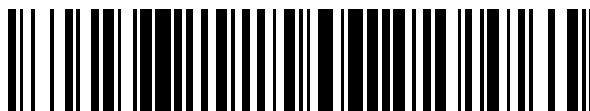


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 420 805**

51 Int. Cl.:

C10J 3/20 (2006.01)
C10J 3/30 (2006.01)
C10J 3/66 (2006.01)
B01D 29/27 (2006.01)
C10J 3/26 (2006.01)
C10J 3/40 (2006.01)
B01D 46/00 (2006.01)
C10J 3/72 (2006.01)
C10B 53/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.06.2006 E 06785864 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2013 EP 1896368**

54 Título: **Metodo y aparato para generación de energía de biomasa, modular, automatizada**

30 Prioridad:

28.06.2005 US 694156 P

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

26.08.2013

73 Titular/es:

AFOGNAK NATIVE CORPORATION (100.0%)
3909 Arctic Blvd, Suite 400
Anchorage AK 99503, US

72 Inventor/es:

DIEBOLD, JAMES P.;
LILLEY, ARTHUR;
BROWNE, KINGSBURY;
WALT, ROBB, RAY;
DUNCAN, DUSTIN;
WALKER, MICHAEL;
STEELE, JOHN;
FIELDS, MICHAEL y
SMITH, TREVOR

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 420 805 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para generación de energía de biomasa, modular, automatizada.

5 Sector de la técnica

Las realizaciones de la invención se refieren en general al campo de la gasificación de biomasa de corriente descendente. Más específicamente, las realizaciones de la invención se refieren a gasificación de biomasa en gasificadores modulares, portátiles, distribuidos que producen un gas combustible con bajo contenido en alquitrán con pocas emisiones y corrientes de desechos no tóxicos.

Estado de la técnica

La gasificación implica normalmente la oxidación o conversión de materia prima de biomasa a base de carbono en gas u otro combustible utilizable. El gas resultante puede usarse para generar electricidad, o como material de partida para producir productos químicos y combustibles líquidos. Normalmente, se tamiza materia prima tal como virutas de madera u otra biomasa para eliminar el material indeseable. La alimentación se seca y se procesa en un gasificador para producir combustible.

En el documento WO 02/46331 A1 se da a conocer un gasificador de lecho fijo con una cámara.

En el documento US 4.300.002 se da a conocer un gasificador de corriente descendente con conjunto separado de tubos de inyección para inyectar gas oxidante.

Las técnicas usadas comúnmente para la gasificación de biomasa a menudo están obstaculizadas por la incapacidad para controlar las variables de gasificación, y por tanto dan como resultado la generación de un gas combustible contaminado con altos niveles de alquitranes. En muchos sistemas de gasificador actuales tales altos niveles de alquitranes requieren el uso de sistemas de limpieza de gas que lo más a menudo incorporan lavadores a base de agua y/o grandes filtros de lecho de arena o serrín. Estos componentes pueden añadir coste, complejidad y aumentar el tamaño de la huella del sistema. Además, a menudo es necesario limpiar el efluente cargado de alquitrán o los grandes volúmenes de arena o serrín contaminados con alquitranes, o tratarlos como corriente de desechos peligrosos en muchos países en general, y en los EE.UU. en particular.

Es más, los enfoques actuales para la gasificación a menudo no proporcionan enfriamiento de gas eficaz, lo que puede conducir a gas combustible sin limpiar. El enfriamiento del gas pobre caliente es un problema de transferencia de calor difícil desde un punto de vista práctico. Las temperaturas desiguales y la expansión y la contracción térmicas resultantes de diferentes partes de un intercambiador de calor de tubo y carcasa a menudo requieren proporcionar atenuación de tensión, cuando se hace funcionar con grandes diferencias de temperatura entre los dos flujos de fluido. Las técnicas actuales también implican a menudo lavado con agua para eliminar alquitranes y materiales carbonizados residuales de los gases pobres. Desgraciadamente, estos materiales son partículas y aerosoles muy finos, que son difíciles de eliminar mediante este método.

Otro defecto de los sistemas de generación de gas combustible distribuido es la incapacidad para controlarlos a través de una red de comunicaciones para monitorizar los funcionamientos y optimizar el rendimiento mientras se aumenta la capacidad para diagnosticar e implementar reparaciones rápidas. Esta incapacidad para monitorizar y controlar la generación de gas combustible a través de una red de comunicaciones, o bien de área local o bien de área de gran amplitud, puede aumentar los costes de mano de obra del funcionamiento mientras se reducen los ingresos debido a los tiempos aumentados para recuperarse de las paradas del sistema.

Lo que se necesita son sistemas y métodos para gasificación que puedan controlar de manera precisa las variables de gasificación, proporcionar enfriamiento de gas eficaz, funcionar sin el uso de líquido de lavado y albergar control informático de un grupo interconectado de sistemas modulares de bioenergía. Las realizaciones de la presente invención proporcionan soluciones para al menos algunas de estas necesidades.

55 Objeto de la invención

Las realizaciones de la presente invención proporcionan sistemas y métodos de gasificación muy adecuados para la automatización y el control de diversas variables de gasificación tales como enfriamiento y filtración. Además se proporcionan técnicas para controlar la ubicación de la zona de pirólisis e incluir inyección de aire con alquitrán en cámaras de gasificación. Los componentes de rejilla pueden moverse según sea necesario para llevar a cabo diversas funciones, y los gasificadores pueden hacerse vibrar para crear condiciones deseadas para la producción de gas. En algunas realizaciones, se hace pasar todo el material carbonizado a través de un intercambiador de calor, y en algunas realizaciones el material carbonizado adsorbe alquitranes. Los tubos de intercambiador de calor están configurados para el movimiento libre, se proporcionan filtros y se dan a conocer aspectos de la automatización, incluyendo la capacidad para usar Internet para el funcionamiento a distancia.

En un primer aspecto, las realizaciones de la presente invención proporcionan un método automatizado para convertir un material carbonoso, sólido, en un gas combustible con bajo contenido en alquitrán según la reivindicación 1. En algunos casos, el material carbonoso incluye una densidad aparente mayor de aproximadamente 3 libras por pie cúbico. En algunos casos, el material carbonoso incluye una biomasa leñosa, una biomasa no leñosa, un producto celulósico, un cartón, un tablero de fibras, un papel, un plástico o un producto alimenticio. El método también puede incluir controlar la cantidad de gas oxidante inyectado en la cámara de gasificación en dos o más niveles con uno o más ventiladores o sopladores de velocidad variable, con una o más válvulas o con uno o más reductores de flujo.

Todavía en otro aspecto, las realizaciones de la presente invención proporcionan un aparato de reactor de gasificación automatizado para convertir un material carbonoso, sólido, en un gas combustible según la reivindicación 8. La fuente de calor para encendido puede incluir un calentador de resistencia eléctrica o un quemador de gas, por ejemplo. En algunos casos, el aparato también incluye un medio de soplador configurado para inyectar el gas oxidante en la cámara de gasificación. El medio de soplador puede incluir un único soplador que tiene una pluralidad de válvulas de control o una pluralidad de sopladores. La pluralidad de boquillas pueden estar ubicadas en una pluralidad de tubos de inyector que sobresalen hacia dentro hacia el reactor de gasificación. El aparato también puede incluir un medio para mover la rejilla, tal como un motor, un actuador, un solenoide y similares. En algunos casos, el aparato también incluye un medio de vibración configurado para controlar la porosidad de un material carbonoso y material carbonizado combinados mediante el colapso de puentes y canales en el mismo. En algunos casos, el aparato también incluye un intercambiador de calor de tubo y carcasa configurado para controlar una temperatura de un gas cargado de alquitrán para promover la recogida de alquitrán sobre una superficie de una partícula arrastrada en una corriente de gas que fluye. Un tubo dentro del intercambiador de calor de tubo y carcasa puede estar configurado para resistir la expansión diferencial extrema producida por el enfriamiento de la corriente de gas que fluye, y puede atenuarse la tensión del tubo de manera individual a través de una junta en una placa de tubos. El aparato también puede incluir un filtro para eliminar la partícula cargada de alquitrán de la corriente de gas que fluye.

En algunos aspectos, las realizaciones de la presente invención proporcionan métodos para convertir material carbonoso, sólido, en un gas combustible con bajo contenido en alquitrán proporcionando un medio para controlar la inyección de gas oxidante en varios niveles a lo largo de la longitud axial de la cámara de reactor llena con el material carbonoso, sólido, y proporcionando un medio para controlar la inyección del gas oxidante a la cámara de reactor de forma que varíe de manera continua la razón del gas oxidante inyectado con respecto al aire oxidante ambiental recibido de cualquier otra entrada a la cámara de reactor de gasificación desde el 0% de gas oxidante inyectado hasta el 100% de aire ambiental, o desde el 100% de gas oxidante inyectado hasta el 0% de aire ambiental. Los métodos también pueden incluir controlar la inyección del gas oxidante a la cámara de reactor de forma que varíe la razón del gas oxidante inyectado a un nivel axial individual desde el 0% hasta el 100% del gas oxidante total requerido, controlar la inyección del gas oxidante en varios niveles e inyectar el gas oxidante de forma que aumente o disminuya la temperatura del material carbonoso ubicado aguas abajo de las boquillas. Además, los métodos pueden incluir controlar la inyección del gas oxidante en la pluralidad de niveles, inyectar el gas oxidante de forma que se creen una pluralidad de plumas calentadas aguas abajo del punto de inyección y en general paralelas al eje vertical de la cámara, y controlar el movimiento de la zona de pirólisis a la llama en una dirección aguas arriba o aguas abajo dentro de la cámara de reactor controlando la fracción de gas oxidante total inyectado aguas arriba o aguas abajo de la zona de pirólisis a la llama. Los métodos también pueden incluir controlar el movimiento de la zona de pirólisis a la llama en una dirección aguas abajo dentro de la cámara de reactor controlando la eliminación de material carbonizado y cenizas de la parte aguas abajo más alejada del lecho de combustible, y aumentando la densidad aparente del lecho de combustible (medida en peso por unidad de volumen) controlando las fuerzas aplicadas a la estructura externa del reactor de gasificación de una magnitud, frecuencia y duración suficientes para hacer que los materiales en el lecho de combustible se muevan para ocupar un volumen más pequeño tras la aplicación de las fuerzas. Los métodos pueden incluir además suministrar material carbonoso, sólido, en la cámara según sea necesario para reponer una cantidad del material carbonoso, sólido, que se ha reducido en volumen por la combustión de los materiales carbonosos, el colapso de espacios vacíos, el aumento controlado en la densidad aparente del lecho de combustible o la eliminación del material carbonizado y/o ceniza de la cámara de reactor, y producir el gas combustible renovable desde la cámara de reactor.

En algunos aspectos, puede seleccionarse el área de sección transversal de la cámara de gasificación, o la longitud de la cámara de gasificación, o ambas, para maximizar la reducción de alquitrán dentro de un intervalo determinado de velocidades de flujo de gas combustible. El gas combustible con bajo contenido en alquitrán puede obtenerse a partir de un combustible carbonoso sólido que tiene generalmente una densidad aparente mayor de 3 libras por pie cúbico. Por ejemplo, los contenedores de basura triturada tienen una densidad aparente de 6 libras por pie cúbico. En algunos casos, el gas combustible con bajo contenido en alquitrán puede obtenerse a partir de los materiales carbonosos sólidos tales como biomasa leñosa; biomasa no leñosa; productos celulósicos tales como cartón, tablero de fibras y papel; determinados plásticos y productos alimenticios; y mezclas de los mismos. La fuente de calor de encendido puede aplicarse cerca del fondo del lecho de combustible carbonoso sólido en un punto aguas arriba de la salida de la cámara de gasificación. El flujo del gas oxidante puede controlarse en dos o más niveles con uno o más ventiladores o sopladores de velocidad variable, o mediante una o más válvulas, o reductores de flujo. En algunos aspectos, la mayoría de los materiales sólidos no quemados (material carbonizado, ceniza, suciedad,

guijarros, etc.) salen de la cámara de gasificación como partículas arrastradas en el gas combustible que fluye. El material carbonizado, ceniza, suciedad y guijarros arrastrados en los gases pueden exponerse a limpieza por abrasión de las superficies de intercambio de calor para minimizar las acumulaciones de incrustación biológica. En algunos aspectos, los gases combustibles se enfrían con un intercambiador de calor y entonces se filtran para eliminar los materiales particulados. Los materiales arrastrados en el gas combustible enfriado pueden acumularse sobre superficies de filtro de manera que puedan eliminarse posteriormente para su desecho.

Aún en otro aspecto, las realizaciones de la presente invención proporcionan un reactor de gasificación para convertir material carbonoso, sólido, en un gas combustible con bajo contenido en alquitrán. El aparato puede incluir, por ejemplo, un orificio de entrada a través del cual se suministra el material carbonoso sólido, una cámara dentro del reactor de gasificación para alojar el material carbonoso sólido, una fuente de calor para encender los materiales carbonosos sólidos y una pluralidad de tubos de inyección de oxidante que penetran en las paredes del reactor de gasificación a través de las cuales el gas oxidante fluye hacia el interior de la cámara. Pueden penetrar varios niveles de la pluralidad de tubos de inyección de oxidante en las paredes del reactor de gasificación y cada nivel puede estar dispuesto sucesivamente en una dirección desde aguas arriba hacia aguas abajo del flujo del gas combustible. El aparato también puede incluir una pluralidad de tubos o boquillas dispuestas para suministrar gas oxidante a distancias variables de la pared del reactor de gasificación en un patrón que distribuye uniformemente el gas oxidante dentro del lecho de combustible. Una pluralidad de boquillas pueden suministrar el gas oxidante en una dirección generalmente no perpendicular a la dirección general de flujo del gas combustible. El aparato también puede incluir un reactor de gasificación que tiene una cámara interior en la que se oxida el material carbonoso sólido, un medio para aplicar una fuerza externa variable al reactor de gasificación y una rejilla ubicada en la salida aguas abajo de la cámara que puede moverse para triturar partículas frangibles de material carbonizado y ceniza hasta un tamaño de partícula que permite que el material carbonizado y la ceniza triturados pasen a través de un tamiz de malla. En algunos aspectos, la fuente de calor para encendido es un calentador de resistencia eléctrica o un quemador de gas. El medio para suministrar gas oxidante en la cámara de gasificación puede lograrse mediante un único soplador o una pluralidad de sopladores. La pluralidad de boquillas pueden estar ubicadas en una pluralidad de tubos de inyección de oxidante que sobresalen hacia dentro hacia el reactor de gasificación. El medio para aplicar la fuerza externa variable puede incluir un vibrador, solenoide o similares. En algunos aspectos, se usa un intercambiador de calor de tubo y carcasa para enfriar los gases combustibles. Puede permitirse que cada tubo en un intercambiador de calor de tubo y carcasa se expanda y se contraiga térmicamente de manera independiente de los otros tubos en la dirección axial a través de una junta en una placa de tubos. En algunos aspectos, un filtro permeable elimina el material carbonizado y la ceniza arrastrados en los gases combustibles producidos en la cámara de gasificación. El gasificador y el intercambiador de calor pueden estar montados sobre resorte para evitar inducir tensiones en los componentes mecánicos calientes que podrían dañarlos. Puede usarse una compuerta accionada por gravedad para cortar inmediatamente el flujo de gas oxidante y materia prima a la cámara de gasificación.

