

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 587**

51 Int. Cl.:

**C10L 5/44** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.10.2013 PCT/US2013/066503**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.05.2014 WO14066575**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2013 E 13848257 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2017 EP 2912150**

54 Título: **Método y aparato para transformar en pastillas combinaciones de materiales de biomasa para su uso como combustible**

30 Prioridad:

**25.10.2012 US 201261718282 P**

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

**23.11.2017**

73 Titular/es:

**ASTEC, INC. (100.0%)  
4101 Jerome Avenue Post Office Box 72787  
Chattanooga, TN 37407, US**

72 Inventor/es:

**BROCK, J. DONALD y  
SWANSON, MALCOLM L.**

74 Agente/Representante:

**ZUAZO ARALUZE, Alexander**

**ES 2 643 587 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).

**MÉTODO Y APARATO PARA TRANSFORMAR EN PASTILLAS COMBINACIONES DE MATERIALES DE BIOMASA PARA SU USO COMO COMBUSTIBLE**

**DESCRIPCIÓN**

5 Método y aparato para transformar en pastillas combinaciones de materiales de biomasa para su uso como combustible

**Referencia cruzada a solicitud relacionada**

10 Esta solicitud es una continuación en parte de la solicitud de patente estadounidense n.º 13/616.184 que se presentó el 14 de septiembre de 2012. Además, esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud de patente estadounidense provisional n.º 61/718.282 que se presentó el 25 de octubre de 2012.

**15 Campo de la invención**

La presente invención se refiere en general a un conjunto de componentes que pueden emplearse para procesar materiales de biomasa para su uso como combustible. Más particularmente, la invención se refiere a un método y a un aparato para combinar biomasa torrefactada con biomasa blanca para la posterior transformación en pastillas.

**20 Antecedentes de la invención**

La naturaleza ha creado una variedad de materiales de biomasa con diversas características. Sin embargo, todos los materiales de biomasa se componen generalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. En particular, la categoría de biomasa conocida en general como "madera" se compone de aproximadamente 1/3 en peso de celulosa, aproximadamente 1/3 en peso de hemicelulosa y aproximadamente 1/3 en peso lignina. Debido al coste relativamente alto de los combustibles fósiles y a un deseo de usar recursos más renovables, hay un gran interés en el uso de la biomasa como combustible. Además, el uso de desechos de madera procedentes de actividades de construcción y demolición (materiales de C&D) en la preparación de un producto de combustible reduce la cantidad de material que se deposita en vertederos y puede comprender un uso valioso de un material inservible de otro modo.

La biomasa "verde" o sin procesar contiene poca cantidad de azufre pero tiene un contenido en humedad relativamente alto y un poder calorífico por unidad de peso relativamente bajo, en comparación con el carbón, por ejemplo. Por consiguiente, con el fin de crear una conversión eficaz de biomasa en energía, se conoce secar materiales de biomasa y/o torrefactar materiales de biomasa para la densificación posterior. El secado de materiales de biomasa reducirá generalmente el contenido en humedad desde el 30-50% en peso en el estado verde (el 15-25% para materiales de C&D) hasta aproximadamente el 5-12% en peso, y aumentará el poder calorífico por unidad de peso debido a la pérdida de peso de humedad. Sin embargo, el secado no conferirá cambios químicos significativos a los materiales de biomasa. El calentamiento adicional en condiciones controladas da como resultado la torrefacción, lo que puede describirse en general como un procedimiento de pirólisis o degradación térmica llevado a cabo con madera u otros materiales de biomasa a temperaturas normalmente menores de 315°C (aproximadamente 600°F) en una atmósfera con poca cantidad de oxígeno. Durante la torrefacción, la hemicelulosa en la biomasa se descompone en compuestos orgánicos volátiles ("COV") tales como metanol, formaldehído y acetaldehído, y al menos una parte de esos compuestos orgánicos volátiles se libera mediante evaporación. La retirada de hemicelulosa aumenta la densidad de energía o el poder calorífico por unidad de peso de la biomasa; sin embargo, la torrefacción completa sin recuperación de los compuestos orgánicos volátiles evaporados da como resultado la pérdida de la energía almacenada en los mismos.

50 El documento US2010/242351 A1 da a conocer un aparato para procesar material de biomasa verde mediante torrefacción. El aparato incluye una cámara de secado para reducir el contenido en humedad del material de biomasa; un reactor de torrefacción para procesar el material de biomasa secada; un quemador; un intercambiador de calor; y canalizaciones para transportar el fluido térmico calentado desde el intercambiador de calor hasta la cámara de secado y el reactor de torrefacción. La biomasa torrefactada se procesa a través de un enfriador antes de la densificación.

Una forma en pastillas de la madera o biomasa secada o torrefactada es altamente deseable porque permitiría una manipulación fácil y relativamente limpia y un transporte más eficaz, especialmente un transporte mediante flete marítimo, de un combustible basado en biomasa. Se conoce obtener pastillas de combustible a partir de madera secada, y se han realizado muchos intentos para formar pastillas de combustible de madera y biomasa torrefactadas. Sin embargo, los inventores han encontrado que pueden transformarse en pastillas combinaciones de material de biomasa secada y torrefactada para producir pastillas estables de alta durabilidad. Además, los inventores han ideado un procedimiento que emplea procesamiento en paralelo de la biomasa secada y torrefactada de manera que se aumente la eficiencia energética del procedimiento.

65

### Ventajas de la invención

- Entre las ventajas de la presente invención está que proporciona un método y un aparato para obtener pastillas de combustible estables a partir de combinaciones de material de biomasa secada y torrefactada. Otra ventaja de la invención es que puede emplearse para producir una pastilla de combustible a partir de tales combinaciones que tiene poderes caloríficos similares a los del carbón, así como alta triturabilidad, estabilidad estructural y resistencia a la humedad. Además, el aparato preferido usado en el procesamiento del material de biomasa secada y torrefactada usa energía producida o liberada en el procesamiento de materiales de biomasa y, por consiguiente, minimiza la necesidad de fuentes de energía añadidas.
- Otras ventajas y características de esta invención resultarán evidentes a partir del examen de los dibujos y la descripción siguiente.

