprende una sección (131) de turbina;

permitir que el gas de combustión se expanda a través de la sección (131) de turbina de gas con el fin de generar energía mecánica.

10.- La combinación de método de la reivindicación 9, en el que las partículas de biomasa suministradas a la primera cámara (230) tienen una dimensión principal menor que aproximadamente 3 milímetros.

11.- La combinación de método de la reivindicación 9 ó 10, en la que la etapa de presurizar la primera cámara (230) se produce una frecuencia de una vez por minuto o menos.

12.- La combinación de método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, que comprende transferir las partículas de biomasa a la cámara de combustión presurizada (110) a una presión en el intervalo de 276 kPa a 2.069 kPa.

13.- La combinación de método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, que comprende la etapa de accionar una sección (132) de un compresor (270) de la turbina de gas (130) con la energía mecánica generada por la sección (131) de turbina, con el fin de producir una corriente de aire comprimido.

14.- La combinación de método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en la que al menos una porción de la corriente de aire comprimido procedente de la sección (132) de compresor (270) transporta las partículas de biomasa desde la segunda cámara presurizada (240) a una cámara de combustión presurizada (110).

15.- La combinación de método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, que comprende suministrar al menos una porción de la corriente de aire comprimido a la cámara de combustión presurizada (110).

16.- La combinación de método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15, que comprende la etapa de accionar un generador eléctrico (140) con la energía mecánica generada por la sección (131) de turbina con el fin de generar energía eléctrica.

17.- La combinación de método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 16, que comprende proporcionar energía térmica a partir de una corriente de escape procedente de la sección (131) de turbina.

18.- La combinación de método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 17, en donde el gas de combustión se suministra a la turbina de gas (130) a través de un pasaje (1070) en un conjunto de transición (1010), en donde la abertura está formada por un forro interno (1060).

19.- La combinación de método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 18, en la que el gas presurizado se suministra a la cámara de combustión a través de una cámara colectora de enfriamiento (920) en comunicación con la cámara de combustión (110), en donde la cámara colectora de enfriamiento (920) está definida entre el forro interno (1060) del conjunto de transición y un revestimiento externo que rodea al forro interno (1060).

20.- Un combustor ciclónico que comprende:

una camisa de combustión (420) que conforma una cámara de combustión (110) que tiene una forma generalmente cilíndrica y que se puede hacer funcionar para que tenga una zona de ignición y una zona de combustión, dispuestas longitudinalmente a lo largo del eje de la cámara de combustión (110);

una entrada de alimentación de biomasa (414) en un extremo de la cámara de combustión (110) formada a través de la camisa de combustión (420) para alojar partículas de biomasa bajo presión, en donde la entrada de alimentación de biomasa (414) se forma de modo que las partículas de biomasa sean introducidas en la zona de ignición de la cámara de combustión (110) con una componente tangencial con respecto al eje longitudinal de la camisa de combustión (420); y

una pluralidad de toberas de aire (430) formadas a través de la camisa de combustión (420) para alojar el aire comprimido, en donde la pluralidad de toberas de aire (430) están dispuestas para introducir el aire comprimido en la cámara de combustión (110) con una componente tangencial con respecto al eje longitudinal de la camisa de combustión (420), en donde la pluralidad de toberas de aire (430) están separadas a lo largo de la longitud de la camisa de combustión (420) de aproximadamente la entrada de alimentación de biomasa (414);

en donde la al menos una de la pluralidad de toberas de aire (430) se puede hacer funcionar para suministrar una cantidad suficiente de aire comprimido a la zona de ignición para la ignición de las partículas de biomasa para que comience la combustión,

en donde al menos una de la pluralidad de toberas de aire (430) se puede hacer funcionar para suministrar una cantidad suficiente de aire comprimido a la zona de combustión de las partículas de biomasa procedentes de la zona de ignición,

la camisa de combustión forma una zona de dilución aguas abajo de la zona de combustión y al menos otra de la pluralidad de toberas de aire (430) se puede hacer funcionar para que suministre una cantidad suficiente de aire comprimido a la zona de dilución para diluir el gas de combustión hasta una temperatura adecuada para uso en una turbina de gas (130);

caracterizado por un forro interno (910) que tiene una forma generalmente cilíndrica y que rodea a la camisa de combustión (420) con el fin de definir al menos una cámara colectora de aire (810, 820, 830) entre una armazón exterior (410) y la camisa de combustión (420), en donde la al menos una cámara colectora de aire (810, 820, 830) está en comunicación con la cámara de combustión (110) a través de la pluralidad de toberas de aire (430), de modo que el aire comprimido es suministrado a la cámara de combustión (110) a través de la al menos una cámara colectora (412) de alimentación de aire (112); y

la armazón exterior (410), que tiene una forma generalmente cilíndrica y que rodea al forro interior con el fin de definir una cámara colectora de enfriamiento (920) entre la armazón exterior (410) y el forro interno (910), en donde la cámara colectora de enfriamiento (920) está en comunicación con la al menos una cámara colectora de aire (810, 820, 830), de modo que el aire comprimido es suministrado a la cámara colectora de aire (810, 820, 830) a través de la cámara colectora de enfriamiento (920).