Para una comprensión más completa de la naturaleza y las ventajas de la presente invención, debe hacerse referencia a la descripción detallada siguiente tomada conjuntamente con los dibujos adjuntos.

Descripción de las figuras

Las figuras 1A y B proporcionan ilustraciones de montaje de un módulo de producción de gas según las realizaciones de la presente invención.

La figura 2 proporciona una vista en sección transversal de un gasificador de corriente descendente que muestra la disposición de una pluralidad de boquillas de inyección de aire según las realizaciones de la presente invención.

Las figuras 3A y B ilustran una parte inferior de un gasificador, que incluye una rejilla y un canal de salida de gas, según las realizaciones de la presente invención.

La figura 4 muestra un intercambiador de calor que tiene tubos de intercambiador de calor que penetran en una placa de tubos fija con juntas para proporcionar el movimiento de los tubos debido a la expansión térmica diferencial, según las realizaciones de la presente invención.

La figura 5 proporciona un diagrama de procedimiento de un sistema de bioenergía modular según las realizaciones de la presente invención.

La figura 6 ilustra una arquitectura para una red de sistemas de generación de energía de biomasa según las realizaciones de la presente invención.

La figura 7 representa una arquitectura para un sistema de cliente distribuido *in situ* según las realizaciones de la presente invención.

La figura 8 representa una arquitectura para un sistema de cliente distribuido *in situ* según las realizaciones de la presente invención.

La figura 9 ilustra un gasificador estratificado de corriente descendente según las realizaciones de la presente invención.

5 **Descripción detallada de la invención**

10 Muchos gasificadores de corriente descendente consisten en zonas o estratos diferentes, de materiales en estados diferentes de temperatura, presión y composición y flujo del material. En algunos casos, las zonas más superiores de un gasificador de corriente descendente pueden incluir alimentación reciente que se añadió recientemente al gasificador. La siguiente zona puede incluir una zona de secado donde el aire de combustión primario seca la alimentación a medida que se calienta la alimentación por la siguiente zona inferior, donde el aire de combustión primario limpia el humo o los vapores de alquitrán formados por la alimentación caliente de pirólisis. Esto puede denominarse la zona de pirólisis. Por debajo de la zona de pirólisis a la llama está la zona de oxidación de material carbonizado, donde el vapor y el dióxido de carbono oxidan el material carbonizado caliente, hasta que estas reacciones químicas endotérmicas disminuyen la temperatura del material carbonizado por debajo de un punto determinado. Puede añadirse un oxidante a la zona de oxidación de material carbonizado para aumentar la temperatura y mantener el vapor y el dióxido de carbono activos en el material carbonizado de oxidación.

20 Dependiendo de cómo se controlen los parámetros de variables en los estratos, los resultados pueden ser considerablemente diferentes. Por ejemplo, un gasificador de corriente descendente pequeño que se hace funcionar manualmente puede carecer de control en bucle cerrado, positivo, de temperaturas de la zona de gasificación, tasas de conversión de combustible, tiempo de residencia de gas, diferencial de presión, porosidad de lecho y el flujo de productos de combustión gaseosos calientes a través del gasificador. Como resultado, el procedimiento manual puede ser incapaz de producir un gas de partida con bajo contenido en alquitrán, de alta calidad de manera sistemática. La falta de detección y control automáticos de las variables del procedimiento da como resultado tasas de gasificación no uniformes, calidad del gas variable, altos niveles de alquitrán, niveles incoherentes de porosidades de lecho, una alta propensión a canalizar gas sucio, clínkers de ceniza, puntos calientes excesivamente localizados, altos niveles de alquitrán cuando se producen “agujeros de sondeo”, o en última instancia el apagado del sistema cuando se garantizan condiciones de fuera de control. En los gasificadores de corriente descendente sin medio eficaz para controlar la cantidad, ubicación y duración de la inyección de aire u oxígeno según pueda requerirse por los diversos estratos, y sin medio para monitorizar y controlar la porosidad de lecho, la uniformidad de lecho y la posición frontal de llama, a menudo hay una capacidad mínima para controlar las tasas de gasificación, la calidad del gas o los niveles de alquitrán. El resultado del control manual pueden ser secciones de los estratos que llegan a estar demasiado calientes, demasiado frías, demasiado porosas o empaquetadas de manera demasiado densa.

40 La incrustación biológica de los intercambiadores de calor puede dar como resultado la pérdida de su capacidad para enfriar la corriente de proceso caliente hasta una temperatura adecuada para la filtración convencional. La limpieza manual de los intercambiadores de calor es un trabajo pesado que lleva mucho tiempo, aunque hay cepillos giratorios sobre largas varillas o cables fabricados para este fin. Se ha notificado el uso de intercambiadores de calor autolimpiables con líquidos en los que se añaden deliberadamente partículas de 1,5 mm a 3 mm de diámetro al líquido, que limpian por abrasión la superficie de transferencia de calor. Tras pasar a través de los intercambiadores de calor, los sólidos se eliminan del líquido y vuelven a la entrada del intercambiador de calor en un bucle cerrado para los sólidos.

45 A pesar del trabajo sustancial en el campo de la gasificación de corriente descendente, existen en el mundo muy pocos sistemas comerciales. Además, ninguno muestra el grado de automatización útil para el funcionamiento sin supervisión a través del control mediante una red informática. Esta falta de automatización está provocada por defectos en el diseño del aparato y sus métodos de funcionamiento. Tales defectos aumentan contenido de mano de obra de funcionamiento y mantenimiento del cliente/usuario hasta el punto de que el funcionamiento del sistema se considera oneroso o demasiado caro. La mayoría de los gasificadores de corriente descendentes, pequeños, que se han vendido comercialmente se ubican en países en los que hay abundancia de mano de obra de bajo coste e intensa presión a la baja en los costes de capital. La combinación de estos dos factores da como resultado un aparato con automatización mínima que requiere mucha mano de obra para hacerlo funcionar y mantener, y que se basa en tecnologías de limpieza de gas arcaicas que producen corrientes de desechos tóxicos tales como agua cargada de alquitrán. La gasificación de corriente descendente implica varios procedimientos interrelacionados que pueden controlarse simultáneamente para una máxima eficacia de conversión de biomasa, estabilidad del procedimiento y limpieza del gas combustible. Sin embargo, muchos de estos procedimientos interrelacionados son tan complejos que a menudo sólo un experto altamente cualificado, informado de manera continua y dedicado de manera continua puede realizar un seguimiento de todos los parámetros y realizar todas las modificaciones requeridas del procedimiento de manera oportuna o sistemática para mantener los bajos niveles de alquitrán sin temperaturas excesivas u otros parámetros que puedan dañar al sistema de gasificador.

65 Por tanto, incluso en países con grandes recursos de mano de obra de bajo coste, la automatización mínima es una barrera frente a la comercialización a gran escala, porque a menudo limita la eficacia de funcionamiento, económica y medioambiental del sistema. El funcionamiento manual elimina prácticamente la capacidad para lograr un control

en tiempo real de parámetros interrelacionados críticos tales como temperaturas, presiones diferenciales, tasas de adición de materia prima, tamaño de materia prima, humedad de materia prima, tasas de conversión de material carbonizado, porosidad del lecho, eliminación de material carbonizado/ceniza, calidad del gas (niveles de alquitrán, materia particulada y vapor de agua y contenido en energía) y propensión a canalización y puenteo. A su vez, estos parámetros controlados escasamente pueden conducir alto contenido en alquitranes, condensación de agua en el gas, calidad del gas escasa/variable, baja eficacia del sistema, corta duración de ejecución debido a puenteo, empaquetamiento de lecho y canalización de lecho, aumento del mantenimiento, corrientes de desechos peligrosos, altas emisiones y la posibilidad de aumentada de condiciones inseguras. Pero incluso si los procedimientos se automatizan, no hay garantías de que el sistema de gasificación funcione de una manera estable, eficaz y eficiente. A menos que se hayan desarrollado los algoritmos de control basándose en una comprensión completa de las variables subyacentes, puede que el procedimiento no cumpla sus objetivos.

La automatización combinada con algoritmos eficaces es sin embargo un objetivo para el funcionamiento satisfactorio de un sistema de gasificación de corriente descendente. Una realización de aparato de la invención puede maximizar la capacidad de automatización mediante el uso de múltiples boquillas de inyección de aire secundario. Algunos han sugerido que una pluralidad de boquillas pueden ser indeseables debido a la generación de múltiples puntos calientes y puntos fríos y a la formación de clínkers y escoria de ceniza. Las realizaciones de la presente invención pueden evitar estos inconvenientes mediante el uso de un gran número de tubos de inyección de aire-material carbonizado y múltiples boquillas en cada tubo que introducen aire-material carbonizado secundario en una ubicación de una manera ampliamente dispersa y en las razones determinadas en comparación con el aire primario para producir un sistema de gestión térmica que da como resultado un lecho de material carbonizado que es ideal para la destrucción de alquitranes.

Algunos enfoques de gasificación actuales reducen la oportunidad de numerosas mejoras de coste y rendimiento tales como métodos automatizados para albergar una amplia variedad de materias primas de biomasa y para albergar variabilidad de tamaño, humedad y densidad de energía dentro de cada materia prima sin necesidad de realizar cambios físicos en el aparato. Estos enfoques también reducen la oportunidad de que aumente la eficacia del sistema, lo que reduce la cantidad y el coste del combustible de biomasa consumido, mejoras en la calidad del gas que permitan que el gas combustible se use de manera segura en motores de combustión interna existentes, y dispositivos de generación de energía a base de gas emergentes tales como pilas de combustible, motores Stirling, células termofotovoltaicas, microturbinas, pequeñas turbinas de gas y generadores termoeléctricos. Además, estos enfoques reducen la oportunidad de ciclos de funcionamiento automatizado de inicio/parada con un botón que permiten que los sistemas se hagan funcionar por operarios mínimamente formados o que se hagan funcionar sin supervisión, respuestas en modo de fallo automático incluyendo el apagado de emergencia con detección de condiciones de funcionamiento inseguras, y módulos integrados, diferenciados, que pueden reorganizarse con facilidad para buscar mercados eléctricos, eléctricos y térmicos o sólo térmicos. Además, estos enfoques proporcionan poca oportunidad de módulos convencionales, integrados, diferenciados que se aprovechen de la posibilidad de producción en masa y mejoras de diseño que permitan el rápido mantenimiento con mano de obra mínima.

Algunos enfoques actuales para la gasificación a menudo no proporcionan enfriamiento de gas eficaz, lo que puede conducir a gas combustible sin limpiar. El enfriamiento del gas pobre caliente es un problema de transferencia de calor difícil desde un punto de vista práctico. Las temperaturas desiguales y la expansión y la contracción térmicas resultantes de partes diferentes de un intercambiador de calor de tubo y carcasa a menudo requieren proporcionar atenuación de tensión, cuando se hace funcionar con grandes diferencias de temperatura entre los dos flujos de fluido. Algunas técnicas actuales implican unir de manera permanente los tubos a las dos placas de tubos, fijar una placa de tubos y permitir que la otra placa de tubos se mueva dentro del intercambiador de calor para atenuar las tensiones. Se usa comúnmente una obturación de junta tórica entre la placa de tubos deslizante y la carcasa estacionaria. Sin embargo, si uno o más de los tubos llega a taponarse, el tubo o tubos taponados puede(n) aproximarse rápidamente a la temperatura del fluido en el lado de la carcasa, lo que puede hacer que el tubo taponado se expanda y se contraiga de manera diferente a otros tubos que todavía tienen flujo. Este crecimiento diferencial crea graves tensiones en la placa de tubos y la superficie de contacto del tubo, lo que puede hacer que las soldaduras fallen en esa ubicación.

Las técnicas actuales a menudo implican lavado con agua para eliminar alquitranes y materiales carbonizados residuales procedentes de gases pobres. Desgraciadamente, estos materiales son partículas y aerosoles muy finos, que pueden ser difíciles de eliminar mediante este método. Además, para el lavado eficaz, el agua usada para el lavado también está en forma de una nebulización. El uso de lavado con agua crea un problema de eliminación de aguas residuales. A menudo se usan filtros de coalescencia para eliminar estos materiales finos mediante movimiento browniano, pero con una caída de presión significativa, indeseable, para el sistema. Si los alquitranes no tienen propiedades de flujo, debe hacerse una revisión periódica de los filtros de coalescencia para eliminar alquitranes o los filtros deben sustituirse.

Las realizaciones de la presente invención incluyen un diseño innovador de los sistemas de gasificador, enfriamiento y limpieza de gas, y el control automatizado de estos subsistemas. Un gasificador de corriente descendente descubierto incorpora un sistema de inyección de antioxidante (aire) secundario de múltiples capas único, detección

de temperatura en cada capa y algoritmos de control basados en microprocesador que ajustan constantemente las temperaturas del gasificador y otras condiciones de funcionamiento para lograr sistemáticamente alta calidad del gas y niveles ultra-bajos de alquitrán a lo largo de un amplio intervalo de velocidades de flujo de gas. Las realizaciones de diseño del gasificador amplían considerablemente el intervalo utilizable de velocidades de flujo de gas, es decir, el “punto óptimo” de los gasificadores convencionales. Este “punto óptimo” ampliado permite la producción de gas con contenido en alquitrán ultra-bajo, de alta calidad, a lo largo de un intervalo de energía ampliado y la capacidad de usar una variedad mucho más amplia de tipos, tamaños, configuración, mezclas y contenidos en humedad de materia prima que lo que nunca había sido posible.

Las realizaciones también proporcionan un sistema de gasificación configurado para el control positivo del flujo de material a través del gasificador y la porosidad del lecho del gasificador (diferencial de presión). Estos parámetros de control son el resultado de un mecanismo de rejilla con movimiento alternativo novedoso acoplado con detección digital del diferencial de presión del gasificador asociado al sistema de control con microprocesador insertado en el sistema de gasificador. Algunas realizaciones de la presente invención enfrían los gases pobres antes de la eliminación de partículas de material carbonizado y ceniza sólidas arrastradas, en lugar de eliminarlas en un separador ciclónico, antes del enfriamiento como en la técnica anterior. Las partículas de material carbonizado arrastradas tienen un gran área superficial, sobre la que los alquitranes residuales tienden a condensarse, en lugar de sobre la superficie mucho más pequeña del intercambiador de calor. Además, se demuestra que las partículas arrastradas limpian por abrasión la superficie de intercambio de calor para mantener la incrustación biológica en un nivel mínimo. Las realizaciones de la presente invención también incluyen un intercambiador de calor de carcasa y tubo para permitir que todos los tubos se expandan y se contraigan independientemente entre sí, así como, el uso de dos flujos de aire de enfriamiento para lograr tasas de flujo superiores de aire de enfriamiento con requisitos de energía de soplador inferiores.

En algunas realizaciones, el gas combustible renovable producido es lo suficientemente limpio como para consumirse en una variedad de dispositivos eléctricos, térmicos y químicos, que están diseñados para funcionar usando combustibles fósiles, tanto gaseosos como líquidos. Adicionalmente, las realizaciones de gasificador de biomasa modulares, portátiles, distribuidas cumplen el grado de automatización requerido para el funcionamiento sin asistencia a través del control mediante una red informática.