### Indicaciones sobre la interpretación

- Ha de interpretarse que el uso de los términos “un(o)”, “una”, “el/la” y términos similares en el contexto de describir la invención cubre tanto el singular como el plural, a menos que se indique de otro modo en el presente documento o que el contexto lo contradiga claramente. Los términos “que comprende”, “que tiene”, “que incluye” y “que contiene” han de interpretarse como términos abiertos (es decir, que significan “que incluye, pero sin limitarse a,”) a menos que se indique de otro modo. Los términos “sustancialmente”, “generalmente” y otras palabras de grado son modificadores relativos destinados a indicar la variación admisible de la característica así modificada. No se pretende que el uso de tales términos en la descripción de una característica física o funcional de la invención limite tal característica al valor absoluto que modifica el término, sino que más bien proporciona una aproximación del valor de tal característica física o funcional. Las etapas de todos los métodos descritos en el presente documento pueden realizarse en cualquier orden adecuado a menos que se especifique de otro modo en el presente documento o lo indique claramente el contexto.

- Se pretende que el uso de todos y cada uno de los ejemplos o el vocabulario de ejemplo (por ejemplo, “tal como”) en el presente documento simplemente aclare mejor la invención y no limite el alcance de la invención, a menos que se indique de otro modo en las reivindicaciones. No debe considerarse que nada en la memoria descriptiva indica que cualquier elemento no reivindicado es esencial para la puesta en práctica de la invención.

- En el presente documento se definen específicamente varios términos. A estos términos ha de facilitárseles su interpretación más amplia posible de acuerdo con tales definiciones, tal como sigue:

- Los términos “biomasa” y “materiales de biomasa” se refieren a materia vegetal en forma sólida, incluyendo pero sin limitarse a hierbas, tallos, fibras y hojas de plantas, corteza, virutas de madera y serrín.

- Los términos “biomasa verde” y “materiales de biomasa verde” se refieren a materiales de biomasa que se han procesado para reducir su tamaño de partícula.

- El término “virutas de madera verde” se refiere a materiales obtenidos de árboles y otras plantas leñosas que se han procesado para reducir su tamaño de partícula.

- Los términos “materiales de construcción y demolición” y “materiales de C&D” se refieren a productos de madera de diversos tipos y formas que se han obtenido a partir de proyectos de construcción y/o demolición.

- El término “virutas de C&D” se refiere a material de C&D que se ha procesado para reducir su tamaño de partícula hasta aproximadamente 1,27 cm (½ pulgada) o menos.

- El término “madera verde” se refiere a virutas de madera verde y/o virutas de C&D que se han procesado para reducir su tamaño de partícula hasta aproximadamente 1,27 cm (½ pulgada) o menos.

El término “virutas de madera” incluye virutas de madera verde y virutas de C&D.

- Los términos “biomasa blanca” y “materiales de biomasa blanca” se refieren a materiales de biomasa verde que se han secado para aumentar su poder calorífico por unidad de peso.

- El término “madera blanca” se refiere a madera verde que se ha procesado para aumentar su poder calorífico por unidad de peso, pero no por encima de 20701 KJ/kg (8900 BTU/lb).

- Los términos “biomasa torrefactada” y “materiales de biomasa torrefactada” se refieren a materiales de biomasa que se han procesado para aumentar su poder calorífico por unidad de peso descomponiendo la hemicelulosa en la biomasa para dar compuestos orgánicos volátiles.

- El término “madera torrefactada” se refiere a biomasa que comprende virutas de madera que se han procesado para aumentar su poder calorífico por unidad de peso descomponiendo la hemicelulosa en la biomasa para dar

compuestos orgánicos volátiles.

El término “madera ligeramente torrefactada” y términos similares se refieren a biomasa que comprende virutas de madera que se han procesado en un procedimiento de torrefacción para aumentar su poder calorífico hasta un nivel dentro del intervalo de aproximadamente 20701 KJ/kg (8900 BTU/lb) a aproximadamente 22097 KJ/kg (9500 BTU/lb).

El término “madera completamente torrefactada” y términos similares se refieren a biomasa que comprende virutas de madera que se han procesado en un procedimiento de torrefacción para aumentar su poder calorífico hasta un nivel dentro del intervalo de aproximadamente 22097 KJ/kg (9500 BTU/lb) a aproximadamente 27912 KJ/kg (12000 BTU/lb).

### Sumario de la invención

Según la invención, se proporciona un conjunto para procesar materiales de biomasa verde procedentes de dos fuentes de alimentación independientes para su uso como pastilla de combustible, comprendiendo dicho conjunto: (A) un conjunto de secado para convertir material de biomasa verde procedente de una primera fuente en material de biomasa blanca; siendo el material de biomasa blanca material de biomasa verde que se ha secado para aumentar su poder calorífico por unidad de peso; (B) un conjunto de torrefacción para convertir material de biomasa verde procedente de una segunda fuente en material de biomasa torrefactada; (C) un conjunto de calentamiento que comprende: (1) un intercambiador de calor que tiene una pluralidad de serpentines (32) de transferencia de calor que contienen en los mismos un fluido térmico; (2) un quemador para calentar el fluido térmico en los serpentines de transferencia de calor hasta una temperatura dentro del intervalo de aproximadamente 93°C (200°F) a aproximadamente 288°C (550°F), produciendo también dicho quemador gases de chimenea; (3) medios para transportar el fluido térmico calentado desde el intercambiador de calor hasta el conjunto de secado; (4) medios para transportar el fluido térmico calentado desde el intercambiador de calor hasta el conjunto de torrefacción; y (D) una prensa de pastillas para transformar en pastillas una combinación de materiales de biomasa procesados en el conjunto de secado y materiales de biomasa procesados en el conjunto de torrefacción.