21.- El combustor ciclónico de la reivindicación 20, que comprende, además, un separador ciclónico de cenizas que comprende:

un elemento de estrangulación (1020) que comprende una abertura (1090) de área en sección transversal reducida en comparación con el área en sección transversal de la cámara de combustión (110), una entrada (1022) en comunicación con la salida de la cámara de combustión (110) para recibir el gas de combustión procedente de la cámara de combustión (110) de la zona de combustión y de dilución y una salida en comunicación con la sección (131) de turbina de la turbina de gas (130) para suministrar a la turbina de gas (130) el gas de combustión; y

una abertura (1030) para la ceniza en partículas definida entre el elemento de estrangulación (1020) y la camisa de combustión, en donde al menos una porción de la ceniza en partículas abandona la cámara de

combustión (110) a través de la abertura (1030) para la ceniza en partículas.

22.- El combustor ciclónico de las reivindicaciones 20 ó 21, en donde una cantidad sub-estequiométrica de aire comprimido se suministra a la zona de ignición.

23.- El combustor ciclónico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 22, en el que la pluralidad de toberas (430) aumenta de tamaño a lo largo de la longitud del eje longitudinal de la camisa de combustión (420).

24.- El combustor ciclónico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 23, en el que la pluralidad de toberas (430) está dispuesta en una pluralidad de filas separadas a lo largo de la longitud del eje longitudinal de la camisa de combustión (420), en donde cada una de las filas contiene al menos una tobera distribuida a lo largo del mismo plano.

25.- El combustor ciclónico de la reivindicación 24, en donde la al menos una tobera de aire (430) en una o más de la pluralidad de filas está desplazada aproximadamente 90 grados a lo largo de la circunferencia de la camisa de combustión (420) con respecto a la fila precedente.

26.- El combustor ciclónico de una de las reivindicaciones 24 ó 25, en donde la al menos una tobera de aire (430) en una o más de la pluralidad de filas es mayor que la al menos una tobera aire en la camisa de combustión (420) con respecto a la fila precedente.

27.- El combustor ciclónico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 26, en donde el combustor ciclónico comprende, además, una armazón exterior (410) que tiene una forma generalmente cilíndrica y que rodea a la camisa de combustión (420) con el fin de definir al menos una cámara colectora de aire (412) entre la armazón exterior (410) y la camisa de combustión (420), en donde la al menos una cámara colectora de aire (412) está en comunicación con la cámara de combustión (110) a través de la pluralidad de toberas de aire (430), de modo que el aire comprimido es suministrado a la cámara de combustión (110) a través de la cámara colectora de aire (412).

28.- Una combinación de combustor que comprende un combustor ciclónico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 20-27 y un sistema de turbina de gas presurizada de combustible de biomasa y encendido directo, que comprende:

un sistema de alimentación presurizado (100); y

una turbina de gas (130) que tiene:

una sección (131) de turbina que comprende una entrada en comunicación con el combustor para alojar el gas de combustión procedente de la cámara de combustión (110), en donde la sección (131) de turbina es accionada por el gas de combustión.

29.- La combinación de combustor de la reivindicación 28, en la que el sistema de alimentación presurizado (100) comprende:

una pluralidad de cámaras, en donde una primera cámara (240) recibe partículas de biomasa a la presión atmosférica y suministra a una segunda cámara (250) de partículas de biomasa bajo presión;

una primera válvula (242) situada en una entrada de la primera cámara (240);

una segunda válvula (244) situada en una salida de la primera cámara (240) que comunica con la entrada a la segunda cámara (240); y

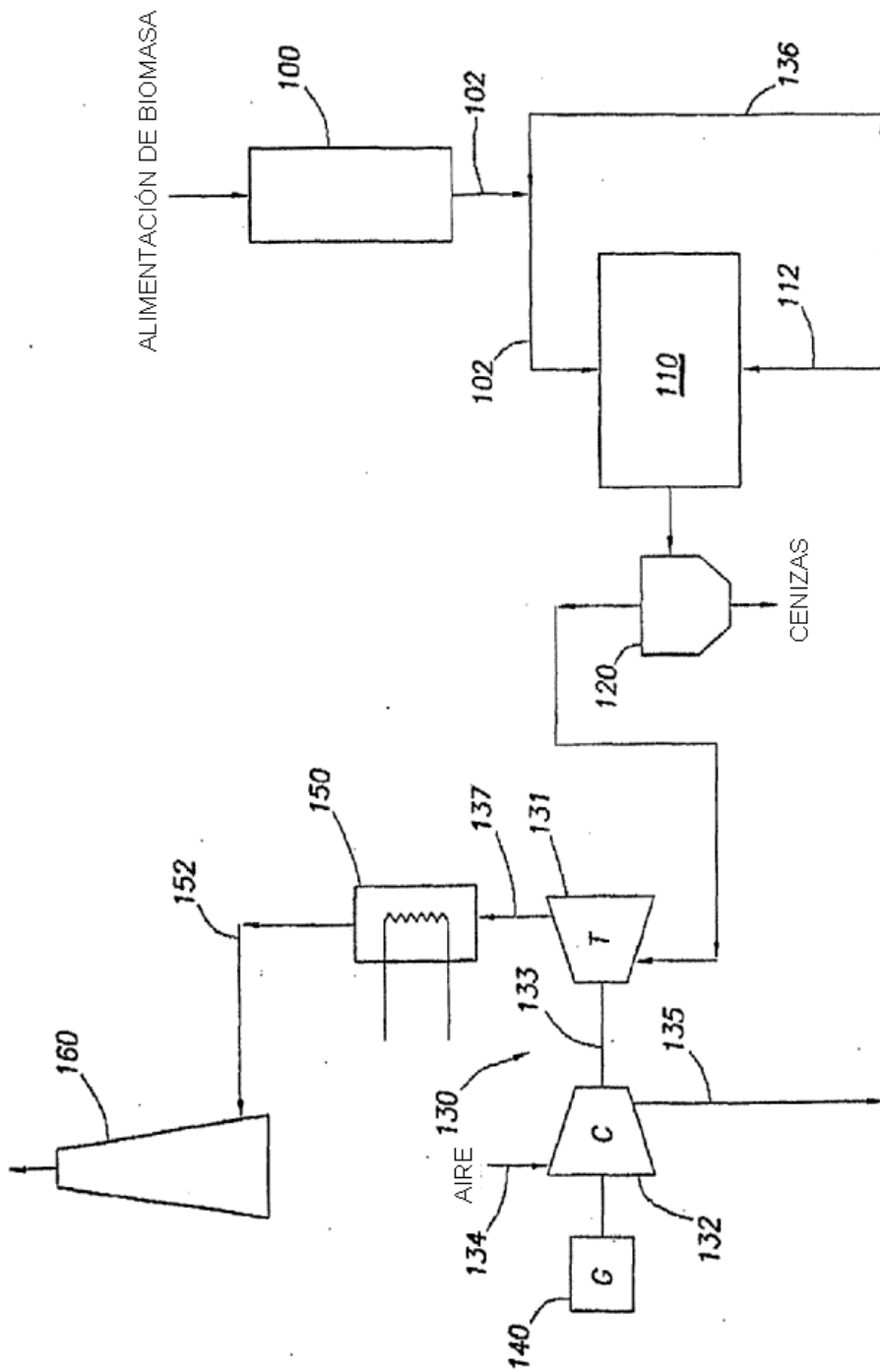
un compresor de aire (270) dispuesto para presurizar a la primera cámara (230).