Las realizaciones de sistemas y método de gasificador de la presente invención proporcionan sistemas de inyección de aire secundario que tienen boquillas de inyección de aire en ubicaciones de múltiples niveles y que están dispuestas de manera óptima y son fácilmente ajustables. La longitud y los puntos de inyección de aire en cada tubo de inyección de aire, así como el número de boquillas de inyección de aire, pueden cambiarse fácilmente, por ejemplo intercambiando un tubo de inyección de aire por un tubo de inyección de aire diferente. Puede variarse el número de ubicaciones axiales de la inyección de aire secundario y puede ajustarse de manera precisa la cantidad de aire secundario en cada nivel. La distribución uniforme o no uniforme del aire se logra a través de la ubicación de las boquillas de inyección de aire. Las realizaciones proporcionan niveles de conversión de carbono extremadamente altos (por ejemplo >98%) a través del uso de una compuerta controlable y un sistema de inyección de aire secundario. Los intervalos de temperatura deseados pueden controlarse y mantenerse a lo largo de una distancia determinada para agrietar alquitranes y para convertir el material carbonizado y el H₂O en H₂ y CO, y el material carbonizado y el CO₂ en CO. Los componentes pueden protegerse gestionando la temperatura e impidiendo variaciones de la temperatura. Las temperaturas del gasificador pueden gestionarse para reducir la posibilidad de formación de grandes partículas de ceniza fundida, especialmente con materia prima con alto contenido en ceniza/sílice. Las realizaciones proporcionan un sistema de gestión y eliminación de ceniza automático. La ceniza fundida sobre la rejilla del gasificador puede dividirse fácilmente, y pueden controlarse y mantenerse los diferenciales de presión deseados en el gasificador. La ceniza y la ceniza fundida pueden eliminarse del fondo del lecho independientemente de la sedimentación del lecho. Las realizaciones proporcionan la capacidad para hacer funcionar la rejilla sin que resulte afectada por fuerzas a través de la rejilla debido a la presión del aire más el peso del lecho. Las realizaciones incluyen diseños de rejilla que facilitan la máxima conversión de alquitrán en el gasificador, la limpieza, el mantenimiento y la reparación sencillos, y que permiten el uso de materiales de bajo coste, peso ligero. Las temperaturas del gasificador pueden controlarse para eliminar la necesidad de materiales refractarios pesados, difíciles de fabricar, de alto mantenimiento y costosos. En el apagado, el gasificador puede aislarse automáticamente y puede detenerse el flujo de aire para preservar el lecho de material carbonizado para el funcionamiento futuro. De manera repetida, puede cerrarse una parte superior abierta del gasificador en el apagado usando energía potencial y cinética, incluso en el caso de que se produzca un fallo de energía eléctrica. Las realizaciones proporcionan el control automático del flujo de materia prima y material carbonizado, el mantenimiento de la densidad constante del lecho de material carbonizado y la eliminación de la canalización en el lecho de material carbonizado. Un encendedor insertado puede permitir la puesta en marcha a distancia y a voluntad del gasificador. En algunas realizaciones, los gases pueden enfriarse antes de la eliminación del material particulado. Las realizaciones también proporcionan un intercambiador de calor de tubo y carcasa, permitiendo que cada tubo se expanda y se contraiga independientemente de los otros tubos.

Flexibilidad de materia prima

65

Las realizaciones de la presente invención incluyen gasificadores que pueden hacerse funcionar con virutas de madera compuestas por especies de madera blanda, así como de madera dura. Una lista no limitativa de materias primas adecuadas incluye pasta de uva extruida, cáscara de almendra, cáscara de pacana, cáscaras de coco, gránulos de hierba, gránulos de heno, gránulos de madera, cartón triturado, papel recubierto de plástico triturado, mezclas de papel y plásticos triturados, mezclas de papel y plástico relativamente homogenizados formados en gránulos u otras conformaciones, mezclas de madera, cuero, caucho y tela triturados. Estos materiales de alimentación a menudo tienen conformaciones y tamaños de partícula que formarán un lecho con porosidad suficiente para el paso de gases con sólo una caída de presión moderada. Los ejemplos no limitativos de tamaños y conformaciones de partícula adecuados incluyen gránulos, virutas de madera, cáscaras de pacana, cáscaras de almendra, cáscaras de coco trituradas, etc. Las partículas adecuadas pueden incluir o no conformaciones en polvo y de tipo vara.

Preparación de la alimentación

La preparación de la alimentación incluye normalmente tamizar para eliminar trozos de tamaño excesivo de la alimentación que podrían formar fácilmente un puente en el gasificador o atascar el sistema de alimentación, así como, material de tamaño demasiado pequeño que pueden tender a formar una caída de presión alta a través del lecho y que también tienden a incluir suciedad y pequeñas rocas indeseables. La alimentación se seca entonces usando calor residual recuperado de material carbonizado y gases calientes obtenidos en el gasificador.

Alimentación

El movimiento de alimentación a través del sistema puede estar automatizado. En una realización no limitativa, se usa una serie de tres sensores de nivel montados en el compartimento de secadora, el compartimento de alimentador y el gasificador para dirigir el movimiento de la alimentación desde el compartimento de almacenamiento, a través de un clasificador, al interior del compartimento de secadora, a través de la secadora al interior de un compartimento de compensación, y a través de un alimentador al interior del gasificador. Cuando el gasificador necesita más alimentación, un dispositivo de transporte mueve la alimentación seca desde el compartimento de compensación. Cuando el nivel de combustible en el compartimento de compensación es bajo, el transportador de secado se activa para rellenar el compartimento de compensación. Cuando el compartimento de secado está bajo, el compartimento de almacenamiento alimenta con material reciente el interior del clasificador, donde se transporta el tamaño apropiado de alimentación hacia el compartimento de secado. En una realización no limitativa, el clasificador y el transportador hacia la secadora están funcionando de manera continua.

Gasificador

Cuando las realizaciones de gasificador obtienen gas combustible usando aire como oxidante, la parte superior del gasificador puede abrirse a la atmósfera para permitir que la alimentación de biomasa caiga libremente al interior del gasificador. Esta parte superior abierta también permite que el aire de combustión primario entre en el gasificador. Cuando se obtiene gas combustible de esta manera, el sistema de gasificador puede hacerse funcionar a presiones un poco por debajo de la atmosférica. Si este gasificador se usara para obtener gas de síntesis usando oxígeno, la alimentación podría caer a través de una válvula giratoria o tolva de exclusiva al interior del gasificador impidiendo que entre aire; parte del oxígeno o aire enriquecido con oxígeno podría añadirse a través de un orificio u orificios cerca de la parte superior del gasificador, y el sistema de gasificador podría hacerse funcionar a presiones superiores a la atmosférica.

En algunas realizaciones de gasificador, el resto del aire de combustión, aire enriquecido con oxígeno u oxígeno usado en la gasificación se inyecta en el lecho de material carbonizado en múltiples niveles en múltiples ubicaciones a través de múltiples boquillas en cada uno de varios tubos de inyección dentro de cada nivel. Una realización no limitativa usa tubos de inyección horizontales, radiales en una multiplicidad de niveles y ubicaciones angulares. Si se usa oxígeno, puede diluirse con vapor de agua o dióxido de carbono para evitar temperaturas excesivas.

Volviendo ahora a los dibujos, las figuras 1A y 1B muestran un aparato (50) gasificador según la presente invención. El aparato gasificador incluye un cuerpo (101) de gasificador, que puede ser de naturaleza cilíndrica. El cuerpo (101) de gasificador puede no incluir una conformación de gasificador cónica en la parte activa del gasificador. Otros han descrito el uso de conformaciones cónicas en la parte activa del gasificador, que concentran normalmente los gases pobres en un área de sección transversal más pequeña para una inyección de aire más eficaz con un único nivel de inyección de aire. Sin embargo, tales secciones cónicas pueden aumentar la caída de presión a través del lecho del gasificador, lo que puede disminuir la eficacia del motor o requerir más energía para extraer los gases a través del sistema de gasificador. La alimentación entra a través de la parte (100) superior abierta del gasificador junto con aire primario. El gas producto deja el gasificador a través del reborde (112) ubicado en el fondo del gasificador.

Tal como se muestra en las figuras 1A y 1B, el gasificador incluye tubos (102) radiales, horizontales que penetran en la pared cilíndrica del cuerpo (101) de gasificador para inyectar aire secundario en el lecho de material carbonizado. Puede haber múltiples niveles (por ejemplo cinco) de estos tubos de inyección de aire. Los tubos de inyección están unidos al exterior de la pared (101) del gasificador caliente con accesorios sanitarios o rebordes a través de tubos

(102) separadores largos para permitir el uso de empaquetaduras elastoméricas y la fácil retirada de los tubos de inyección de aire-material carbonizado para su inspección y mantenimiento. Por consiguiente, el número y la ubicación de esas boquillas se cambia de manera fácil, como su sustitución cuando se requiera. Una realización no limitativa usa empaquetaduras de silicona-caucho para obturar los tubos de inyección de aire-material carbonizado al gasificador. El gasificador puede abrirse en un reborde (105) para su mantenimiento.

La figura 2 muestra una parte de un aparato (200) gasificador que incluye tubos (203) de inyección cortos que alternan con tubos (204) de inyección largos para un total de diez tubos para cada uno de cinco niveles en el gasificador para un total de 50 de tales tubos. Las realizaciones abarcan gasificadores que tienen cualquier número adecuado de tubos y niveles. Los tubos cortos también pueden alternar con tubos largos en la dirección vertical. Tal como se muestra en este caso, uno de los diez tubos en cada nivel (205) puede ser más largo que el resto con el fin de cubrir el área central de cada nivel, con tubos (203) cortos en cada lado. En una realización no limitativa, el gasificador tiene 20 pulgadas de diámetro, con 6 pulgadas entre los niveles axiales.

En algunas realizaciones, este patrón se repite en cada uno de cinco niveles, pero desviado en múltiplos de 36° de un nivel al siguiente, de modo que los tubos cortos alternan con otros más largos verticalmente y los tubos extralargos están distribuidos de manera más uniforme. La ubicación angular del tubo extralargo es diferente para cada nivel adyacente. Las boquillas están separadas en los tubos de inyección, para tener una distribución relativamente uniforme de aire en cada nivel. Hay cinco niveles de inyección de aire-material carbonizado, con diez ubicaciones angulares de tubos de inyección de aire-material carbonizado horizontales. Hay dieciséis boquillas en cada tubo (205) extralargo, diez boquillas en cada tubo (204) largo y cuatro boquillas en cada tubo (203) corto, para un total de 380 boquillas. Los tubos pasan a través de la pared (207) de la cámara de reactor. Los ejes de las boquillas están formando 45° con respecto a la vertical, para transmitir un flujo de aire generalmente descendente a 45° con respecto a la dirección generalmente axial de los gases pobres. En una realización no limitativa, la perforación de orificios de 1/8 pulgadas de diámetro perpendiculares a los ejes de los tubos de inyección de aire-material carbonizado formó las boquillas. Las cantidades y la ubicación de los tubos de inyección y boquillas no son limitativos.

En una realización no limitativa, la caída de presión que está producida por el flujo de gas pobre a través del gasificador proporciona el diferencial de presión para soplar aire en el lecho de material carbonizado a través de cada tubo de inyección de aire. El flujo de aire relativo puede controlarse con válvulas para cada nivel o para cada tubo de inyección de aire-material carbonizado. En otra realización no limitativa, el aire que va a inyectarse en el lecho de material carbonizado (aire-material carbonizado) pasa de un colector común a todos los niveles, a través de un tubo y una válvula hacia un colector secundario de conformación coroidal que suministra aire-material carbonizado a todos los tubos de inyección de aire en uno de los varios niveles. La presión negativa en el gasificador induce el flujo de aire al interior de boquillas de inyección de aire secundario. En una realización no limitativa preferida, un soplador mecánico suministra el aire-material carbonizado a los tubos de inyección de aire-material carbonizado. El ordenador controla una válvula variable en cada nivel tubos de inyección de aire-material carbonizado en el gasificador. En otra realización no limitativa, una válvula controla el flujo de aire a cada tubo de inyección de aire-material carbonizado desde un colector ligeramente presurizado con un único soplador para lograr el control de temperatura deseado. En otra variación no limitativa de esta realización preferida, cada uno de los cinco niveles de tubos de inyección de aire-material carbonizado está equipado con su propio soplador y la velocidad de cada soplador está controlada por el ordenador.

Una ventaja de los tubos de inyección de aire-material carbonizado que penetran en la carcasa exterior es la capacidad de tener velocidades de flujo de oxidante diferentes que van hacia los diferentes niveles, así como, hacia los diferentes tubos de inyección de aire-material carbonizado individuales. Esto permite un nivel de control de temperatura sin precedentes del lecho de material carbonizado. Una ventaja adicional de este diseño con respecto a un colector axial central en el gasificador es que la apertura relativa de espacio entre los tubos de inyección de aire-material carbonizado minimiza la posibilidad de que se produzca puenteo y canalización de la alimentación y el material carbonizado. Otra ventaja del uso de tubos de inyección de aire-material carbonizado que penetran en la carcasa exterior del gasificador de esta manera es la capacidad para hacer funcionar gasificadores de diámetro muy grande mediante la inyección de aire de combustión de manera profunda en el lecho de material carbonizado para eliminar puntos fríos mientras se mantienen de manera uniforme altas temperaturas de lecho para la destrucción de alquitranes y para la conversión endotérmica de dióxido de carbono, vapor de agua y material carbonizado en gases combustibles (hidrógeno y monóxido de carbono). Una realización de un gasificador de diámetro más grande podría añadir al menos una longitud más larga adicional de tubos de inyección de aire-material carbonizado, para poder distribuir de manera uniforme el aire-material carbonizado a través del lecho de diámetro más grande.

Un gasificador puede iniciarse con un lecho de carbón que ha quedado del funcionamiento anterior. Se induce un flujo de aire a través del gasificador con un dispositivo mecánico, por ejemplo un soplador, un motor de combustión interna o un dispositivo aerodinámico, por ejemplo un eductor accionado por aire. En una realización no limitativa, un elemento calefactor tipo Calrod calentado eléctricamente está montado de manera permanente en la parte inferior del lecho de material carbonizado, que se usa para encender el lecho de material carbonizado. Por tanto, el gasificador puede iniciarse automáticamente, incluso a distancia. El elemento calefactor tipo Calrod se interrumpe automáticamente tras el encendido del gasificador para evitar el daño debido al sobrecalentamiento.

En algunos sistemas actuales, que encienden la parte superior del lecho de material carbonizado en el gasificador, el nivel superior de material carbonizado se vuelve excesivamente caliente, porque siempre está en contacto con aire fresco, mientras que el lecho inferior de material carbonizado está calentándose simplemente por los gases de combustión calientes. Una ventaja de encender el fondo del lecho de material carbonizado es que se evitan temperaturas excesivamente altas durante el encendido, porque el oxígeno en el aire se consume por el material carbonizado, que se acaba de encender y no está muy caliente. Las temperaturas en el lecho de material carbonizado pueden ajustarse inmediatamente tras el encendido añadiendo aire secundario a los diversos niveles a través de los tubos de inyección de aire.

En otras realizaciones, puede retirarse uno de los tubos de inyección de aire-material carbonizado ((203), (204) o (205) en la figura 2), y puede usarse un soplete de propano manual, elemento calefactor tipo Calrod u otra fuente de calor para encender el lecho de material carbonizado, y luego volverse a insertar el tubo de inyección de aire-material carbonizado. En otra realización, un quemador de gas está montado de manera permanente en la ubicación del encendedor y está dotado de gas mediante la apertura electrónica de una válvula de gas, que se enciende electrónicamente. Una vez logrado el encendido del material carbonizado, el quemador se desconecta. En otra realización, se alimenta un gas inflamable al interior del subsistema de inyector y se enciende para promover el encendido del lecho.