La invención comprende un método y un aparato para procesar materiales de biomasa verde para transformar en pastillas para dar una pastilla de combustible. Más particularmente, la invención comprende un par de sistemas de procesamiento en paralelo para preparar materiales de biomasa blanca y materiales de biomasa torrefactada para su combinación antes de la transformación en pastillas.

Una realización preferida del sistema de preparación de biomasa blanca incluye una cámara de secado previo, una cámara de secado de biomasa y un molino de martillos, y una realización preferida del sistema de preparación de biomasa torrefactada incluye un reactor de torrefacción, un enfriador por aspersion y un molino de martillos. Se suministra calor a ambos sistemas mediante un conjunto de calentamiento que incluye un quemador, un intercambiador de calor que tiene una pluralidad de serpentines de transferencia de calor en el mismo y una cámara de combustión que está conectada operativamente entre el quemador y el intercambiador de calor. El conjunto de calentamiento está configurado y dispuesto de modo que el quemador puede hacerse funcionar para calentar un fluido térmico en los serpentines de transferencia de calor hasta una temperatura de hasta aproximadamente 288°C (550°F).

El sistema de preparación de biomasa torrefactada funcionará de tal manera que los compuestos orgánicos volátiles se separan de los gases de descarga del reactor de torrefacción. Puede hacerse funcionar un mecanismo de control de combustible que forma parte del conjunto de calentamiento para controlar el suministro de combustible externo al quemador a una primera velocidad cuando el conjunto se pone en funcionamiento por primera vez. Entonces, puesto que los compuestos orgánicos volátiles se separan de los materiales de biomasa en el reactor de torrefacción y se transportan hasta la cámara de combustión, puede reducirse la velocidad de suministro de combustible externo al quemador hasta una segunda velocidad que es menor que la primera velocidad. Se contempla que, dependiendo del tipo de materiales de biomasa introducidos en el sistema de preparación de biomasa blanca y el sistema de torrefacción, y la temperatura de funcionamiento y la velocidad de rotación de la cámara de secado de biomasa y el reactor de torrefacción, puede desconectarse el suministro de combustible externo al quemador y continuarse con el calor suministrado a la cámara de combustión mediante la incineración de compuestos orgánicos volátiles en el mismo.

Con el fin de facilitar una comprensión de la invención, en los dibujos se ilustra la realización preferida de la invención y el mejor modo conocido por los inventores para llevar a cabo la invención, y le sigue una descripción detallada de la misma, así como una descripción de alternativas contempladas actualmente.

### Breve descripción de los dibujos

La realización preferida actualmente de la invención se ilustra en los dibujos adjuntos, en los que los números de referencia similares representan partes similares en todos ellos, y en los que:

La figura 1 ilustra el esquema general para una realización preferida de una planta para producir pastillas a partir de combinaciones de madera blanca y madera torrefactada según la invención.

5 La figura 2 es una vista en sección parcial de una primera realización del conjunto de calentamiento de la planta ilustrada en la figura 1.

La figura 3 es una vista en perspectiva de la cámara de secado de biomasa preferida de la planta ilustrada en la figura 1.

10 La figura 4 es una vista lateral de la cámara de secado de biomasa preferida de la figura 3.

La figura 5 es una vista en perspectiva de la cámara de secado de biomasa de las figuras 3 y 4, con una parte de la carcasa exterior del tambor de secado retirada para mostrar los tubos de fluido térmico en el mismo.

15 La figura 6 es una vista en sección parcial de la cámara de secado de biomasa de las figuras 3-5.

La figura 7 es una vista desde un extremo de una parte de la cámara de secado de biomasa de las figuras 3-6, que muestra la disposición de tubos térmicos y deflectores internos en el mismo.

20 La figura 8 es una vista desde arriba, parcialmente en representación esquemática, de una parte de la realización preferida de la planta ilustrada en la figura 1, que muestra el sistema de recirculación mediante el cual se recircula una parte de los gases calientes con poca cantidad de oxígeno procedente del intercambiador de calor al tambor de cámara de secado de la cámara de secado de biomasa con el fin de reducir la humedad dentro del tambor de cámara de secado.

25 La figura 9 es una vista lateral, parcialmente en representación esquemática, que muestra una cámara de secado previo que puede emplearse en la planta mostrada en la figura 1.

30 La figura 10 es una vista en perspectiva del reactor de torrefacción y el enfriador por aspersion preferidos de la planta ilustrada en la figura 1.

La figura 11 es una vista en perspectiva del reactor de torrefacción y el enfriador por aspersion preferidos y una parte del conjunto de calentamiento preferido de la planta ilustrada en la figura 1.

35 La figura 12 es una vista en perspectiva del enfriador por aspersion preferido de la planta ilustrada en la figura 1.

La figura 13 es una vista en perspectiva alternativa del enfriador por aspersion preferido de la figura 12.

40 La figura 14 es una vista en sección parcial del enfriador por aspersion preferido de las figuras 12 y 13.

La figura 15 es una vista detallada de una boquilla del conjunto de enfriamiento preferido de la planta ilustrada en la figura 1.

#### 45 Descripción de las realizaciones preferidas de la invención

Los dibujos ilustran realizaciones preferidas de una planta para producir pastillas de combustible a partir de combinaciones de materiales de biomasa blanca y torrefactada. Se muestran en los mismos corrientes de procesamiento en paralelo, una para la preparación de material de biomasa blanca que se suministra a partir de una primera corriente de alimentación y la otra para la preparación de material de biomasa torrefactada que se suministra a partir de una segunda corriente de alimentación. En una realización de la invención, el material de alimentación para el sistema de preparación de biomasa blanca tiene un contenido en humedad mayor que el del sistema de preparación de biomasa torrefactada. Por ejemplo, la realización de la invención ilustrada en los dibujos puede hacerse funcionar para preparar madera blanca a partir de una primera fuente S1 de virutas de madera verde que tienen un contenido en humedad de aproximadamente el 30-50% en peso, mientras que se prepara simultáneamente madera torrefactada a partir de una segunda fuente S2 de virutas de C&D que tienen un contenido en humedad de aproximadamente el 15-25% en peso. Posteriormente, la madera blanca y la madera torrefactada pueden combinarse entre sí para su uso en la producción de pastillas de combustible.