30.- La combinación de combustor de la reivindicación 28 o la reivindicación 29, en la que el sistema de alimentación presurizado (100) comprende, además, una válvula rotatoria (260) dispuesta para alimentar cantidades variables de partículas de biomasa a la cámara de combustión (110).

31.- La combinación de combustor de la reivindicación 29 ó 30, en la que la primera válvula y la segunda válvula son válvulas de compuerta de corredera.

32.- La combinación de combustor de cualquiera de las reivindicaciones 28-31, en la que cada uno de la al menos una cámara colectora de aire (810, 820, 830) está en comunicación con una correspondiente alimentación de aire comprimido (112); en donde la alimentación de aire comprimido correspondiente comprende una válvula (860, 870, 880) para controlar el suministro del aire comprimido a la cámara de combustión (110) a través de la cámara colectora de aire (810, 820, 830) que está en comunicación con la válvula.

- 33.- La combinación de combustor de cualquiera de las reivindicaciones 28-32, en la que la turbina de gas (130) comprende, además, una sección (132) de compresor (270) accionada por la sección (131) de turbina de la turbina de gas (130), en donde la sección (132) de compresor (270) está dispuesta para proporcionar el aire comprimido a la cámara de combustión (110).
- 5 34.- La combinación de combustor de cualquiera de las reivindicaciones 28-33, en la que una primera porción del aire comprimido procedente de la sección (132) del compresor es suministrada a la cámara de combustión (110), y una segunda porción del aire comprimido transporta las partículas de biomasa desde el sistema de alimentación presurizado (100) a la cámara de combustión (110).
- 10 35.- La combinación de combustor de una cualquiera de las reivindicaciones 28 a 34, que comprende un intercambiador de calor (150) para enfriar la segunda porción del aire comprimido procedente de la sección (132) de compresor.
- 36.- La combinación de combustor de una cualquiera de las reivindicaciones 28 a 35, en la que la turbina de gas (130) tiene una relación de presión en el intervalo de 8:1 a 20:1.
- 15 37.- La combinación de combustor de una cualquiera de las reivindicaciones 28-36, que comprende, además, un generador eléctrico (140) acoplado a la turbina de gas (130) para generar energía eléctrica, en donde el generador eléctrico (140) es accionado por la sección (131) de turbina de la turbina de gas (130).
- 38.- La combinación de combustor de la reivindicación 37, en la que el sistema está construido y dispuesto para generar menos de 10 megavatios de electricidad.
- 20 39.- La combinación de combustor de una de las reivindicaciones 37 ó 38, en la que la turbina de gas (130) comprende un único árbol que acciona la sección (132) de compresor (270) y al generador eléctrico (140).
- 40.- La combinación de combustor de una cualquiera de las reivindicaciones 28 a 39, en la que el sistema comprende, además, una unidad recuperadora de calor en comunicación con la corriente de escape procedente de la sección (131) de turbina de la turbina de gas.
- 25 41.- El combustor ciclónico de una cualquiera de las reivindicaciones 20 a 27 o la combinación de combustor de cualquiera de las reivindicaciones 28-40, que comprende un conjunto de transición (1010) que comprende un forro interior (1060) que forma un pasaje (1070) para gas de combustión, comprendiendo el pasaje (1070) para gas de combustión una entrada en comunicación con la salida del elemento de estrangulación (1020) para recibir el gas de combustión, y una salida en comunicación con la turbina de gas (130) para suministrar el gas de combustión a la turbina de gas (130).
- 30 42.- El combustor ciclónico o la combinación de combustor de la reivindicación 41, en el que el pasaje (1070) para gas de combustión tiene un área en sección transversal menor en la salida que en la entrada.
- 43.- El combustor ciclónico o la combinación de combustor de una de las reivindicaciones 41 ó 42 que comprende, además, una armazón externa (410) que rodea a la camisa interior (420) con el fin de definir una cámara colectora de enfriamiento (920) entre la armazón exterior (410) y el revestimiento interno, en donde la cámara colectora de enfriamiento (920) está en comunicación con la pluralidad de toberas de aire (430).
- 35 44.- El combustor ciclónico de la reivindicación 20, en el que el separador ciclónico de cenizas comprende una entrada (1022) en comunicación con la salida (416) de la cámara de combustión para recibir una mezcla del gas de combustión de las cenizas en partículas, en donde el separador ciclónico de cenizas separa, al menos en parte, el gas de combustión de las cenizas en partículas y comprende, además, una salida en comunicación con la sección (131) de turbina de la turbina de gas (130) para suministrar gas de combustión a la turbina de gas (130).
- 40 45.- La combinación de combustor de cualquiera de las reivindicaciones 28 a 40, que comprende, además, un sistema de entrada de combustible para proporcionar partículas de biomasa clasificadas y secadas al sistema de alimentación presurizado.
- 45 46.- La combinación de combustor de cualquiera de las reivindicaciones 28-40 y 45, que comprende, además, un segundo compresor de aire (270) dispuesto para suministrar aire comprimido que transporta las partículas de biomasa desde el sistema de alimentación presurizado a la cámara de combustión (110).
- 47.- El combustor ciclónico de una cualquiera de las reivindicaciones 20-27, que comprende, además, un quemador (440) conectado al combustor ciclónico.