En algunas realizaciones, puede insertarse un dispositivo de medición de temperatura, por ejemplo un termopar u otro dispositivo, en un pozo térmico corto ubicado en el extremo (206) cerrado en la figura 2 de cualquiera o todos los tubos de inyección de aire-material carbonizado. La cantidad de aire inyectado en cada nivel se controla independientemente, basándose en mediciones de temperatura de cada nivel. Para proporcionar un control de gasificador continuado en caso de un fallo del termopar, pueden usarse dos o más termopares en cada nivel para controlar el flujo de aire a ese nivel. Por ejemplo, puede proporcionarse un soplador de aire (o una válvula que puede controlarse conectada a un colector común presurizado con un soplador) para cada nivel para suministrar cantidades variables de aire-material carbonizado a cada nivel. Los gasificadores fabricados según las realizaciones de la presente invención se han hecho funcionar satisfactoriamente con virutas de madera que tienen un contenido en humedad de entre el 1% y el 25%, y durante periodos de media hora con madera que tiene hasta un 33% de humedad (base húmeda). La existencia de canales y puenteo en la alimentación reciente cerca de la parte superior del gasificador y en el lecho de material carbonizado puede evitarse mediante la vibración automatizada periódicamente del gasificador para fluidizar la alimentación reciente y las partículas de material carbonizado. Esta fluidización colapsa los canales y puentes en los lechos de material carbonizado y alimentación. El gasificador y el intercambiador de calor pueden estar montados sobre resorte para permitir que un mínimo de energía de vibración los agite vigorosamente y para evitar inducir tensiones en los componentes mecánicos calientes, lo que podría dañarlos.

Tal como se muestra en las figuras 3A y 3B, las realizaciones de gasificador pueden incluir una parte inferior de un gasificador (311) que tiene una rejilla (303) de malla metálica ubicada en el fondo del gasificador por debajo del nivel inferior de boquillas de inyección de aire. La rejilla soporta el lecho de material carbonizado y tiene un tamaño de apertura más pequeño que la partícula de material carbonizado promedio. La ubicación de la rejilla se selecciona para permitir que gases pobres calientes se enfríen parcialmente por reacciones endotérmicas de vapor y dióxido de carbono con el material carbonizado. En una realización no limitativa de la rejilla, la malla metálica tiene aberturas de $\frac{1}{4}$ " y está compuesta por acero inoxidable de tipo 304 (T304). Para soportar la rejilla (303), el peso del material carbonizado y la alimentación reciente, y las fuerzas generadas por la caída de presión a través del gasificador y la rejilla, se proporciona una estructura (302) abierta. El sistema de gasificador puede incluir una placa (306) deflectora, justo por encima de la rejilla para permitir el empaquetamiento del mecanismo de rejilla por debajo de ella en el gasificador cilíndrico, pero esta área está libre de inyección de aire. En una realización no limitativa, un gasificador tiene un fondo (307) cónico para ayudar en el arrastre de material carbonizado, ceniza, suciedad y guijarros fuera del gasificador, una vez que el material pasa a través de la rejilla. Un gasificador también puede incluir capas de aislamiento gruesas (no mostradas) que rodean el exterior de los lados cilíndricos y el fondo del gasificador.

Algunas realizaciones pueden incluir un mecanismo (305) con movimiento alternativo horizontal inmediatamente por encima de la rejilla que mueve las partículas de material carbonizado contra la rejilla (303) de malla metálica y entre sí, hasta que se muelen o dividen hasta que son suficientemente pequeñas para pasar a través de la rejilla (303) de malla metálica con los gases. Este mecanismo con movimiento alternativo tiene un ciclo corto de desplazamiento y está soportado por dos rodillos (304) finos o bloques de deslizamiento de baja fricción. En una realización no limitativa, los rodillos o bloques de deslizamiento están compuestos por materiales cerámicos. El mecanismo cubre la rejilla, pero tiene aberturas grandes a través de las cuales el material carbonizado y la ceniza, así como, clínters, rocas y fragmentos de metal pasan a la rejilla. Este mecanismo de rejilla molerá rocas pequeñas encontradas comúnmente en materias primas de biomasa, así como clínters sinterizados o fundidos que tienden a formarse en la sección inferior, más caliente, del gasificador. En caso de que el mecanismo con movimiento alternativo llegue a atascarse, un amortiguador accionado por resorte en la varilla de accionamiento de conexión impide el daño al mecanismo. Los gases calientes arrastran el material carbonizado pequeño, ceniza y fragmentos de roca fuera del gasificador y al interior del equipo de limpieza de gases a altas velocidades.

Este mecanismo con movimiento alternativo es muy bueno en la eliminación de material carbonizado y ceniza, y en algunas realizaciones puede funcionar sólo de manera intermitente. Por tanto, un gasificador puede producir material carbonizado principalmente en pulsos intermitentes, siempre que se activa el mecanismo de rejilla. La vibración del gasificador también libera partículas finas de material carbonizado del lecho de material carbonizado que pasan a través de la rejilla. El intervalo entre la activación de la rejilla y la duración de la acción de la rejilla puede usarse para controlar el diferencial de presión a través del gasificador y la rejilla, lo que permite largos tiempos de funcionamiento entre el mantenimiento para eliminar fragmentos de materiales de la rejilla, tales como objetos de hierro o acero inoxidable que resisten la acción de molienda del mecanismo con movimiento alternativo por encima de la rejilla. Esta característica innovadora del sistema de rejilla permite el uso de materia prima que contiene cierta contaminación procedente de suciedad, rocas, etc., sin necesidad de apagar frecuentemente el gasificador para eliminarla. Los diseños de gasificador usados actualmente a menudo no pueden eliminar automáticamente fragmentos de materiales en este grado, y por tanto no pueden hacerse funcionar de manera continua a lo largo de un periodo prolongado, excepto con materias primas muy limpias, que no son habituales. En una realización no limitativa, el mecanismo (305) con movimiento alternativo puede incluir aberturas cuadradas de aproximadamente 1¼" en un lado que están a aproximadamente 1½" de profundidad, con paredes de aproximadamente ¼" de espesor.

En algunas realizaciones, mientras se está apagando el gasificador, el alimentador se interrumpe y se favorece que el frente de llama se eleve hacia la alimentación reciente reduciendo el aire-material carbonizado, lo que hace que se extraiga más aire a través de la parte superior del gasificador. Con referencia a la figura 1A, una vez que la última alimentación se convierte en material carbonizado, la compuerta (103) de alimentación accionada por gravedad se libera magnéticamente de manera automática, rueda sobre sus ruedas bajando por una rampa (104) corta y se desliza sobre la parte superior del gasificador (100). La compuerta de alimentación realiza una obturación suficiente para aislar eficazmente el lecho de material carbonizado del aire atmosférico. En ausencia de aire fresco, el material carbonizado se enfría lentamente. Esto deja material carbonizado en el gasificador, que permanece en su sitio y se usa para iniciar el gasificador para el siguiente periodo de funcionamiento. Si no se permite que el gasificador se enfríe por debajo de la temperatura de autoencendido del material carbonizado, la apertura de la compuerta de alimentación y el inicio del flujo de aire al gasificador puede dar como resultado un autoencendido del material carbonizado. Por tanto, se permite el funcionamiento intermitente o semicontinuo para producir gas y material carbonizado.

Enfriamiento del gas

En algunas realizaciones, una vez que los gases pobres calientes y el material carbonizado dejan el gasificador a de aproximadamente 700°C a 800°C, pasan inmediatamente al interior del lado del tubo de un intercambiador de carcasa y tubo novedoso. Se sopla aire ambiental al interior del lado de carcasa para enfriar indirectamente los gases pobres. Estas temperaturas del gas del proceso de entrada son considerablemente superiores que las temperaturas, para las que se consideran y están disponibles algunos intercambiadores de calor disponibles comercialmente.

Dadas las altas temperaturas del gas, a las que se exponen los tubos de intercambiador de calor en el extremo caliente del intercambiador de calor, a menudo se permite que los tubos calentados se expandan térmicamente de manera libre para evitar que se deformen o se rompan. Si uno de los tubos llega a obstruirse o taponarse gravemente con alquitrán o material carbonizado, puede enfriarse más e intentar contraerse en relación con los otros tubos que todavía portan su parte completa del gas caliente y el material carbonizado arrastrado. El diseño de las realizaciones intercambiador de calor de la presente invención permite que cada uno de los tubos se expanda o se contraiga independientemente de los otros, atenuando de ese modo las tensiones inducidas térmicamente en cada tubo. Los tubos pueden soldarse todos ellos a una placa de tubos común en el extremo caliente. El diámetro interior de los tubos puede dimensionarse para permitir que la partícula de material carbonizado esperada más grande pase a través del tubo sin peligro de que se taponen.

En algunos sistemas conocidos, el diseño del extremo frío incluye soldar todos los tubos a la placa de tubos de extremo frío y permitir que los tubos se expandan y se contraigan como una unidad. Cuando todos los tubos estuvieran igualmente constreñidos, sin embargo, pueden producirse soldaduras, tubos o placas de tubos rotos, cuando uno o más de los tubos llega a taponarse. En realizaciones de intercambiador de calor de la presente invención, puede permitirse que el extremo frío de cada tubo se expanda y se contraiga de manera libre e independiente, mientras se mueve hacia delante y hacia atrás a través de juntas individuales en la placa de tubos de extremo frío. En una realización no limitativa, la figura 4 muestra una placa (400) de tubos de intercambiador de calor que incluye obturaciones (402) de junta tórica, que están colocadas en la placa (401) de tubos de extremo frío en hendiduras (403) de la junta tórica. En una realización no limitativa, tubos o manguitos (404) de cobre cortos están ubicados aguas abajo de la hendidura (403) de junta tórica y se ajustan por contracción térmica en su sitio. Los tubos de intercambiador de calor pasan a través de las juntas (402) tóricas y los tubos (404) de cobre, produciendo las juntas (402) tóricas obturaciones entre los tubos y la placa (401) de tubos de extremo frío. Los manguitos de cobre soportan los tubos y los mantienen centrados en las obturaciones de junta tórica para controlar la cantidad de deformación de la junta tórica. Las obturaciones de junta tórica y los tubos de cobre se lubrican con grasa durante el montaje. Esta grasa también sirve como barrera para evitar que las partículas de material

carbonizado y la ceniza alcancen las obturaciones de junta tórica. Las temperaturas en extremo frío se mantienen suficientemente bajas para permitir el uso de juntas tóricas de caucho elastoméricas. Ejemplos no limitativos de los materiales de junta tórica son silicona, caucho, neopreno, Buna-N, o el material Viton para sobrevivir a variaciones modestas de temperatura que podrían producirse si el soplador de enfriamiento falla temporalmente.

5 El ajuste de la velocidad de flujo del aire de enfriamiento al lado de carcasa del intercambiador de calor puede controlar la temperatura de salida del gas pobre. En una realización no limitativa, la velocidad de flujo del aire se controla mediante una velocidad variable del soplador que suministra el aire de enfriamiento al intercambiador de calor. En otra realización, el aire de enfriamiento se suministra mediante un soplador de velocidad fija controlándose la velocidad de flujo del aire de enfriamiento mediante un amortiguador o amortiguadores. En una realización, el flujo de aire de enfriamiento entra en el intercambiador de calor en el extremo frío y se desplaza generalmente a contracorriente hacia la corriente de gas pobre. Deflectores en el lado de la carcasa pueden hacer que el aire de enfriamiento realice muchos pases hacia delante y hacia atrás a través de los tubos de intercambiador de calor.

15 En otra realización, el aire de enfriamiento se divide, entrando parte de él en el extremo frío del intercambiador de calor y saliendo por la parte media de la carcasa del intercambiador de calor. La otra parte del aire de enfriamiento entra en la parte media del intercambiador de calor y sale del extremo caliente de la carcasa del intercambiador de calor. Deflectores en ambas corrientes de aire de enfriamiento hacen que pase hacia delante y hacia atrás a través de los tubos de intercambiador de calor de forma generalmente a contracorriente hacia los gases pobres. Un soplador de gas dado a menudo puede producir un flujo de aire mayor a una presión inferior. Una ventaja de esta realización es la caída de presión enormemente disminuida a través de las dos mitades de la carcasa, lo que permite que el soplador de aire de enfriamiento produzca mucho más aire de enfriamiento con requisitos de energía inferiores. Este mayor flujo de aire también elimina la necesidad de un soplador de aire de templado separado para evitar temperaturas de aire de salida excesivamente altas. Todavía en otra realización, el aire de enfriamiento entra cerca de la parte media del intercambiador de calor y parte del aire de enfriamiento se desplaza hacia el extremo caliente en flujo a contracorriente y la otra parte se desplaza hacia el extremo frío en flujo en cocorriente. Esta disposición también permite un mayor rendimiento de aire de enfriamiento con un soplador dado y produce un aire de temperatura media para secar materia prima.

30 En algunas realizaciones, puede ubicarse un calentador de conductos calentado eléctricamente en el conducto de entrada de aire de enfriamiento, que precalienta el intercambiador de calor hasta por encima de la temperatura del punto de rocío de gases pobres antes del encendido del lecho de material carbonizado en el gasificador. Una vez que el aire calentado pasa a través del intercambiador de calor, se conduce temporalmente hacia el recinto de filtro para ayudar en el precalentamiento del alojamiento de filtro. Además, antes del encendido, se extrae aire a través del gasificador y el intercambiador de calor para precalentarlo antes de que entre en el recinto de filtro para calentarlo. Estas precauciones pueden impedir la condensación de agua en los medios de filtro durante la puesta en marcha. Tras la puesta en marcha, se desconecta el calentador de conductos.

40 En otra realización no limitativa del intercambiador de calor, el fluido de enfriamiento es agua o disoluciones de glicol/agua. Se permite que los tubos individuales se expandan libremente con la temperatura a través del mismo tipo de junta en la placa de tubos fría al igual que con el intercambiador de calor enfriado por aire. El intercambiador de calor enfriado por agua también se precalienta antes del encendido del gasificador, para impedir que el agua se condense a partir del gas pobre. Algunos sistemas conocidos requieren la eliminación de partículas de material carbonizado arrastradas en separadores ciclónicos antes de su enfriamiento. En algunas realizaciones de la presente invención, no se intenta eliminar las partículas de material carbonizado y ceniza arrastradas antes del enfriamiento. La gran área superficial de las partículas pequeñas de material carbonizado y ceniza arrastrados puede servir como núcleos de condensación para la pequeña cantidad de vapores de alquitrán residual que se condensan en el gas de enfriamiento. En algunas realizaciones a modo de ejemplo, las partículas de material carbonizado arrastradas absorben alquitranes residuales sobre sus superficies, cuando se enfrían mientras pasan a través del intercambiador de calor.

55 Las partículas más grandes de material carbonizado y ceniza también pueden tener una acción de limpieza por abrasión para mantener las superficies de transferencia de calor limpias de alquitrán, material carbonizado fino y depósitos de ceniza, mientras se arrastran por el flujo turbulento de los gases pobres. En enfoques conocidos actualmente que incluyen eliminar las partículas más grandes de material carbonizado antes del intercambiador de calor con separadores ciclónicos, a menudo es necesario limpiar los tubos de intercambiador de calor con más frecuencia, en comparación con las presentes realizaciones descritas en el presente documento. En algunas realizaciones, puede usarse el fluido o aire calentado procedente del intercambiador de calor para secar la biomasa o materias primas orgánicas o para otras aplicaciones de calentamiento a baja temperatura.