60 Por tanto, tal como se muestra en los dibujos, el sistema de preparación de biomasa blanca preferido incluye la cámara 15 de secado previo, la cámara 16 de secado de biomasa y el primer molino 17 de martillos, y el sistema de preparación de biomasa torrefactada preferido incluye el reactor 18 de torrefacción, el enfriador 19 por aspersion y el segundo molino 20 de martillos. Se suministra calor a ambos sistemas mediante el conjunto 21 de calentamiento que incluye el quemador 22, el intercambiador 26 de calor (identificado como calentador de aceite térmico en la figura 1) que tiene una pluralidad de serpentines 32 de transferencia de calor en el mismo, y la cámara 24 de combustión que está conectada operativamente entre el quemador y el intercambiador de calor. El conjunto de calentamiento está configurado y dispuesto de modo que el quemador puede hacerse funcionar para calentar un

fluido térmico en los serpentines de transferencia de calor hasta una temperatura de hasta aproximadamente 288°C (550°F).

El quemador 22 es de tipo convencional que tiene la entrada 28 de aire y está adaptado para quemar combustible tal como gas natural, propano, carbón pulverizado, fueloil o similares. Tal como se muestra de la mejor manera en la figura 2, el quemador 22 produce la llama 30 en la cámara 24 de combustión, calentando el aire que pasa al interior del intercambiador 26 de calor. El intercambiador 26 de calor incluye una pluralidad de serpentines 32 de transferencia de calor en el mismo, serpentines que están adaptados para recibir un fluido térmico tal como aceite térmico. La cámara 24 de combustión está conectada operativamente entre el quemador y el intercambiador de calor de modo que el aire calentado en la cámara de combustión por el quemador puede transportarse al interior del intercambiador de calor, donde calentará el fluido térmico en los serpentines 32 de transferencia de calor. El intercambiador 26 de calor está equipado con un ventilador de recirculación (no mostrado) que está montado en la carcasa 34 y funciona para extraer aire calentado del intercambiador 26 de calor a través del conducto 36 de recirculación y al interior de la cámara 24 de combustión para el calentamiento adicional. El intercambiador 26 de calor incluye también la chimenea 38 de salida. Preferiblemente, el conjunto de calentamiento se hará funcionar para generar hasta 21100 MJ (20 millones de BTU) por hora para calentar el fluido térmico dentro de los serpentines 32 de transferencia de calor hasta una temperatura de hasta aproximadamente 288°C (550°F).

El fluido térmico dentro de los serpentines 32 de transferencia de calor se transporta hasta la cámara 16 de secado de biomasa y al reactor 18 de torrefacción en un circuito de fluido que se describirá a continuación en el presente documento. El conjunto de calentamiento incluye controles tal como conocen los expertos habituales en la técnica para controlar la velocidad de flujo del fluido térmico hasta la cámara de secado de biomasa y la velocidad de flujo del fluido térmico hasta el reactor de torrefacción. En la realización preferida de la invención, estos controles se hacen funcionar, y se controlan la rotación y la alimentación del material al interior de la cámara de secado de biomasa y el reactor de torrefacción, para garantizar que el fluido térmico en la cámara de secado de biomasa calentará el material de biomasa verde en el mismo (o el material de biomasa secado previamente, tal como se describe a continuación en el presente documento) hasta una temperatura dentro del intervalo de 200°F a 240°F, mientras que el fluido térmico en el reactor de torrefacción calentará el material de biomasa verde en el mismo hasta una temperatura dentro del intervalo de 475°F a 550°F. El conjunto de calentamiento preferido es el calentador Convectec™ que se fabrica y se vende por Heatec, Inc. de Chattanooga, Tennessee.

La cámara 16 de secado de biomasa incluye el bastidor 42 de cámara de secado (mostrado en las figuras 3-5) que tiene el extremo 44 superior y el extremo 46 inferior. El tambor 48 de cámara de secado generalmente cilíndrico está montado en el bastidor 42 de cámara de secado para su rotación alrededor del eje 50 (mostrado de la mejor manera en la figura 4). El tambor 48 de cámara de secado incluye un par de anillos 52 exteriores que están acoplados a soportes 54 giratorios en el bastidor 42 de cámara de secado. Un motor (no mostrado) está adaptado para accionar de manera rotatoria una rueda dentada (no mostrada, pero ubicada en la carcasa 58) que está en acoplamiento de accionamiento con la cadena 60 de transmisión que está acoplada a la rueda 62 dentada montada en la superficie exterior del tambor para hacer rotar el tambor 48 de cámara de secado de manera convencional. También pueden emplearse sistemas de accionamiento alternativos tal como conocen los expertos habituales en la técnica a la que se refiere la invención para hacer rotar el tambor 48 de cámara de secado con respecto al bastidor 42 de cámara de secado.

Dado que el tambor 48 de cámara de secado está montado en el bastidor 42 que tiene el extremo 44 superior y el extremo 46 inferior, el eje 50 del tambor está orientado hacia abajo desde el extremo 64 superior del tambor 48 de cámara de secado hasta el extremo 66 inferior del tambor (mostrado de la mejor manera en la figura 5). El extremo 64 superior del tambor 48 de cámara de secado está dotado de la entrada 68 para madera verde y el extremo 66 inferior está dotado de una salida de descarga en forma de canal 70 (mostrado de la mejor manera en las figuras 5 y 6). El tambor 48 de cámara de secado también está dotado de una pluralidad de tubos 72 de fluido térmico que se extienden a lo largo del interior del tambor y están adaptados para hacer circular el fluido térmico que se ha calentado por el conjunto de calentamiento. Por tanto, el fluido calentado pasa hacia fuera de la salida 73 de fluido térmico del intercambiador 26 de calor del conjunto 21 de calentamiento hasta y a través de los tubos 72 de fluido térmico del tambor 48 de cámara de secado y de vuelta al intercambiador de calor a través de la entrada 74 de fluido térmico (véase la figura 2). Puesto que el eje 50 del tambor 48 de cámara de secado está inclinado con respecto al suelo sobre el que está colocado el bastidor 42, la rotación del tambor de cámara de secado hará que la madera verde se introduzca en la entrada 68 en el extremo 64 superior para hacerla girar y moverla hacia abajo hasta la salida 70 de descarga en el extremo 66 inferior. Al hacerlo así, la madera verde entrará en contacto con los tubos 72 de fluido térmico múltiples veces. Dado que puede haber expansión del fluido térmico a medida que se calienta, están previstos un tanque 75 de expansión (véanse las figuras 1 y 3) y una bomba asociada para retirar el fluido térmico caliente del tanque de expansión y devolverlo al circuito de fluido térmico según sea necesario.