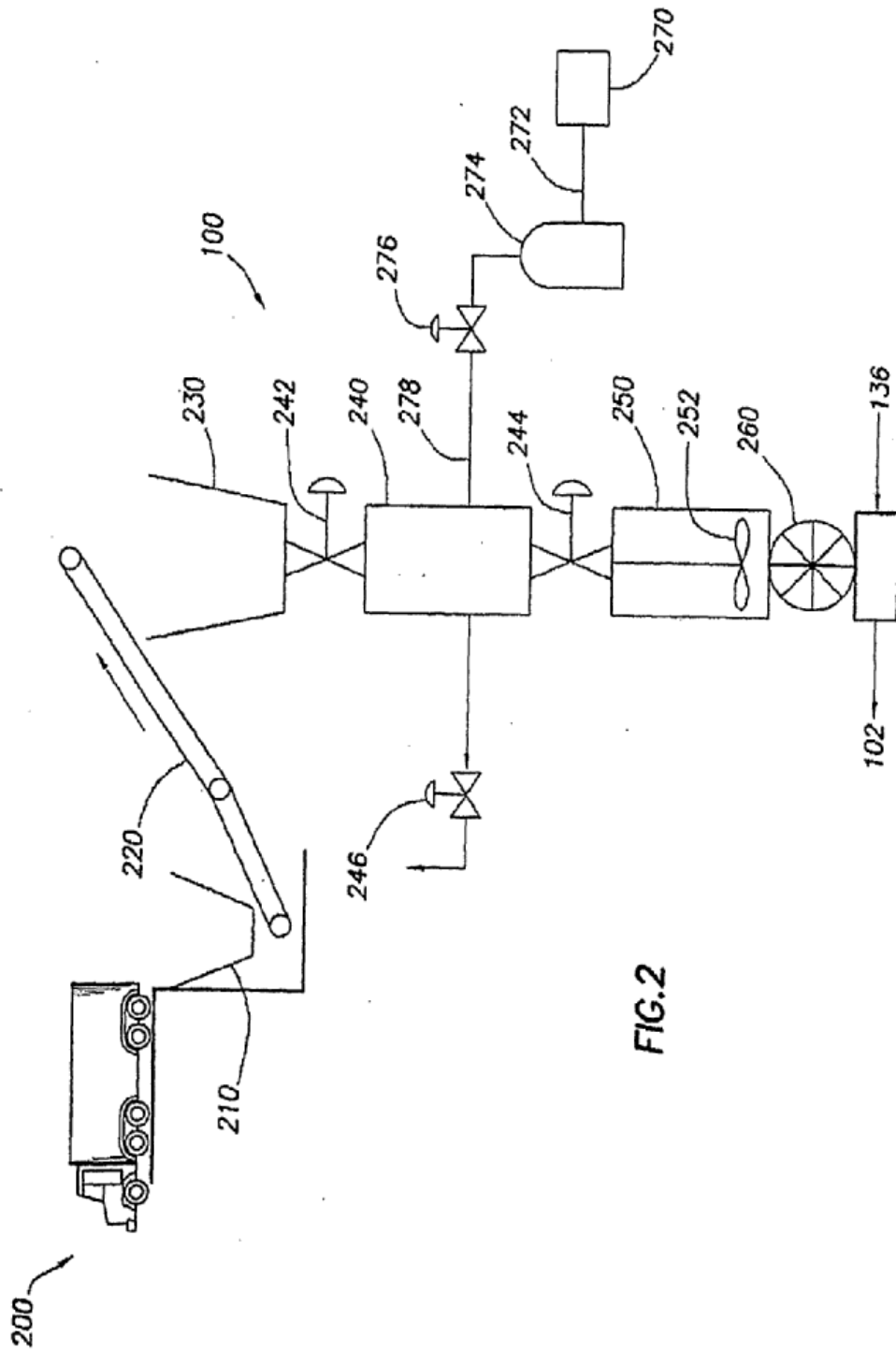


FIG.2

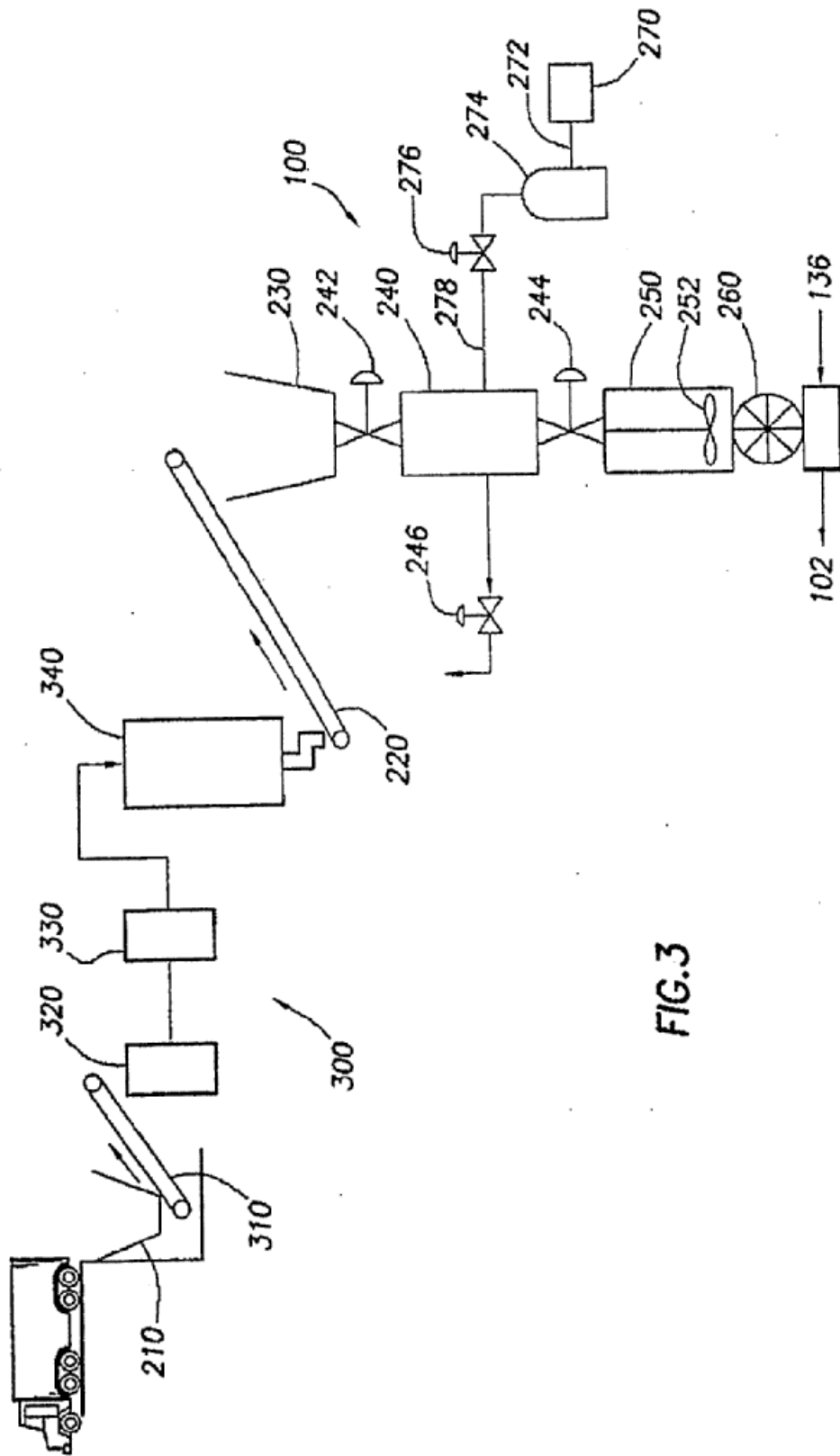