60 Filtración de gas

En algunas realizaciones actuales de gasificador, el gas pobre está compuesto por bajo contenido en alquitrán. El material carbonizado, con su pequeña cantidad de alquitranes adsorbidos, pueden tener un aspecto seco, no pegajoso. Tales resultados permiten la filtración de gases enfriados para eliminar el material carbonizado arrastrado, dando como resultado un gas pobre limpio que es adecuado para alimentar motores de combustión interna sin temor

de que se produzcan depósitos de alquitrán en el motor. Las partículas finas de material carbonizado pueden filtrarse de la corriente de gas, usando un filtro permeable. Los filtros adecuados para su uso con realizaciones de la presente invención incluyen los descritos en la solicitud de patente estadounidense número US 7.833.320 presentada el 28 de junio de 2006 (Method and Apparatus for a Self-Cleaning Fluid Filter).

5 Uso de gas

Los motores de combustión interna convencionales, otras máquinas tractoras principales tales como turbinas, pilas de combustible, motores Stirling o extensores de desplazamiento, pueden usar el gas pobre como combustible. Si se incluye un soplador o se proporciona un eductor, el gas puede quemarse simultáneamente en un motor y en quemadores de gas o una antorcha. Dos o más gasificadores podrían aplomarse juntos en paralelo para hacer funcionar eficazmente varias máquinas tractoras principales o quemadores en paralelo con respecto a una amplia variedad de salidas de energía. Esto permitiría que los varios sistemas pequeños respondan como un sistema grande muy versátil, sin el gasto y el riesgo de desarrollar un sistema grande de este tipo. El motor puede hacerse funcionar en paralelo con un soplador que está proporcionando gas combustible para una aplicación de quemador, proporcionando por tanto calor y energía simultáneamente sin recuperar necesariamente el calor residual del motor. Con esta disposición, el motor y el quemador pueden hacerse funcionar independientemente entre sí. Para la puesta en marcha del sistema, es posible iniciar el gasificador usando un soplador mecánico o eductor accionado por aire para proporcionar la corriente a través del sistema de gasificador. El primer gas producido a partir del material carbonizado tiene un índice de combustible bajo y se envía a una antorcha. En una realización no limitativa, un elemento calentado eléctricamente luminiscente está ubicado (por ejemplo de manera permanente) en la antorcha para encender automáticamente los gases pobres en cuanto sean combustibles. Una vez que se enciende el gasificador y que ha comenzado la alimentación, el motor puede iniciarse fácilmente con el gas pobre.

En una realización no limitativa, el motor puede usarse para iniciar el sistema usando un combustible convencional inicialmente y luego haciendo la transición automática mediante los controles del sistema desde extraer aire puro a través del sistema de gasificador hacia el motor antes del encendido, hasta extraer aire con oxígeno reducido no combustible durante el encendido del gasificador, hasta extraer gas pobre combustible durante el funcionamiento en estado estacionario. Este gas combustible limpio podría usarse como materia prima para la conversión de amoníaco, alcoholes o productos químicos y combustibles líquidos de Fischer-Tropsch. En algunas realizaciones, el gas producido podría ser incluso más adecuado para su conversión en alcoholes o líquidos de Fischer-Tropsch, si se hubiera formado usando oxígeno, en lugar de aire (es decir, como un sintegás con poco o ningún contenido en nitrógeno).

35 Controles automatizados

En algunas realizaciones, todo el sistema está controlado por un controlador de automatización programable (PAC) incorporado, que a su vez está controlado por un ordenador ubicado a distancia, que usa una red de área local (LAN) o Internet para la comunicación. Incorporados en el programa de control hay algoritmos “expertos” que hacen que el sistema reaccione de manera apropiada para cambiar las condiciones del proceso de la misma manera o similar a la que realizará un operario humano experto. Tales condiciones de proceso de cambio incluyen humedad de alimentación variable, cargas de motor, caídas de presión a través del gasificador, etc. Esto permite que el sistema se haga funcionar y se monitorice por un operario a tiempo parcial, cuya tarea principal es volver a cargar el compartimento de almacenamiento de alimentación periódicamente. En caso de fallo grave del sistema o mediante una única orden del operario, el ordenador apagará el sistema de manera segura.

En muchos sistemas conocidos, las temperaturas en un gasificador de corriente descendente son superiores en la región de pirólisis a la llama y disminuyen cuando los gases de producto reaccionan endotérmicamente con el lecho de material carbonizado. Algunos sistemas conocidos sólo usan uno o dos niveles de inyección de aire-material carbonizado para elevar la temperatura del lecho de material carbonizado. Esto puede dar como resultado zonas calientes muy cortas cerca del punto de inyección de aire-material carbonizado. En algunas realizaciones de la presente invención, un amplio control de aire-material carbonizado proporciona una capacidad única para mantener la temperatura de la altura completa del lecho de material carbonizado a temperaturas suficientemente altas para la destrucción rápida de alquitranes residuales y la conversión de vapor de agua, dióxido de carbono y material carbonizado en monóxido de carbono e hidrógeno, pero a temperaturas suficientemente bajas para que puedan usarse aceros inoxidable baratos en la construcción del gasificador, en lugar de metales exóticos o cerámicas pesadas. Esto da como resultado un gasificador de peso ligero que puede llevarse rápidamente hasta la temperatura y producir gas utilizable, limpio. Mediante la manipulación de las cantidades de aire relativas que entran en la parte superior del gasificador y el aire inyectado en el lecho de material carbonizado, puede controlarse la ubicación de la zona de pirólisis a la llama y compensar una amplia variedad de cantidades de humedad en la alimentación.

En algunas realizaciones, pueden fijarse límites para impedir temperaturas que son demasiado altas y que podrían dañar el gasificador, así como, temperaturas tan bajas que pasarían los alquitranes a través del gasificador sin destrucción. El ordenador puede mantener automáticamente las temperaturas superiores en la parte inferior del gasificador. Cuando las temperaturas locales son extraordinariamente altas en el gasificador, a menudo se debe a un canal o “agujero de sondeo”. Hacer vibrar el gasificador más a menudo tenderá a colapsar los agujeros de

sondeo, conduciendo a una temperatura mucho más inferior en el gasificador superior. Hacer vibrar el gasificador más también empaquetará el lecho y aumentará su caída de presión. El sistema de control intentará compensar el dP superior moliendo el material carbonizado y moviendo más partículas finas de material carbonizado a través de la rejilla, lo que conduce a una disminución del frente de llama a medida que se reducen las existencias de lecho de material carbonizado. Por tanto, el sistema realiza automáticamente esta vibración adicional del gasificador, si detecta temperaturas extraordinariamente altas, pero sólo durante un número de veces limitado para evitar la vibración excesiva que empaquetaría el lecho o eliminaría demasiado material carbonizado. Otra fuente de alto dP a través de la rejilla es una acumulación de rocas o clinkers (ceniza sinterizada o fundida) en la rejilla, lo que hará que el dP de la rejilla aumente. Ambas situaciones pueden remediarse por el sistema de control automatizado activando el mecanismo de rejilla para duraciones más largas y/o más a menudo a intervalos más cortos.

El motor puede ser la máquina tractor principal para el gas pobre a través del sistema, mientras se genera electricidad tras la fase de precalentamiento inicial durante la puesta en marcha. La razón de aire/combustible puede controlarse mientras el motor está funcionando a través del uso de un sensor de O₂ de banda ancha y una única válvula de mariposa de aire de combustión. El control del nivel de O₂ en el gas de escape puede ayudar a estar conforme con estrictas normas de emisión para sistemas de generador y puede contribuir a una mayor eficacia del motor obteniendo una mezcla de combustible más poderosa. Esta válvula de aire de combustión puede controlarse mediante microprocesador y basarse en sensores de flujo de la masa de aire montados en la corriente de gas así como en la corriente de aire para emparejar una mezcla estequiométrica a través de cualquier intervalo de energía razonable. Este control de mezcla puede ajustarse dentro del software mediante el ajuste de una variable, si son necesarias reducciones de emisión adicionales.

Mantenimiento

Periódicamente, el gasificador puede revisarse para eliminar fragmentos de materiales de la rejilla, tales como clavos, tuercas, arandelas, tornillos o pernos compuestos por hierro o acero inoxidable. En algunas realizaciones, el gasificador se enfría primero y se purga para eliminar de manera segura gases pobres residuales que contienen monóxido de carbono. El lecho de material carbonizado restante puede eliminarse entonces de manera segura del gasificador. Si es necesario limpiar adicionalmente la rejilla, pueden eliminarse los pernos en el reborde del gasificador. Las figuras 1A y 1B muestran que, en una realización no limitativa, la parte superior del gasificador (109) puede levantarse entonces de la parte (111) inferior con el uso de cilindros (106) hidráulicos montados (por ejemplo de manera permanente) en el armazón (107 y 108) con una bomba hidráulica y válvulas adecuadas. En algunas realizaciones, los cuatro cilindros (106) hidráulicos están interconectados con tubos flexibles hidráulicos, de modo que los cuatro cilindros hidráulicos se levanten simultáneamente. Desde esta ubicación, el operario levanta la parte superior del gasificador (109) de la parte inferior del gasificador (111) usando una válvula hidráulica para suministrar fluido hidráulico presurizado para impulsar los cilindros hidráulicos. Alternativamente, el mecanismo podría impulsarse mediante tornillos extractores o trinquetes interconectados. Los cuatro postes de esquina del gasificador soportan la estructura que consiste en tubos telescópicos, de modo que la estructura que sujeta el gasificador es muy estable. El uso de pasadores insertados para seguridad una vez que la unidad se levanta, garantiza que el gasificador no puede caer sobre el operario accidentalmente, como podría ocurrir con presión de fluido hidráulico liberada accidentalmente o un sistema hidráulico con fugas.

Para inspeccionar y limpiar el interior de los tubos de intercambiador de calor, puede retirarse fácilmente un reborde en el extremo frío del intercambiador de calor una vez que el gasificador está frío y se han purgado los gases pobres del sistema. Si es necesario limpiar los tubos de intercambiador de calor, puede emplearse un cepillo de alambre redondo montado en una varilla larga. Esta varilla de limpieza puede estar accionada por motor para hacerla girar, igual que con la técnica anterior. Si se requiere el acceso del extremo caliente del intercambiador de calor, puede retirarse otro reborde ubicado 180° de la salida de gas del gasificador, sin desmontar el gasificador del intercambiador de calor. Esto permite un acceso completo al interior de los tubos de intercambiador de calor, a través de orificios de acceso suficientemente fríos para permitir el uso de materiales de empaquetadura elastomérica. Para eliminar depósitos de partículas pesadas (por ejemplo, rocas pequeñas), del fondo del gasificador que no se arrastran al interior del intercambiador de calor, la figura 1 muestra que un orificio (110) de limpieza está ubicado en el núcleo (111) de fondo del gasificador. Este orificio de limpieza también proporciona acceso para limpiar los tubos de intercambiador de calor del extremo caliente.

La figura 5 muestra la disposición global y una indicación del sistema (590) de control y adquisición de datos, en una realización no limitativa. Pueden usarse termopares (500) ampliamente por todo el sistema para monitorizar las temperaturas. La alimentación (501) que va a gasificarse entra en la secadora (502) y se mueve a través de la secadora mediante un motor (505) cuya velocidad está controlada por el controlador (504). Un sensor (506) de nivel cerca de la parte superior del compartimento (507) de alimentación seca conecta el motor de la secadora según sea necesario para mantener el compartimento de alimentación seca casi lleno de alimentación seca. Un sensor (508) de nivel similar cerca de la parte superior del gasificador (509) activa el motor (510) de alimentación para mover la alimentación desde el compartimento (507) de alimentación seca al interior del gasificador (509). En la parte superior del gasificador (509) hay una compuerta (511) de alimentación que se mantiene abierta durante las operaciones de gasificación. Aire (512) de gasificación primario también entra a través de la compuerta (511) de alimentación abierta. La compuerta (511) de alimentación se mantiene abierta mediante electroimanes durante las operaciones de

gasificación. Un vibrador (513) eléctrico hace vibrar periódicamente el gasificador para sedimentar el lecho de material carbonizado y la alimentación reciente. La frecuencia de la vibración está controlada por un controlador (514) de motor. Un soplador (515) de aire presuriza un colector que distribuye el aire de gasificación secundario a cinco válvulas (516) controlables. Cerca del fondo del gasificador, un agitador (517) de rejilla se activa periódicamente para eliminar el material carbonizado y la ceniza del gasificador, basándose en la caída de presión a través del gasificador y la rejilla medida mediante un transductor (518) de presión.

Los gases pobres y el material carbonizado arrastrado se enfrían a medida que pasan a través del intercambiador (519) de calor enfriado por aire. La velocidad de flujo del aire de enfriamiento está controlada por la velocidad del motor (520) de soplador, controlada por el controlador (521) de motor a través del controlador automatizado programable (PAC), basándose en la temperatura del gas pobre que sale del intercambiador (519) de calor. La caída de presión a través del intercambiador (519) de calor se monitoriza con un transductor (522) de presión. Los gases pobres enfriados entran entonces en el alojamiento (523) de filtro. El alojamiento (523) de filtro contiene múltiples bolsas de filtro en paralelo. El flujo de gas hacia cada bolsa de filtro está controlado por múltiples válvulas (524) ubicadas en las tuberías individuales a través de las cuales el gas fluye desde cada bolsa de filtro. Cuando esta válvula se cierra, la bolsa de filtro avanza a través de su ciclo de limpieza. Una fracción de las bolsas se limpia en cualquier momento, permitiendo el funcionamiento continuo del sistema. Un transductor (525) de presión monitoriza la caída de presión a través de los filtros. El material carbonizado y la ceniza caen al fondo del alojamiento (523) de filtro, donde pueden retirarse continuamente mediante un tornillo (526) sin fin a un compartimento (527) de material carbonizado para su desecho o venta.

El gas filtrado pasa a través de un medidor (528) de flujo para medir la velocidad de flujo de gas pobre, usando datos procedentes de un termopar y un transductor (529) de presión. Se usa un sensor (530) de oxígeno para detectar niveles no seguros de oxígeno en el gas pobre. Se usa una pieza en T para desviar flujo de gas o bien hacia el motor/grupo (541) electrógeno o bien a través de una válvula (531) de contención hacia el soplador (532) de gas pobre hacia la antorcha (533). Un encendedor (534) en la antorcha garantiza que los gases pobres se queman en la antorcha (533). Un motor y controlador (535) de motor controla el flujo gas pobre que va hacia la antorcha, según lo dirige el ordenador de control. Los gases pobres que avanzan hacia el motor/grupo (541) electrógeno están controlados por el regulador (538) de motor en respuesta a la carga del motor y el sensor (540) de presión de aire del colector. El nivel de oxígeno en los gases de escape está monitorizado con un sensor (542) de oxígeno. La señal de este sensor (542) de oxígeno se usa para controlar el flujo de aire (539) de combustión con la válvula (536). El flujo de aire (539) de combustión está monitorizado por un medidor (537) de flujo. Los gases de escape calientes pasan a través de un convertidor (543) catalítico para reducir las emisiones no deseadas, por ejemplo, CO, hidrocarburos y NOx. Los gases de escape se enfrían en un intercambiador (544) de calor para recuperar el calor residual que se combina con el calor residual recuperado por el refrigerante de motor. El refrigerante líquido frío se envía a la carga (545) térmica. El calor en exceso se elimina del refrigerante líquido mediante un intercambiador (546) de calor enfriado por aire. Los termopares monitorizan la temperatura del refrigerante líquido que avanzan al interior y que salen de la carga (545) térmica y el intercambiador (546) de calor.