Tal como se muestra en las figuras 6 y 7, los tubos de fluido térmico del tambor 48 de cámara de secado están montados a través de y están soportados por una pluralidad de placas 150 de soporte de tubo que están separadas a lo largo de la longitud del tambor de cámara de secado. Estas placas de soporte incluyen una pluralidad de orificios 152 de soporte de tubo que soportan los tubos de fluido térmico cerca de la periferia del tambor de cámara de secado. Las placas 150 de soporte también soportan una pluralidad de deflectores o palas 156 en la parte central

del tambor de cámara de secado. Estas palas 156 capturan el material de biomasa que se ha esparcido fuera del haz de tubos y lo introducen en la parte central del tambor, y dirigen tal material de nuevo en contacto con los tubos de fluido térmico. Los tubos de fluido térmico están en comunicación de fluido con un colector 158 de fluido térmico que está soportado en orificios 160 de soporte de colector en las placas 150 de soporte, de modo que puede hacerse circular fluido térmico a través de los diversos tubos de fluido del conjunto de secado.

En la conversión del material de biomasa verde (o secado previamente) en material de biomasa blanca en la cámara de secado de biomasa, se prefiere que el fluido térmico calentado se bombee al interior de y a través de los tubos 72 de fluido térmico a la vez que se hace rotar el tambor de cámara de secado a una velocidad suficiente para transportar la madera verde introducida en la entrada del mismo hasta la salida de descarga del tambor de cámara de secado a medida que se calienta hasta una temperatura de al menos aproximadamente 93°C (200°F). Preferiblemente, el tambor de cámara de secado es de tamaño y capacidad suficientes, y está adaptado para hacerse rotar a una velocidad que proporcionará 40-50 minutos de tiempo de residencia para el material de biomasa en el mismo.

En una realización preferida de la invención, el conjunto de calentamiento incluye un sistema de recirculación para recircular gases calientes con poca cantidad de oxígeno desde la chimenea 38 de salida del intercambiador de calor hasta el tambor de cámara de secado con el fin de reducir la humedad dentro del tambor de cámara de secado. Tal como se muestra en la figura 8, este sistema de recirculación incluye la canalización 77 de salida desde el intercambiador de calor, el ventilador 78 de recirculación y la canalización 79 de entrada hasta el tambor 48 de cámara de secado. A medida que se lleva a cabo el procedimiento de secado en la cámara 16 de secado de biomasa, se producirá vapor de agua a medida que se reduce el contenido en humedad de la madera verde. Este vapor de agua desplazará el aire en el tambor de secado hasta que el contenido de oxígeno en la atmósfera del tambor se reduzca hasta por debajo de aproximadamente el 9%, y más preferiblemente por debajo de aproximadamente el 6%. El conducto 80 de vapor de agua está previsto para transportar vapor de agua desde el extremo 64 superior del tambor 48 de cámara de secado hasta la cámara 24 de combustión del conjunto 21 de calentamiento.

En la realización preferida de la invención ilustrada en los dibujos, la cámara 15 de secado previo está prevista para utilizar calor de los gases de chimenea que pasan a través de la chimenea 38 de salida del intercambiador 26 de calor para precalentar el material de biomasa verde antes de su introducción en la cámara 16 de secado de biomasa. Una vez que la planta se pone en funcionamiento, pueden introducirse los materiales de biomasa verde en la cámara de secado previo. Tal como se muestra en la figura 9, la cámara 15 de secado previo comprende un tambor 162 de cámara de secado previo rotatorio inclinado. El tambor de cámara de secado previo está montado en el bastidor 164 e incluye el extremo 166 superior y el extremo 168 inferior. Un sistema de rotación para hacer rotar el tambor de cámara de secado previo alrededor de su eje 170 longitudinal incluye un par de anillos 172 exteriores que están acoplados a soportes 174 giratorios en el bastidor 164. El motor 176 está adaptado para accionar de manera rotatoria una rueda dentada (no mostrada, pero similar a la del tambor 48 de cámara de secado) que está en acoplamiento de accionamiento con una cadena de transmisión (no mostrada tampoco) que está acoplada a la rueda 178 dentada montada en la superficie exterior del tambor para hacer rotar el tambor 162 de cámara de secado previo de manera convencional. La tolva 180 está ubicada en el extremo 166 superior del tambor 162 de cámara de secado previo y está en comunicación con el canal 182 de entrada. La tolva está adaptada para recibir materiales de biomasa verde desde el transportador 183 (mostrado en la figura 1). Este material de biomasa verde se somete a secado previo en la cámara de secado previo para retirar una parte de la humedad contenida en el mismo y para elevar la temperatura del material de biomasa.