FIG. 3

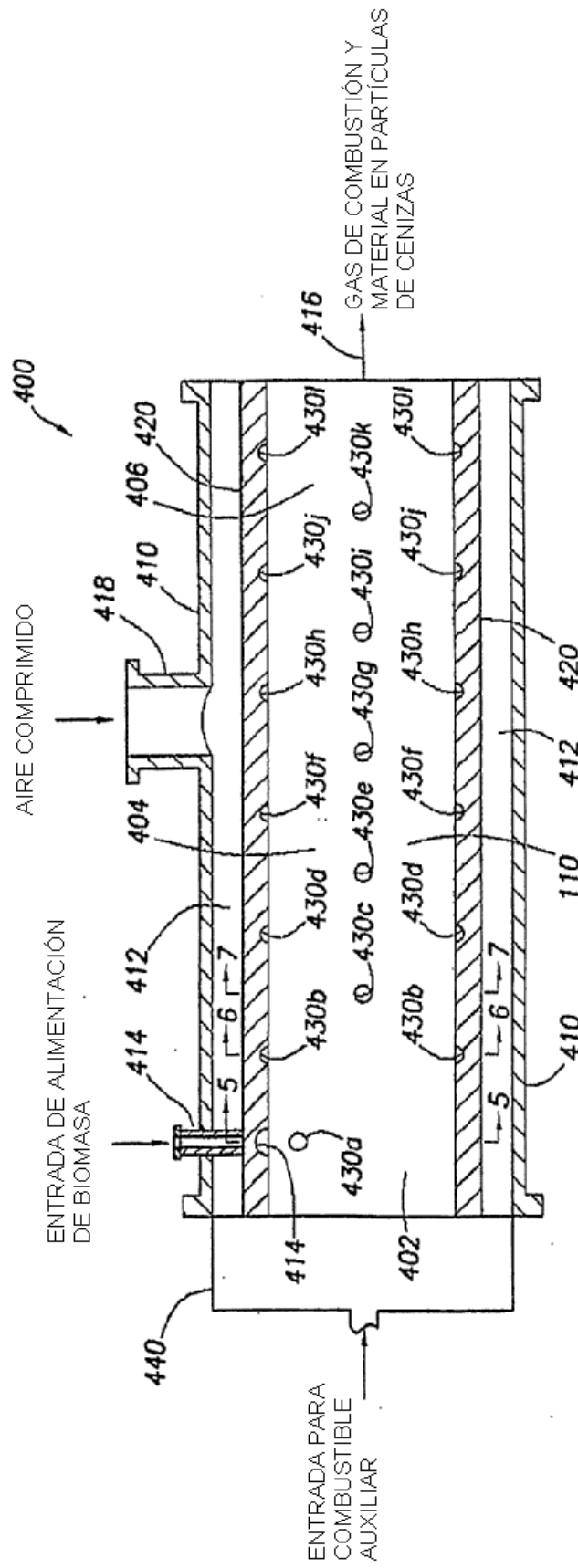


FIG.4

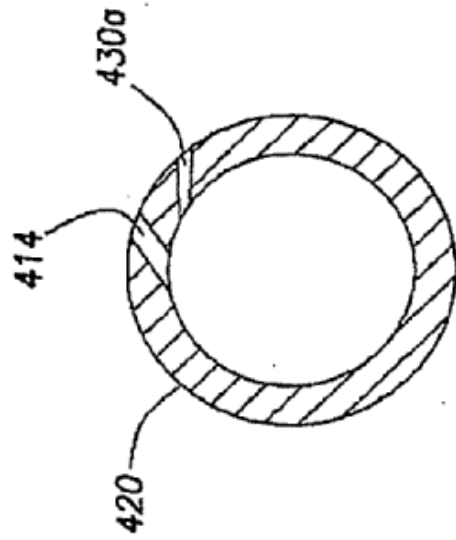