Durante la puesta en marcha de esta realización del sistema, un precalentador (547) eléctrico calienta el aire que entra en el intercambiador (519) de calor. El aire caliente que sale del intercambiador (519) de calor se desvía hacia el alojamiento (523) de filtro para calentarlo por encima de la temperatura de punto de rocío del gas pobre. Además, un precalentador (548) eléctrico precalienta el alojamiento (523) de filtro. Una vez completado el precalentamiento y que el gasificador está funcionando, el aire caliente procedente del intercambiador de calor pasa a la secadora (502) para secar la alimentación (501). En caso de que no se requiera el secado de materia prima, una válvula (549) proporcional descarga el aire (550) caliente al entorno. Basándose en una lectura del termopar, se añade aire de templado al aire caliente hasta reducir la temperatura hasta por debajo de la que podría calentar excesivamente la biomasa de secado para evitar la formación de "opacidad azul" o encender posiblemente la alimentación en la secadora. La velocidad de flujo del aire de templado se hace variar mediante un controlador (551) de motor que controla la velocidad del motor (552) que acciona el soplador (553) de aire de templado. Si la alimentación es muy seca, se pulveriza agua (556) a la parte superior del gasificador (509) para controlar el frente de llama de pirólisis. Se suministra agua (556) a presión mediante una bomba (555) a la boquilla (557) de pulverización.

Sistemas en red

La figura 6 muestra cómo puede conferirse por sí misma una arquitectura (600), distribuida, modular, altamente automatizada según algunas realizaciones de la presente invención para hacer funcionar una red de sistemas de generación de energía de biomasa. Un sistema (601) de servidor central ubicado en una ubicación distante puede controlar un sistema (602) de cliente distribuido a través de un sistema de comunicaciones tal como una red inalámbrica o línea terrestre. Cada sistema de cliente distribuido está asociado a su vez con su propio sistema (603) de generación de energía de biomasa *in situ*. La figura 7 muestra una arquitectura (600') según una realización de la presente invención que incluye un sistema (602') de cliente distribuido *in situ* asociado a un sistema (601') de cliente servidor y un controlador (604') de automatización de procesos que controla cada uno de los cinco módulos principales (gasificador (509)', motor (510) de alimentación', intercambiador (519) de calor', filtro (523') de gas y dispositivo (541') de aplicación de gas combustible) que comprenden un sistema generador de gas combustible *in situ* completo. Estos módulos o dispositivos se controlan para lograr parámetros deseados tales como temperatura,

presión, salida de energía y similares. Por ejemplo, el controlador (604') de automatización de procesos puede contener o proporcionar instrucciones para ajustar la ubicación de la zona de pirólisis en respuesta a las temperaturas detectadas en el gasificador. Esto puede implicar cambios en la cantidad de aire-material carbonizado que avanza al interior de cada nivel de la cámara, cambiando el programa de vibración y cambiando el programa de rejilla. En algunas realizaciones, para mover la ubicación de la zona de pirólisis en la dirección ascendente, el controlador puede dar instrucciones a diversos componentes del sistema para disminuir el aire-material carbonizado, disminuir el programa de vibración y disminuir el funcionamiento de la rejilla. En algunos casos, el uso de madera seca u otra alimentación puede mover la zona de pirólisis en sentido ascendente. De manera similar, en respuesta a los cambios de humedad en la alimentación, el controlador de automatización de procesos puede proporcionar instrucciones para ajustar los parámetros del sistema para estabilizar el funcionamiento del gasificador, por ejemplo cambiando la ubicación de la zona de pirólisis. La figura 8 muestra una arquitectura (600") según una realización de la presente invención que incluye un sistema (602") de cliente distribuido acoplado con un sistema (601") de cliente servidor que tiene capacidad para controlar en sentido descendente hasta el nivel de componente, en este caso cinco dispositivos eléctricos (vibrador (513"), sopladores (515") de aire-material carbonizado, rejilla (517"), soplador (518") de gas producto y elemento (554") calefactor tipo Calrod) dentro del módulo (509") de gasificador. Estos módulos o dispositivos se controlan para lograr parámetros deseados tales como temperatura, presión, salida de energía y similares, de formas similares a las descritas anteriormente con respecto al controlador de automatización de procesos. Esta característica puede ser útil para el rendimiento de monitorización y para actualizar algoritmos de manera oportuna.

La figura 9 proporciona una representación esquemática de un gasificador (900) estratificado de corriente descendente según las realizaciones de la presente invención. El oxidante (901) principal y la alimentación (902) entran ambos en el gasificador en la parte superior, formando una capa de alimentación (903) reciente en el gasificador. Por debajo de la alimentación (903) reciente está la zona (904) de secado donde se calienta la alimentación y pierde vapor de agua hacia el aire de combustión primario. A medida que la alimentación seca se calienta adicionalmente, se piroliza y libera vapores orgánicos calientes, que se encienden y entran en combustión parcial por el aire (901) primario en la zona (905) de pirólisis a la llama. Una vez que la alimentación se ha pirolizado completamente al material carbonizado, entra en la zona (906) de oxidación de material carbonizado, donde se añade oxidante (907) secundario para oxidar el material carbonizado y para mantener altas temperaturas en la zona (906) de oxidación de material carbonizado. Estas temperaturas son suficientemente altas de manera que algo de oxidación del material carbonizado se produce mediante reacciones endotérmicas de vapor de agua y dióxido de carbono que reaccionan para formar hidrógeno y monóxido de carbono. Los alquitranes residuales en los gases se descomponen y se oxidan en la zona (906) de oxidación de material carbonizado. Puede ser deseable impedir que regiones en el lecho de combustible carezcan de material carbonoso sólido, por ejemplo en las zonas (906 y 908), ya que tales huecos pueden alterar las temperaturas y flujos de gas lo que conduce a aumentos considerables en la formación de alquitrán o incluso el cese del proceso de gasificación en algunos casos. Los gases (909) producidos arrastran el material carbonizado y la ceniza (910) residuales para dejar el fondo del gasificador como una única corriente.

Ejemplo 1

Se usaron virutas de madera blanda con un tamaño nominal de una pulgada (2,5 cm) en un gasificador con un diámetro de 20 pulgadas y una separación de 6 pulgadas entre cinco niveles de inyección de aire-material carbonizado. Durante el experimento, el contenido en humedad de las virutas secadas con aire varió entre el 7% y el 8%. Se precalentaron el intercambiador de calor y el filtro durante 50 minutos antes de comenzar a encender el lecho de material carbonizado.

Se retiró uno de los tubos de inyección de aire-material carbonizado cortos en el nivel más bajo del gasificador para proporcionar un orificio abierto para el encendido. Mientras que un soplador mecánico estaba proporcionando succión en el sistema y hacía fluir aire a través del mismo, se usó un soplete de propano manual para encender el material carbonizado en esta ubicación de tubo de aire-material carbonizado individual. Entonces volvió a insertarse el tubo de inyección de aire-material carbonizado. El encendido del lecho de material carbonizado se extendió rápidamente hacia arriba y horizontalmente a través del gasificador. Los tres niveles inferiores de inyección de aire-material carbonizado alcanzaron más de 800°C siete minutos tras encender el material carbonizado y entonces se inició el alimentador de virutas de madera. Habitualmente se mantuvo la velocidad de flujo de gas pobre entre 135 y 140 Nm³/h por el soplador. Durante esta ejecución de prueba, se arrancó el motor con gas pobre y produjo 41 kW_e con el generador eléctrico de 3 fases durante un corto periodo. Durante la mayor parte de la ejecución, el gas pobre se quemó en un quemador con vórtice de torbellino con una llama que era invisible a la luz del día.

Se ajustaron automáticamente los flujos de aire-material carbonizado a cada nivel mediante sopladores individuales, de velocidad controlada por ordenador, para cada nivel. Los 50 tubos de inyección de aire-material carbonizado estaban equipados con un termopar estando la unión cerca del extremo cerrado del tubo en un pozo térmico. Tras alcanzarse un estado estacionario, los promedios de las diez temperaturas medidas en el nivel 1 (cerca de la parte superior) fueron de aproximadamente 750°C, en el nivel 2 fueron de aproximadamente 860°C, en el nivel 3 fueron de aproximadamente 940°C, en el nivel 4 fueron de aproximadamente 910°C y en el nivel 5 fueron de aproximadamente

960°C. La temperatura de la rejilla fue de aproximadamente 870°C. La caída de presión a través de la rejilla permaneció relativamente constante a menos de 1 pulgada de columna de agua.

5 El intercambiador de calor de carcasa y tubo usado en esta ejecución tenía el flujo convencional totalmente a contracorriente de aire de enfriamiento en la carcasa, con una única entrada y salida. A 135 Nm³/h de gas pobre, el soplador de enfriamiento de velocidad controlada estaba normalmente funcionando a aproximadamente 53 Hz de los 60 Hz posibles para enfriar el gas pobre desde 783°C hasta 110°C. La caída de presión a través del lado de tubo del intercambiador de calor permaneció constante a aproximadamente 0,9 pulgadas de columna de agua. El sistema de filtro usó 5 filtros, con 4 filtros activos y el quinto filtro en un ciclo de limpieza. El diámetro de las bolsas de filtro era
10 de 18 pulgadas y la longitud era de 30 pulgadas. La caída de presión a través del sistema de filtro permaneció estacionaria entre dos y tres pulgadas de columna de agua durante esta prueba de 3 horas. Se usó un sistema de nebulización de agua manual (un pulverizador doméstico-de jardín) para controlar el frente de llama en seis ocasiones durante esta prueba.

15 Las composiciones típicas de los gases pobres secados fueron de aproximadamente el 18% de CO, el 10% de CO₂, el 1½% de metano y el 16% de hidrógeno, siendo el resto nitrógeno. Se tomaron dos muestras de 10 pies cúbicos de gas después del filtro y se determinó que tenían 13 ppm y 21 ppm de alquitranes solubles en acetona y menos de 10 ppm materiales particulados no solubles en acetona, valores que se consideran extremadamente bajos. Se alimentó un total de 129 kg de virutas de madera secas a lo largo de aproximadamente tres horas. El material
20 carbonizado recuperado pesaba 0,73 kg, para un rendimiento del 0,57%.

Ejemplo 2

25 Muchos de los parámetros en esta prueba fueron similares a la prueba del ejemplo 1, sin embargo se hizo funcionar el motor para producir electricidad para satisfacer una carga de 49,4 kW_e usando 135 Nm³/h de gas pobre a una altura de 5720 pies sobre el nivel del mar. Si el motor hubiera estado a nivel del mar, corrigiendo para la razón de presión atmosférica, se hubiera esperado una salida de energía de 60,9 kW_e a una velocidad de flujo de gas pobre correspondientemente superior.

30 Se encendió el gasificador retirando los cinco de los dedos cortos del nivel de inyección de aire-material carbonizado más bajo. Mientras el soplador de gas pobre estaba extrayendo aire a través del sistema, se usó un soplete de propano manual para encender el lecho de material carbonizado a través de los cinco orificios abiertos que alojan los tubos de inyección de aire-material carbonizado cortos. Se midió el contenido en humedad de la madera usada en esta ejecución y se encontró que variaba entre el 9% y el 14%. La composición de gas seco en esta ejecución fue
35 normalmente del 20% de CO, el 10% de CO₂, el 3% de metano y el 18% de hidrógeno, siendo el resto nitrógeno.

Ejemplo 3

40 Muchos de los parámetros en esta prueba fueron similares a la prueba del ejemplo 2, sin embargo sólo se retiraron dos de los tubos de inyección de aire-material carbonizado cortos para el encendido con el soplete de propano manual. El encendido pareció extenderse aproximadamente igual de rápido hacia arriba a través del lecho de material carbonizado, casi como si el gasificador se hubiera encendido en cinco ubicaciones, en vez de sólo en dos. El contenido en humedad de la alimentación varió entre el 7 y el 12% en esta ejecución. Durante la parte en estado estacionario de esta ejecución, mientras se producían 135 Nm³/h de gas pobre a lo largo de un periodo de
45 146 minutos, se alimentaron 99,6 kg de virutas de madera seca. Esto fue una tasa de alimentación de 40,9 kg de virutas de madera húmeda/h. Basándose en los 49,4 kW_e producidos por el motor/grupo eléctrico en el ejemplo 2, el sistema requiere 0,75 kg de madera seca por kW_eh.

Ejemplo 4

50 Antes de esta prueba, se había montado permanentemente un elemento calefactor tipo Calrod eléctrico a través de su propio orificio en el nivel más bajo de los tubos de inyección de aire-material carbonizado. Después de calentarse el intercambiador de calor y el filtro para impedir la condensación de agua en el filtro y de que fluyera aire a través del gasificador inducido por un soplador cerca de la antorcha, se activó el elemento calefactor tipo Calrod de manera remota y automática por el ordenador para encender el lecho de material carbonizado. Tras haber detectado el
55 ordenador el encendido del lecho de material carbonizado, se interrumpió automáticamente el elemento calefactor tipo Calrod para evitar sobrecalentarlo. El lecho de material carbonizado se encendió de manera satisfactoria y poco después se inició la alimentación.

60 El contenido en humedad de las virutas de madera varió desde el 2,5% hasta el 14,1% (base húmeda). Las virutas de madera usadas en esta ejecución fueron una mezcla de álamo y abeto de Douglas, que ocasionalmente contenían piedras pequeñas. Estas piedras se acumularon en el gasificador y en la rejilla, en los que contribuyeron a aumentos momentáneos en la caída de presión a través del gasificador y a través de la rejilla.

65 Mediante el aumento de la fracción de tiempo en el que se activaba el mecanismo de rejilla con movimiento alternativo, el sistema pudo volver a caídas de presión relativamente bajas a través de la rejilla, aparentemente

5 rompiendo las rocas hasta que fueron lo bastante pequeñas como para pasar a través de la rejilla. Inmediatamente debajo de la rejilla había pequeñas acumulaciones de pequeñas rocas de aproximadamente 4 mm de tamaño o menores, es decir lo bastante pequeñas como para haber pasado a través de la rejilla de malla metálica. La caída de presión a través de la rejilla varió desde 0,5 pulgadas de C.A. (cuando la rejilla pareció estar relativamente libre de rocas) hasta más de 2½ pulgadas de C.A. (cuando la rejilla pareció tener rocas acumuladas momentáneamente).

10 Durante esta ejecución de 48 horas a de 90 a 132 Nm³/h de velocidades de flujo de gas pobre, la caída de presión a través del intercambiador de calor permaneció relativamente constante a de 0,4 a 0,8 pulgadas de C.A. y a través del filtro a aproximadamente 1,8 y 2,9 pulgadas de C.A. La variable principal que afectó a las caídas de presión fue la velocidad de flujo de gas pobre. Se requirieron velocidades de flujo de gas pobre superiores cuando se hacía funcionar el nebulizador de agua para controlar el frente de llama con esta alimentación seca. Se hizo funcionar principalmente el motor/grupo electrógeno para producir 39 kW_e a una altura de 5720 pies sobre el nivel del mar durante este tiempo, aunque suministró hasta 45 kW_e durante un corto periodo. (Corregido para la presión atmosférica a nivel del mar, el motor estaba produciendo principalmente el equivalente a 48 kW_e durante esta ejecución y hasta 56 kW_e durante un corto periodo.)