Un transportador 184 de tornillo o tornillo sin fin está ubicado preferiblemente en el canal 182 de entrada para transportar el material de biomasa verde desde la tolva al interior del tambor 162 de cámara de secado previo. La canalización 186 de entrada para gases de salida desde el intercambiador 26 de calor también está ubicada en el extremo 166 superior del tambor 162 de cámara de secado previo. Durante el funcionamiento de esta realización de la invención, los gases de chimenea calientes procedentes del intercambiador de calor se dirigen desde la chimenea 38 de salida a través de la tubería 163 (mostrada en línea discontinua en la figura 6) y la canalización 186 de entrada al interior del tambor de cámara de secado previo para que fluyan a su través en paralelo al flujo de biomasa. La biomasa secada previamente se descarga desde el extremo 168 inferior del tambor de cámara de secado previo a través del canal 188 de salida sobre el transportador 190 que transporta la biomasa secada previamente hasta el tambor 48 de cámara de secado de la cámara 16 de secado de biomasa. En esta realización de la invención, la biomasa secada previamente procedente del canal de salida del tambor de cámara de secado previo se transporta hasta la entrada 68 del tambor 48 de cámara de secado.

El tambor de cámara de secado puede hacerse rotar a una velocidad suficiente para transportar la biomasa secada previamente introducida en la entrada del tambor de cámara de secado hasta la salida de descarga del tambor de cámara de secado a medida que se calienta hasta una temperatura suficiente para convertir la biomasa secada previamente en madera blanca que tiene un poder calorífico de hasta aproximadamente 20701 KJ/kg (8900 BTU/lb). En un caso alternativo, el sistema de preparación de madera blanca puede hacerse funcionar para calentar materiales de biomasa en la cámara de secado de biomasa hasta una temperatura dentro del intervalo de aproximadamente 182°C (350°F) a aproximadamente 232°C (450°F) para producir biomasa ligeramente torrefactada

que tiene un poder calorífico dentro del intervalo de aproximadamente 20701 KJ/kg (8900 BTU/lb) a aproximadamente 22097 KJ/kg (9500 BTU/lb). Este procedimiento de torrefacción ligera da como resultado la generación de una cantidad pequeña de compuestos orgánicos volátiles (COV) en el tambor de cámara de secado; sin embargo, la cámara de secado previo captura el calor en exceso de los gases de chimenea calientes producidos en el intercambiador 26 de calor y transfiere una parte de este calor en exceso al material de biomasa verde en el procedimiento de secado previo, aumentando de ese modo la eficiencia térmica del sistema de madera blanca.

Tal como se mencionó anteriormente, el sistema de madera torrefactada preferido incluye el reactor 18 de torrefacción, el enfriador 19 por aspersión y el segundo molino 20 de martillos. También puede estar prevista una segunda cámara de secado previo (no mostrada) aguas arriba del reactor de torrefacción. El reactor 18 de torrefacción es esencialmente igual que la cámara 16 de secado de biomasa, aunque el sistema de madera torrefactada se hace funcionar para calentar el material de biomasa verde en el reactor de torrefacción hasta una temperatura de al menos aproximadamente 246°C (475°F) para convertirlo en biomasa torrefactada. El reactor 18 de torrefacción incluye el bastidor 130 de reactor (mostrado en las figuras 10 y 11) que tiene el extremo 131 superior y el extremo 132 inferior. El tambor 133 de reactor generalmente cilíndrico está montado en el bastidor 130 de reactor para su rotación alrededor del eje 134 (mostrado de la mejor manera en la figura 10). El tambor 133 de reactor incluye un par de anillos 135 exteriores que se están acoplados a soportes 136 giratorios en el bastidor 130 de reactor. Un motor 138 está adaptado para accionar de manera rotatoria una rueda dentada (no mostrada, pero ubicada en la carcasa 140) que está en acoplamiento de accionamiento con la cadena 142 de transmisión que está acoplada a la rueda 144 dentada montada en la superficie exterior del tambor para hacer rotar el tambor 133 de manera convencional. También pueden emplearse sistemas de accionamiento alternativos tal como conocen los expertos habituales en la técnica a la que se refiere la invención para hacer rotar el tambor 133 con respecto al bastidor 130 de reactor.

Dado que el tambor 133 de reactor está montado en el bastidor 130 que tiene el extremo 131 superior y el extremo 132 inferior, el eje 134 del tambor está orientado hacia abajo desde el extremo 131 superior hasta el extremo 132 inferior. El extremo 131 superior del tambor 133 de reactor está dotado de la entrada 145 para madera verde, y el extremo 132 inferior está dotado de una salida de descarga en forma de canal 146 (similar al canal 70 del tambor 48). La entrada 145 está adaptada para recibir material de biomasa verde desde el transportador 147 (mostrado en la figura 1). El tambor 133 de reactor también está dotado de una pluralidad de tubos de fluido térmico (no mostrados, pero similares a los tubos 72 del tambor 48) que se extienden a lo largo del interior del tambor de reactor y están adaptados para hacer circular el fluido térmico que se ha calentado por el conjunto de calentamiento desde la salida 73 de fluido térmico del intercambiador 26 de calor del conjunto 21 de calentamiento hasta y a través del tambor de reactor y de vuelta al intercambiador de calor a través de la entrada 74 de fluido térmico (véase la figura 2). Puesto que el eje 134 del tambor 133 de reactor está inclinado con respecto al suelo sobre el que está colocado el bastidor 130, la rotación del tambor de reactor hará que la madera verde se introduzca en la entrada 145 en el extremo 131 superior para hacerla girar y moverla hacia abajo hasta la salida 146 de descarga en el extremo 132 inferior. A medida que se hace esto, la madera verde entrará en contacto con los tubos de fluido térmico en el tambor múltiples veces. Dado que puede haber expansión del fluido térmico a medida que se calienta, están previstos un tanque 75 de expansión (véanse las figuras 1 y 3) y una bomba asociada para retirar el fluido térmico caliente del tanque de expansión y devolverlo al circuito de fluido térmico según sea necesario.

Dado que se usa el mismo conjunto de calentamiento para proporcionar fluido térmico calentado tanto al tambor 48 de cámara de secado como al tambor 133 de reactor, puede emplearse un sistema de bombas y válvulas (no mostrado) tal como conocen los expertos habituales en la técnica a la que se refiere la invención para controlar las velocidades de suministro de fluido térmico al tambor 48 de cámara de secado y al tambor 133 de reactor. Un sistema de este tipo, junto con el control de la velocidad de alimentación de los materiales al interior de cada tambor y la velocidad de rotación del mismo, permite que el tambor de cámara de secado caliente materiales en el mismo hasta una temperatura inferior a la que se calientan los materiales en el tambor de reactor.