FIG. 5

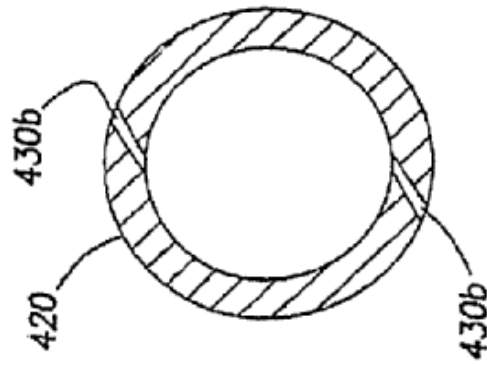


FIG. 6

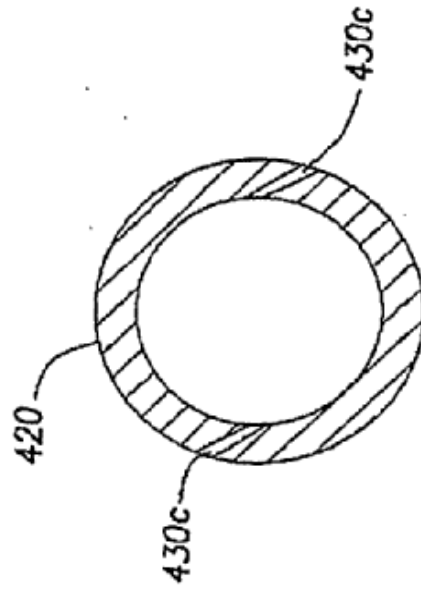


FIG. 7

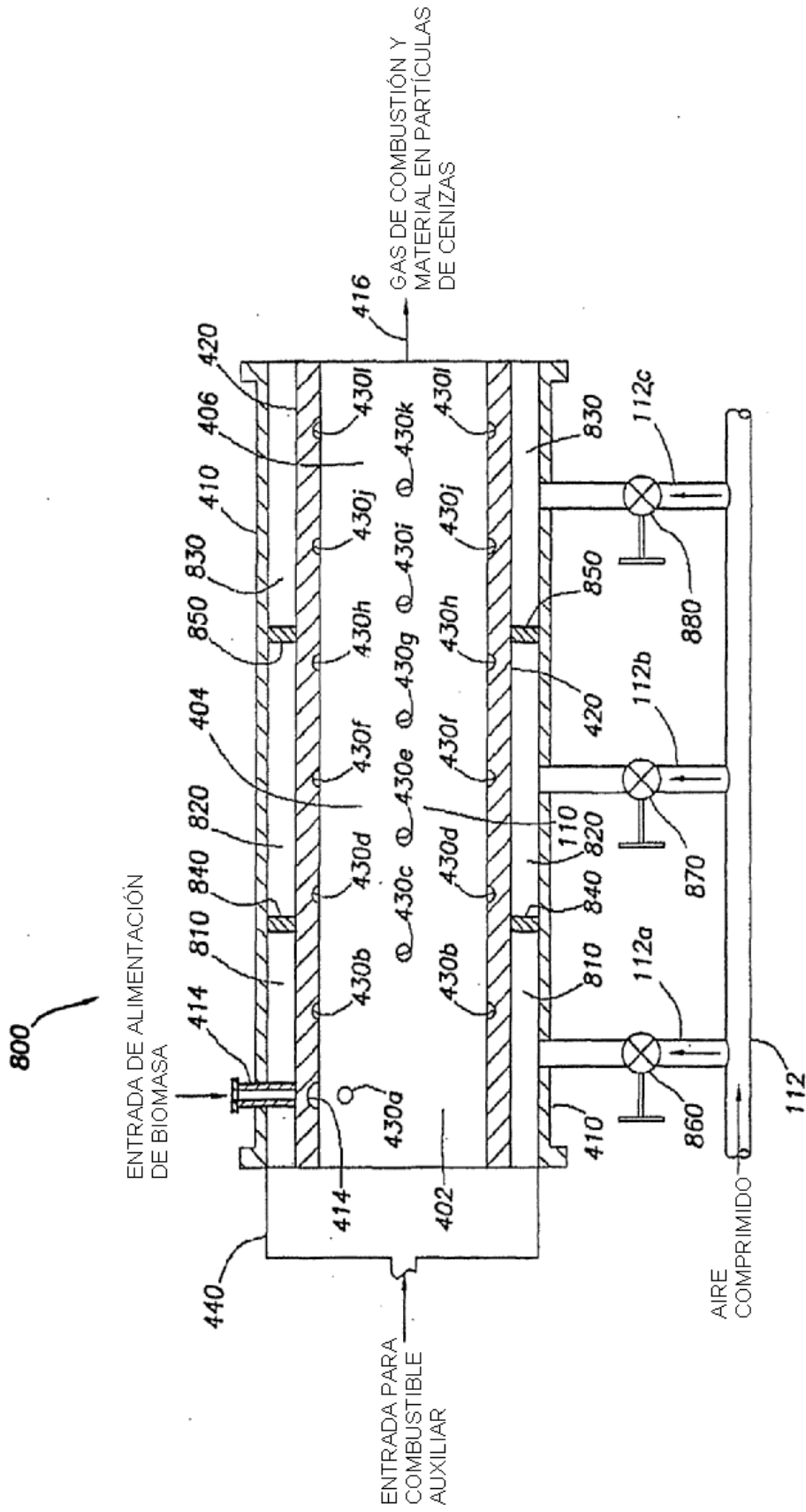


FIG.8