Ejemplo 5

20 Muchos de los parámetros en esta prueba fueron similares a la prueba del ejemplo 4. Las virutas de madera en esta ejecución de fatiga de 25 horas estaban relativamente húmedas procedentes de la secadora y al entrar en el gasificador su contenido en humedad varió entre el 6,4% y el 33,1 % (base húmeda). El gasificador controlado por ordenador pudo mantener automáticamente la posición del frente de llama en el gasificador en la proximidad del nivel superior de inyección de aire-material carbonizado. Las temperaturas en los tres niveles inferiores de inyección de aire-material carbonizado y la rejilla se mantuvieron entre 800°C y 900°C durante esta ejecución, sólo con excepciones momentáneas. La composición de gas pobre tendió a tener concentraciones de dióxido de carbono y metano superiores a lo habitual, pero niveles de monóxido de carbono inferiores. Se piensa que el contenido en metano superior se provocó por las temperaturas ligeramente inferiores en el gasificador, debido al efecto de enfriamiento de la humedad. El dióxido de carbono adicional parece haberse creado por la reacción de desplazamiento de agua-gas de agua y monóxido de carbono para proporcionar dióxido de carbono e hidrógeno.

REIVINDICACIONES

1. Método automatizado para convertir un material carbonoso, sólido, en un gas combustible con bajo contenido en alquitrán dentro de una cámara (50), (200) de reactor de gasificación de corriente descendente, que comprende:

5 introducir el material carbonoso en la cámara (50), (200);

transformar una primera parte del material carbonoso en un material carbonizado en una zona de pirólisis a la llama;

10 controlar una pluralidad de temperaturas a lo largo de una longitud de la cámara inyectando gas oxidante en una pluralidad de niveles en la cámara (50), (200) de reactor de gasificación;

controlar una cantidad del gas oxidante inyectado desde al menos uno de la pluralidad de niveles;

15 variar una ubicación de la zona de pirólisis a la llama dentro de la cámara aumentando o disminuyendo una cantidad de gas oxidante inyectado aguas arriba o aguas abajo de la zona de pirólisis;

controlar la porosidad del material carbonizado y una segunda parte del material carbonoso en la cámara (50), (200) de reactor de gasificación aplicando al menos una fuerza a la cámara; y

20 convertir el material carbonizado y la segunda parte del material carbonoso en el gas combustible con bajo contenido en alquitrán dentro de la cámara (50), (200) de reactor de gasificación;

25 caracterizado porque: el gas oxidante se suministra a un interior de la cámara (50), (200) de reactor de gasificación a distancias variables de una pared (101) de la cámara de reactor de gasificación en un patrón que distribuye uniformemente el gas oxidante dentro de un lecho de combustible a través de una pluralidad de tubos (102) de inyección que penetran en la pared del reactor de gasificación en más de dos niveles, comprendiendo los tubos de inyección en al menos un nivel tubos (203) de inyección cortos que alternan con tubos (204) de inyección largos.
2. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende además controlar la porosidad del material carbonizado y la segunda parte del material carbonoso haciendo vibrar la cámara (50), (200) de reactor de gasificación o moliendo el material carbonizado y la segunda parte del material carbonoso para maximizar la reducción de alquitrán con un mínimo de caída de presión para un intervalo determinado de velocidades de flujo de gas combustible.
3. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque el material carbonoso comprende una densidad aparente mayor de aproximadamente 3 libras por pie cúbico.
4. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque el material carbonoso comprende un elemento seleccionado del grupo que consiste en una biomasa leñosa, una biomasa no leñosa, un producto celulósico, un cartón, un tablero de fibras, un papel, un plástico y un producto alimenticio.
- 45 5. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende además controlar la cantidad de gas oxidante inyectado en la cámara (50), (200) de gasificación en dos o más niveles con uno o más ventiladores o sopladores de velocidad variable, con una o más válvulas o con uno o más reductores de flujo.
- 50 6. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque la pluralidad de tubos de inyección comprenden una pluralidad de boquillas a través de las cuales se suministra gas oxidante, en el que las boquillas están separadas en los tubos (102) de inyección para tener una distribución relativamente uniforme de gas oxidante en cada nivel.
- 55 7. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque el al menos un nivel, que comprende tubos (203) de inyección cortos y tubos (204) de inyección largos alternantes, comprende además un tubo (205) de inyección extralargo para cubrir un área central del al menos un nivel, teniendo el tubo (205) de inyección extralargo tubos (203) de inyección cortos en cada lado.
- 60 8. Aparato de reactor de gasificación automatizado para convertir un material carbonoso, sólido, en un gas combustible, que comprende:

una fuente de calor configurada para encender el material carbonoso, sólido, para formar un gas combustible;

una cámara (50), (200) de reactor de gasificación que comprende una pared (101) del reactor de gasificación;

65

una pluralidad de tubos (102) de inyección que penetran en la pared (101) del reactor de gasificación, estando configurados los tubos (102) de inyección para suministrar un gas oxidante a un interior de la cámara de reactor de gasificación a distancias variables de la pared (101) del reactor de gasificación; y

5 una rejilla (303) móvil y un tamiz de malla ubicado en una salida aguas abajo de la cámara de reactor de gasificación, estando configurada la rejilla para triturar material carbonizado o ceniza frangible hasta un tamaño que puede pasar a través del tamiz de malla;

10 caracterizado porque la pluralidad de tubos (102) de inyección penetran en la pared (101) del reactor de gasificación en más de dos niveles y están configurados para suministrar gas oxidante a un interior de la cámara (50), (200) de reactor de gasificación a distancias variables de la pared (101) del reactor de gasificación en un patrón que distribuye uniformemente el gas oxidante dentro de un lecho de combustible, comprendiendo los tubos de inyección en al menos un nivel tubos (203) de inyección cortos que alternan con tubos (204) de inyección largos.

15 9. Aparato según la reivindicación 8, caracterizado porque la fuente de calor para encendido comprende un calentador de resistencia eléctrica o un quemador de gas.

20 10. Aparato según la reivindicación 8, caracterizado porque comprende además un medio de soplador configurado para inyectar el gas oxidante en la cámara de gasificación, comprendiendo el medio de soplador un único soplador que tiene una pluralidad de válvulas de control o una pluralidad de sopladores.

25 11. Aparato según la reivindicación 8, caracterizado porque la pluralidad de tubos (102) de inyección comprenden una pluralidad de boquillas configuradas para suministrar gas oxidante al interior de la cámara (50), (200) de reactor de gasificación, en el que la pluralidad de boquillas están configuradas para suministrar gas oxidante en una dirección generalmente no perpendicular a una dirección de flujo del gas combustible.

30 12. Aparato según la reivindicación 8, caracterizado porque comprende además un medio (305) para mover la rejilla (303) seleccionado del grupo que consiste en un motor, un actuador y un solenoide.

13. Aparato según la reivindicación 8, caracterizado porque comprende además un medio de vibración configurado para controlar la porosidad de un material carbonoso y material carbonizado combinados mediante el colapso de puentes y canales en el mismo.

35 14. Aparato según la reivindicación 8, caracterizado porque comprende además un intercambiador de calor de tubo y carcasa configurado para controlar una temperatura de un gas cargado de alquitrán para promover la recogida de alquitrán sobre una superficie de una partícula arrastrada en una corriente de gas que fluye.

40 15. Aparato según la reivindicación 14, caracterizado porque un tubo dentro del intercambiador de calor de tubo y carcasa está configurado para resistir la expansión diferencial extrema producida por el enfriamiento de la corriente de gas que fluye, presentando el tubo atenuación de tensión de manera individual a través de una junta en una placa de tubos.

45 16. Aparato según la reivindicación 14, caracterizado porque comprende además un filtro para eliminar la partícula cargada de alquitrán de la corriente de gas que fluye.

17. Aparato según la reivindicación 8, caracterizado porque los tubos (102) de inyección y las boquillas en los tubos de inyección están separados para tener una distribución relativamente uniforme de gas oxidante en cada nivel.

50 18. Aparato según la reivindicación 8, caracterizado porque el al menos un nivel, que comprende tubos (203) de inyección cortos y tubos (204) de inyección largos alternantes, comprende además un tubo (205) de inyección extralargo para cubrir un área central del al menos un nivel, teniendo el tubo (205) de inyección extralargo tubos (203) de inyección cortos en cada lado.