A medida que se lleva a cabo el procedimiento de torrefacción, se producirá vapor de agua a medida que se reduce el contenido en humedad del material de biomasa verde. Este vapor de agua desplazará al aire en el tambor de reactor hasta que el contenido de oxígeno en la atmósfera del tambor se reduzca hasta por debajo de aproximadamente el 9%, y más preferiblemente por debajo de aproximadamente el 6%. En el procedimiento de torrefacción, este vapor de agua estará contaminado con compuestos orgánicos volátiles. Por consiguiente, el conducto 148 de vapor de agua está previsto para transportar vapor de agua desde el extremo 131 superior del tambor 133 de reactor hasta la cámara 24 de combustión del conjunto 21 de calentamiento. Cualquier compuesto orgánico volátil en el vapor de agua que se transporta al interior de la cámara de combustión se incinerará en la cámara de combustión, añadiéndose de ese modo a la energía disponible para el calentamiento. Además, el procedimiento de torrefacción separará los compuestos orgánicos volátiles de los gases de descarga del secado en el tambor 133 de reactor. Dado que estos compuestos orgánicos volátiles son más pesados que el vapor de agua, se moverán hasta el extremo 132 inferior de tambor 133 de reactor, donde está montado el conducto 82 de COV para transportar estos compuestos orgánicos volátiles hasta la cámara 24 de combustión. Al igual que los compuestos orgánicos volátiles en el vapor de agua que se transportan hasta la cámara de combustión por el conducto 148 de vapor de agua, los compuestos orgánicos volátiles en el conducto 82 de COV se incinerarán en la cámara de combustión, y no pasarán a través de la chimenea 38 de salida del intercambiador 26 de calor.



En una realización de la invención, puede hacerse funcionar un mecanismo de control de combustible que forma parte del conjunto de calentamiento, desde el centro 84 de control para controlar el suministro de combustible externo al quemador 22 a una primera velocidad cuando se pone en funcionamiento el conjunto por primera vez. Entonces, a medida que los compuestos orgánicos volátiles se separan de la biomasa en el tambor 133 de reactor y se transportan hasta la cámara 24 de combustión, puede reducirse la velocidad de suministro de combustible externo al quemador hasta una segunda velocidad que es menor que la primera velocidad. Se contempla que, dependiendo del tipo de materiales de biomasa introducidos en el tambor de reactor y la temperatura de funcionamiento y la velocidad de rotación del tambor de reactor, puede desconectarse el suministro de combustible externo al quemador y continuarse con el calor suministrado a la cámara de combustión mediante la incineración de compuestos orgánicos volátiles en el mismo.

En la realización de la invención ilustrada en los dibujos, el sistema de preparación de madera torrefactada también incluye el enfriador 19 por aspersión que preferiblemente está ubicado inmediatamente aguas abajo del reactor 18 de torrefacción, tal como se muestra en las figuras 1, 10 y 11. El enfriador 19 por aspersión incluye el bastidor 88 de enfriador y el tambor 90 de enfriamiento generalmente cilíndrico. El tambor de enfriamiento está montado en el bastidor de enfriador para su rotación alrededor del eje 92 (mostrado en la figura 13). El tambor 90 de enfriamiento preferido incluye un par de anillos 94 de rodamiento que están acoplados a soportes 96 giratorios en el bastidor 88 de enfriador. El motor 98 (mostrado en las figuras 12 y 13) está adaptado para accionar de manera rotatoria la rueda 100 dentada que está en acoplamiento de accionamiento con la cadena 102 de transmisión que está acoplada a la rueda 104 dentada montada en la superficie exterior del tambor para hacer rotar el tambor 90 de enfriamiento. También pueden emplearse sistemas de accionamiento alternativos tal como conocen los expertos habituales en la técnica a la que se refiere la invención para hacer rotar el tambor 90 de enfriamiento con respecto al bastidor 88 de enfriador.

El tambor 90 de enfriamiento tiene el extremo 106 de entrada con una abertura de entrada (mostrada de la mejor manera en la figura 12) para la introducción de madera torrefactada descargada desde el tambor 133 de reactor a través del canal 146. El tambor de enfriamiento también tiene el extremo 108 de salida con una salida 110 de descarga. Preferiblemente, una pluralidad de tubos 112 de enfriamiento se extienden a lo largo del interior del tambor de enfriamiento desde el extremo de salida hasta el extremo de entrada, tal como se muestra en la figura 14. En la realización del conjunto de enfriamiento mostrado en los dibujos, están previstos seis tubos 112 de enfriamiento, aunque podría emplearse cualquier número conveniente de tubos de enfriamiento. Preferiblemente, tal como se muestra en la figura 14, cada tubo 112 de enfriamiento tiene una longitud que es diferente de la de cada uno de los otros tubos de enfriamiento. Por tanto, el tubo 112a de enfriamiento es más largo que el resto de los otros tubos de enfriamiento, el tubo 112b de enfriamiento es más largo que los tubos 112c, 112d, 112e y 112f de enfriamiento, el tubo 112d de enfriamiento es más largo que los tubos 112e y 112f de enfriamiento, y el tubo 112e de enfriamiento es más largo que el tubo 112f de enfriamiento. Preferiblemente, el extremo del tubo 112a de enfriamiento está ubicado aproximadamente a un 10% de la longitud del tambor de enfriamiento desde el extremo de entrada, y el extremo del tubo 112b de enfriamiento está ubicado aproximadamente a un 10% de la longitud del tambor de enfriamiento desde el extremo del tubo 112a de enfriamiento. De manera similar, el extremo del tubo 112c de enfriamiento está ubicado aproximadamente a un 10% de la longitud del tambor de enfriamiento desde el extremo del tubo 112b de enfriamiento, y el extremo del tubo 112d de enfriamiento está ubicado aproximadamente a un 10% de la longitud del tambor de enfriamiento desde el extremo del tubo 112c de enfriamiento. Del mismo modo, el extremo del tubo 112e de enfriamiento está ubicado aproximadamente a un 10% de la longitud del tambor de enfriamiento desde el extremo del tubo 112d de enfriamiento, y el extremo del tubo 112f de enfriamiento está ubicado aproximadamente a un 10% de la longitud del tambor de enfriamiento desde el extremo del tubo 112e de enfriamiento. En la realización preferida de la invención ilustrada en los dibujos, cada uno de los cinco tubos de enfriamiento distintos del más largo es más corto en aproximadamente el 10% de la longitud del tambor de enfriamiento que el siguiente tubo de enfriamiento más largo.