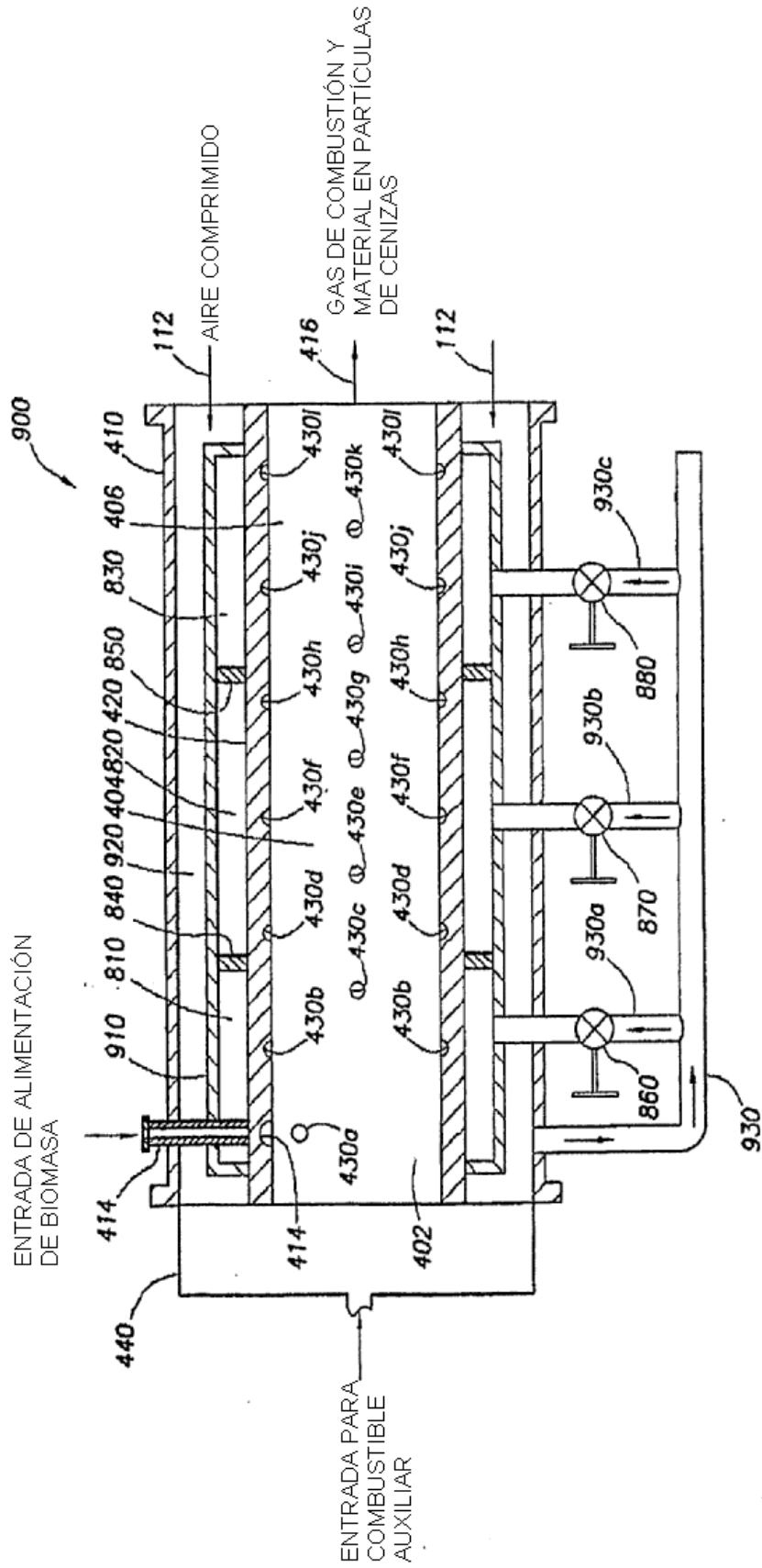


FIG.9

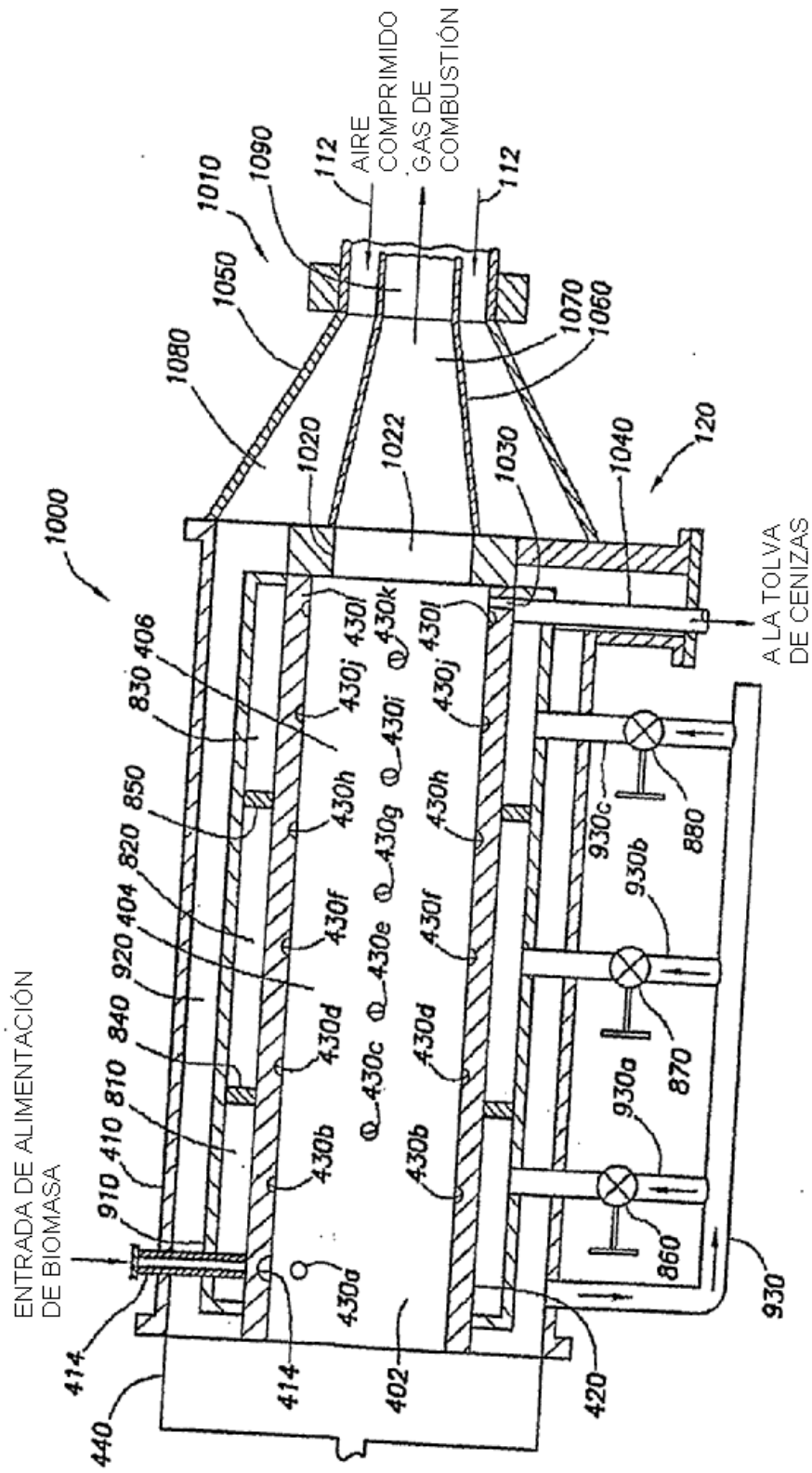


FIG. 10