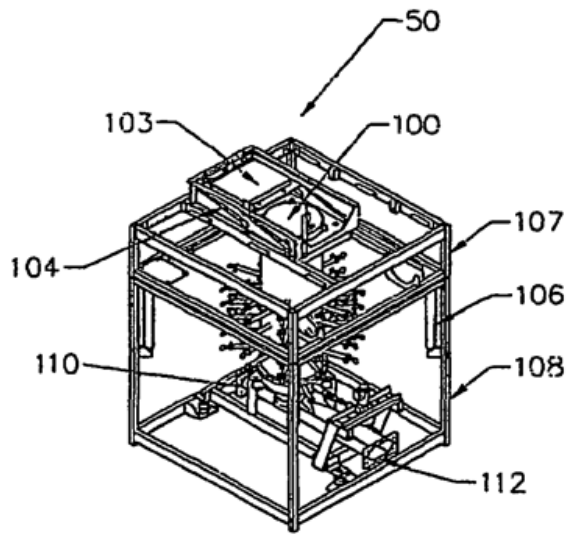


Figura 1A

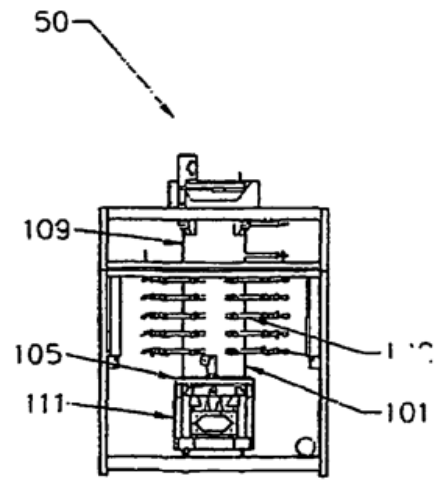


Figura 1B

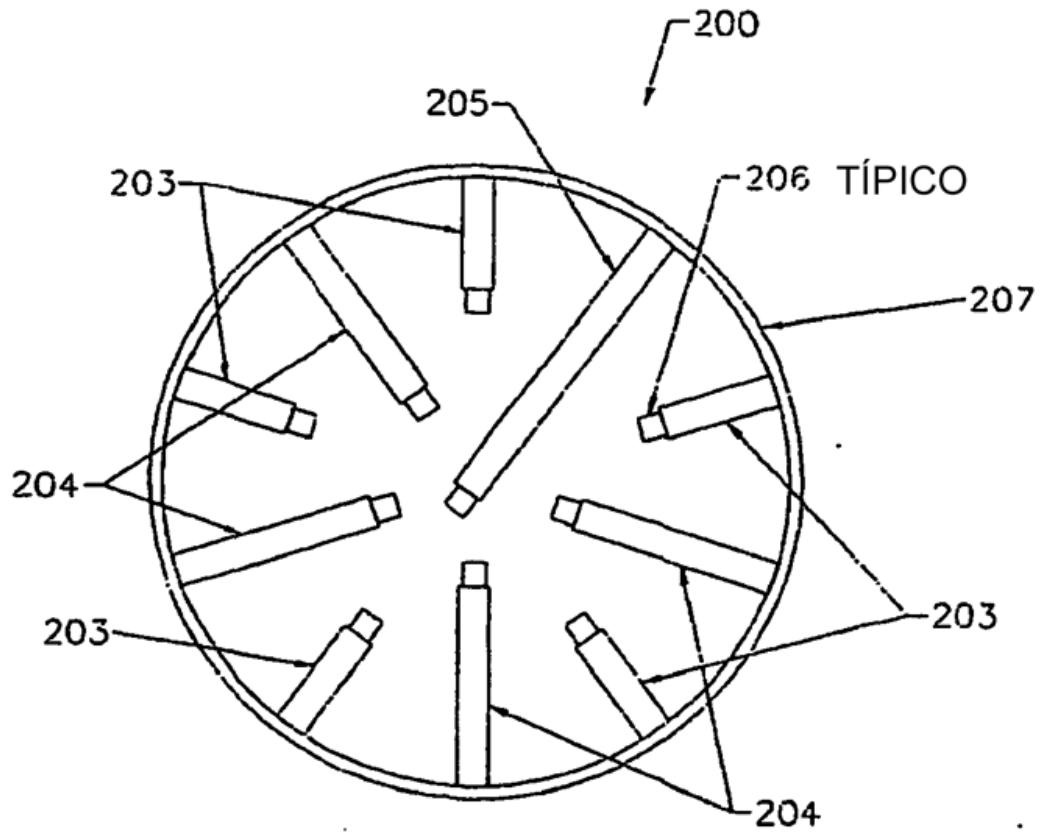


Figura 2

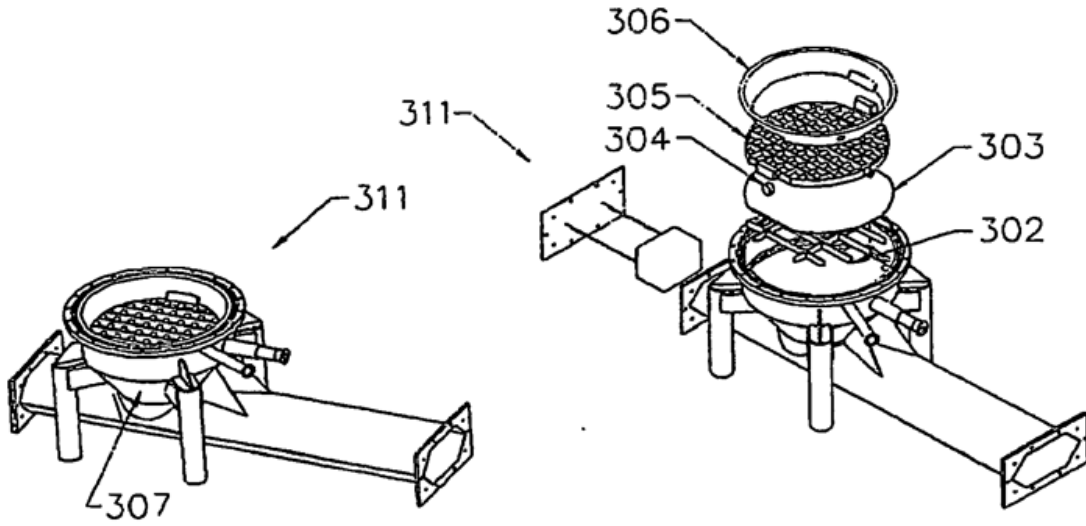


Figura 3A

Figura 3B

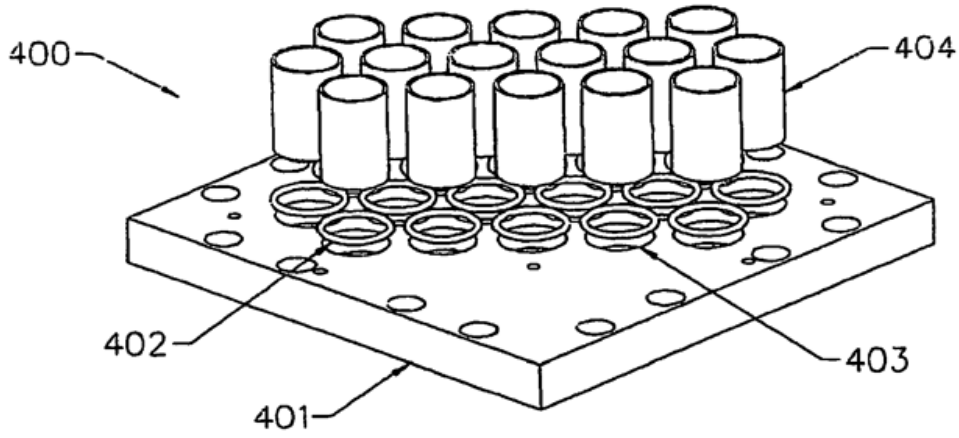
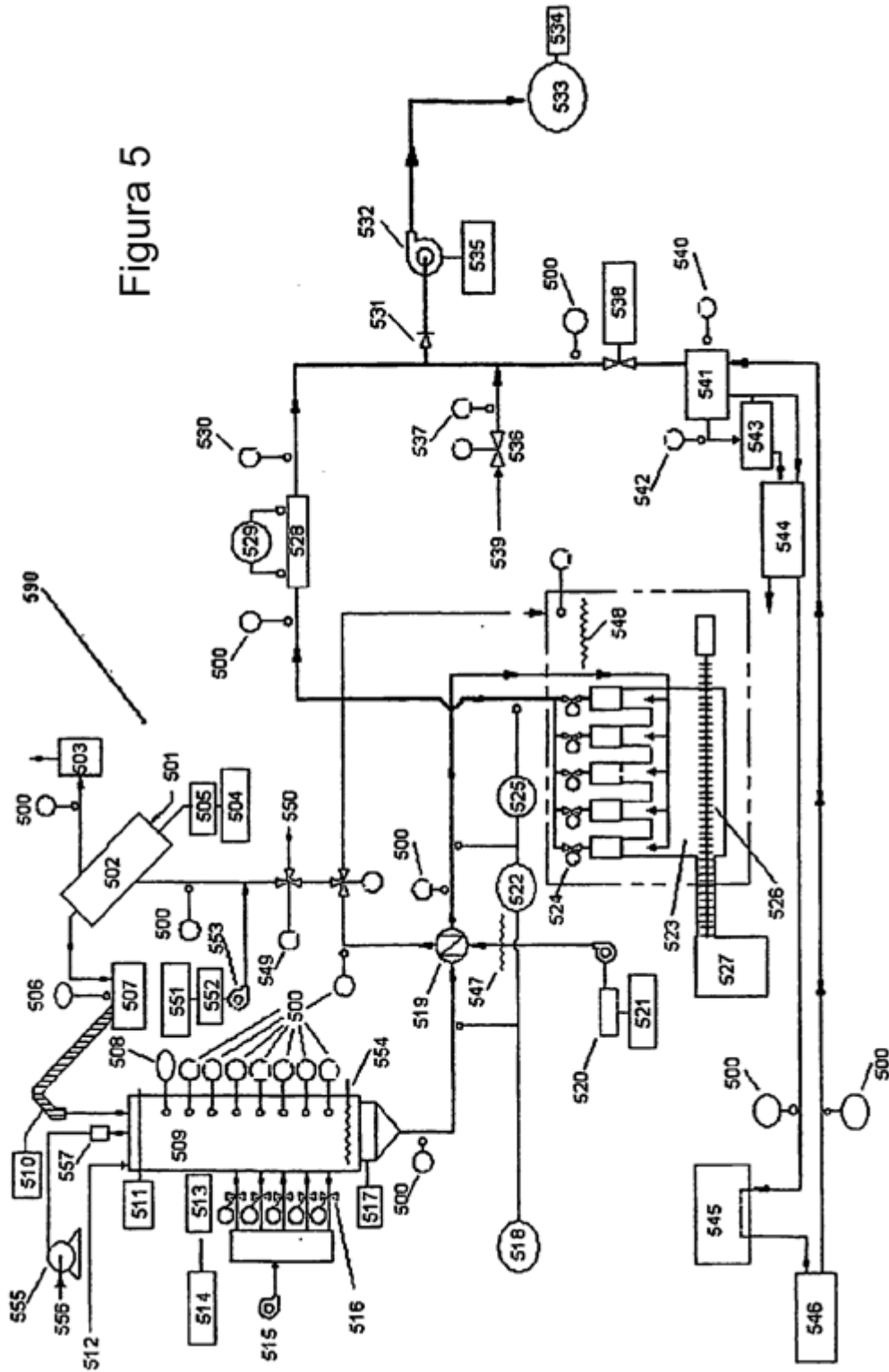


Figura 4

Figura 5



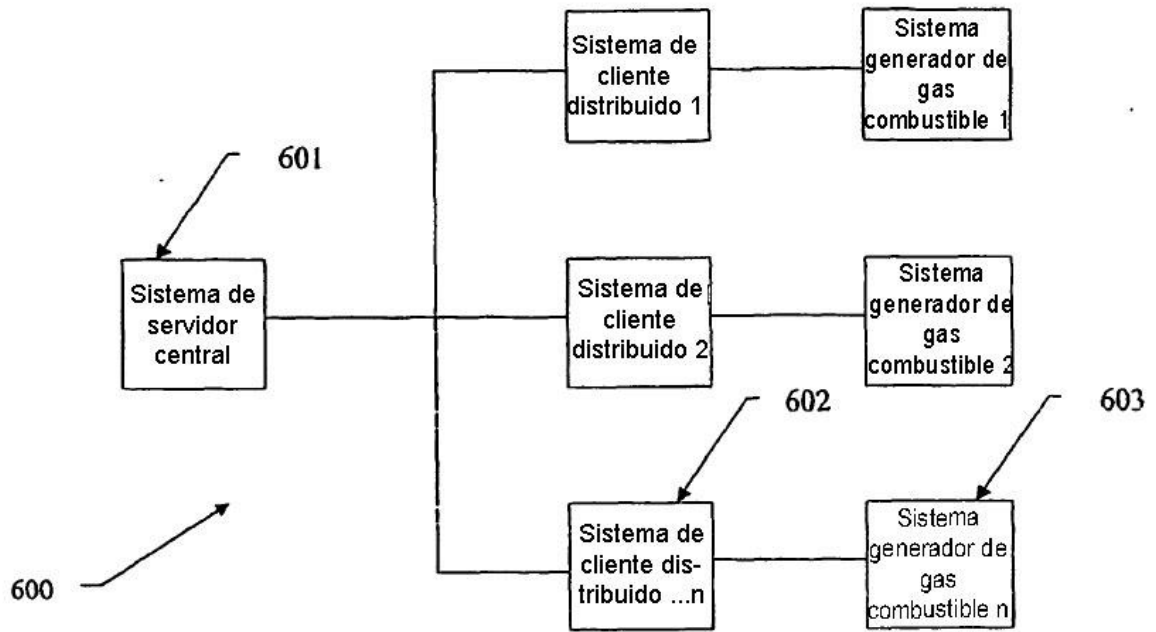


Figura 6

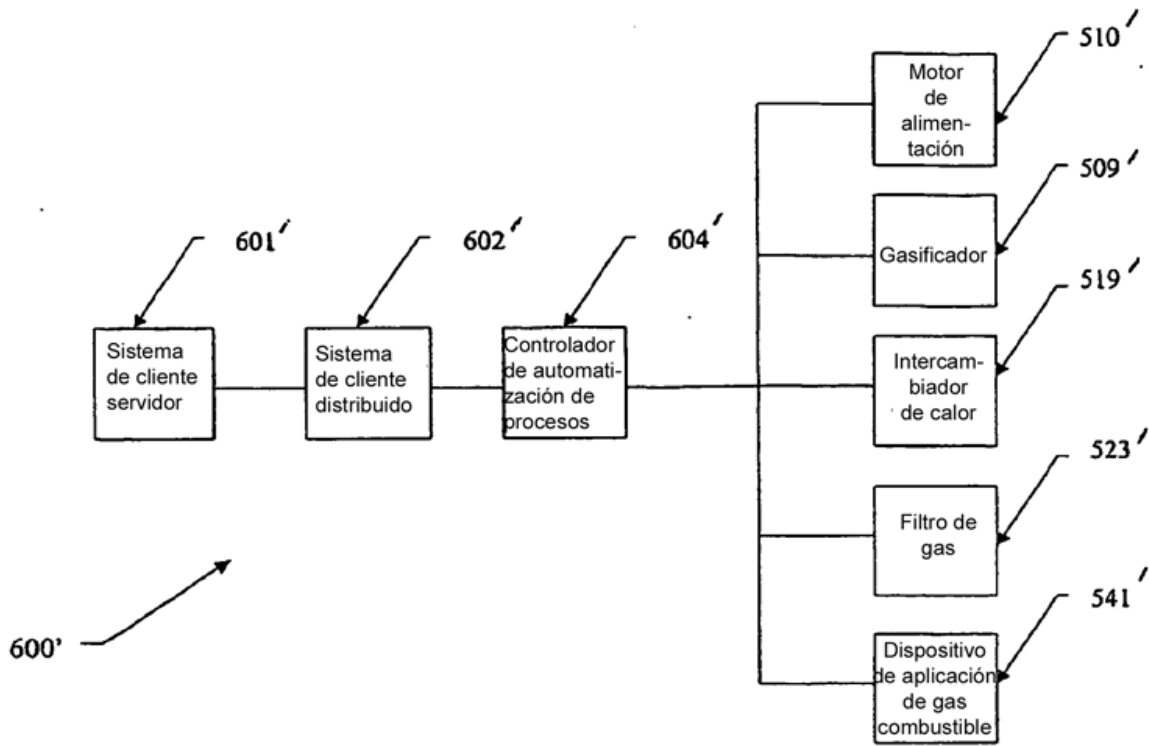


Figura 7

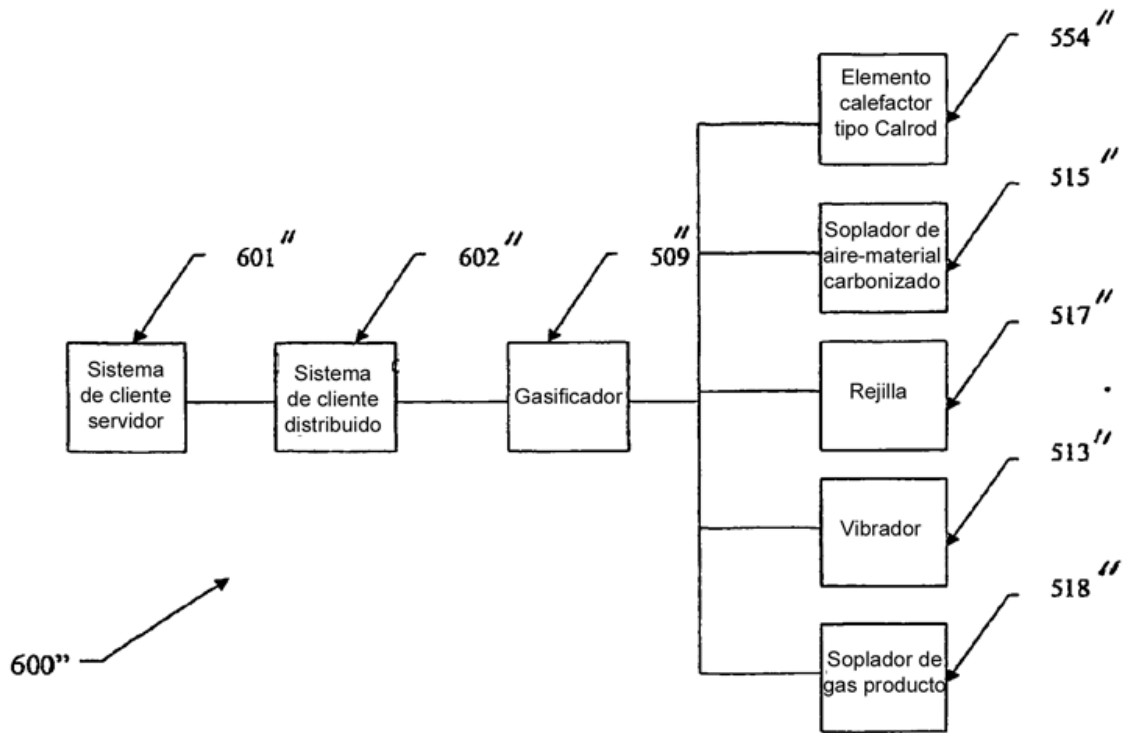


Figura 8

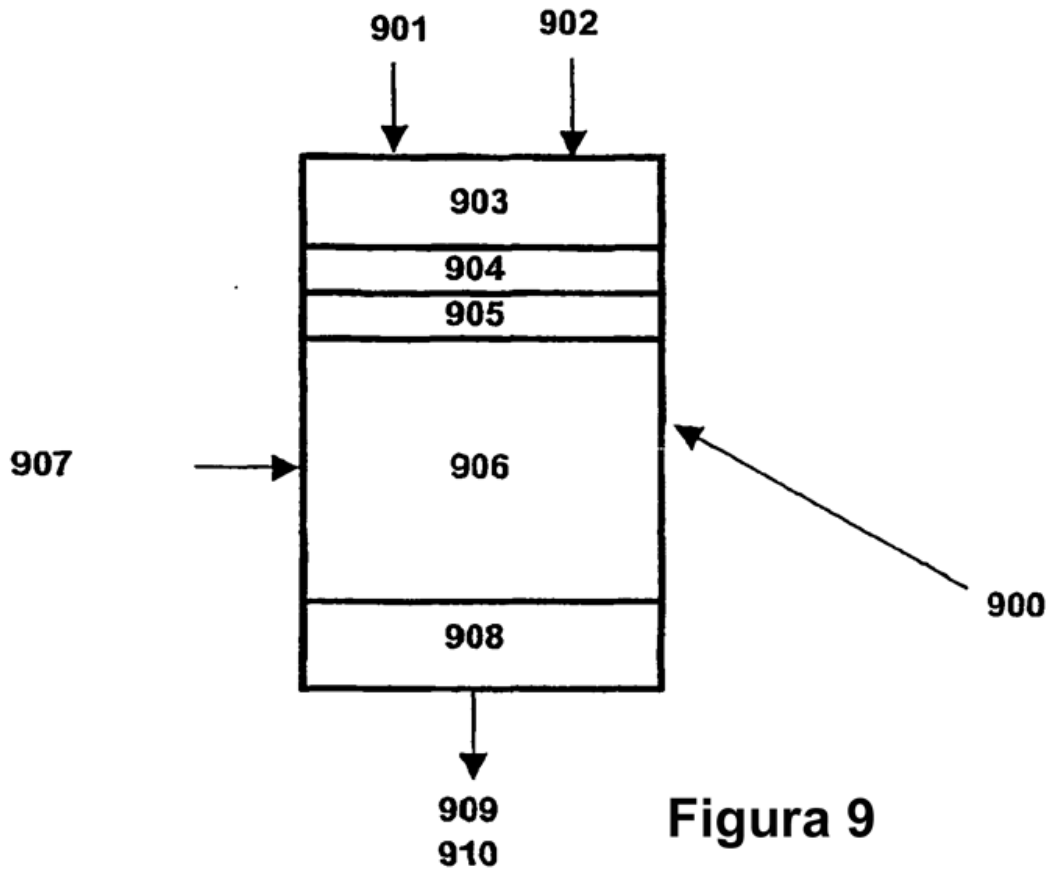


Figura 9