Tal como se muestra en la figura 15, cada tubo de enfriamiento tiene una boquilla 114 que está montada en el extremo del tubo de enfriamiento dentro del tambor de enfriamiento. Preferiblemente, cada boquilla tiene una abertura 116 de boquilla que está configurada y dispuesta para descargar fluido de enfriamiento hacia abajo desde el tubo de enfriamiento, lo más preferiblemente formando un ángulo de aproximadamente 90° con respecto al plano del ángulo dinámico de reposo del material de biomasa torrefactada en el tambor 90 de enfriamiento. Dado que la disposición preferida de los tubos de enfriamiento y las boquillas dentro del tambor 90 de enfriamiento separa las boquillas a lo largo de la longitud del tambor de enfriamiento, el fluido de enfriamiento puede dispensarse a través de las boquillas sobre el material de biomasa ubicado por todo el tambor. Una bomba 118, mostrada esquemáticamente en la figura 12, proporciona el medio para transportar el fluido de enfriamiento, tal como agua, a través de cada uno de los tubos de enfriamiento que van a descargarse a través de las boquillas. Una pluralidad de deflectores 120 están montados en el interior del tambor de enfriamiento y dispuestos para dirigir material desde el extremo 106 de entrada hasta el extremo 108 de salida a medida que se hace rotar el tambor de enfriamiento. Preferiblemente, se descarga agua de enfriamiento desde las boquillas de los tubos de enfriamiento sobre la madera torrefactada en el tambor de enfriamiento en cantidades suficientes para reducir la temperatura de la madera torrefactada sin añadir humedad adicional a la madera torrefactada. Además, se prefiere que el fluido de enfriamiento se descargue sobre

la madera torrefactada en el tambor de enfriamiento mientras que el tambor 90 se hace rotar a una velocidad para reducir la temperatura de la madera torrefactada en la salida de descarga hasta una temperatura que es menor de aproximadamente 66°C (150°F) y más preferiblemente hasta una temperatura que es menor de aproximadamente 54°C (130°F).

5 En otras realizaciones de la invención, puede omitirse el enfriador 19 por aspersión y reemplazarse por un sistema de enfriamiento por aire tal como conocen los expertos habituales en la técnica a la que se refiere la invención.

10 En el funcionamiento de los conjuntos de procesamiento en paralelo para procesar material de biomasa verde para transformar en pastillas para dar una pastilla de combustible, el molino 17 de martillos está ubicado aguas debajo de la cámara de secado de biomasa y el molino 20 de martillos está ubicado aguas abajo del enfriador 19 por aspersión. Estos molinos de martillos se hacen funcionar para reducir adicionalmente el tamaño de partícula de la madera blanca y la madera torrefactada producida antes de que se suministre una combinación de tales materiales a una o más prensas 122 de pastillas, que se hacen funcionar para comprimir la combinación de materiales para producir pastillas de combustible. Preferiblemente, la madera blanca y la madera torrefactada se combinan en acondicionadores 124 y 125 de combinación, y las combinaciones se transportan hasta las prensas de pastillas mediante el transportador u otros medios. Los inventores han descubierto que combinaciones de diversas proporciones relativas de los dos tipos de materiales procesados producen pastillas que tienen todas las propiedades deseadas. Además, las pastillas resultantes serán generalmente resistentes al agua y no se disgregarán si se humedecen. Se prefiere que se emplee como la prensa de pastillas una prensa de pastillas con movimiento alternativo tal como el dispositivo de transformación en pastillas Pellet Pro-4 que vende Breaker Technology, Inc. de Thornbury, Ontario, Canadá. Preferiblemente, la prensa de pastillas se hace funcionar para comprimir la combinación de material de biomasa blanca y material de biomasa torrefactada a una presión de aproximadamente 68948 KPa (10.000 psi) en un troquel calentado hasta una temperatura dentro del intervalo de aproximadamente 260°C (500°F) a aproximadamente 277°C (530°F) durante un periodo de al menos aproximadamente un segundo.

30 En la realización de la invención ilustrada en los dibujos, se recogen gases ventilados (incluyendo COV) y polvo de las prensas de pastillas y se transportan de vuelta a la cámara 24 de combustión donde se incineran. Están previstos conductos aislados o calentados, tales como el conducto 126, para transportar gases y polvo de las prensas de pastillas hasta la cámara 24 de combustión. Las pastillas producidas en las prensas de pastillas se transportan por el transportador 127 hasta el enfriador 128 rotatorio para enfriarlas y luego al tamiz 129. El polvo y los gases también pueden recogerse aguas abajo de las prensas de pastillas, tal como en la entrada del transportador 127 hasta el interior del enfriador 128 rotatorio, donde puede emplearse otro conducto aislado o calentado, tal como el conducto 192, para llevar gases y polvo de vuelta a la cámara 24 de combustión para su incineración. Pueden proporcionarse otros conductos similares en otros puntos en el sistema donde pueden recogerse gases (especialmente COV) y polvo para su transporte hasta la cámara de combustión.

40 Un aspecto de la presente invención comprende un método para obtener una pastilla de combustible a partir de materiales de biomasa procedentes de dos fuentes de alimentación independientes, comprendiendo dicho método:

(A) proporcionar un conjunto de secado para convertir material de biomasa verde procedente de una primera fuente en material de biomasa blanca, comprendiendo dicho conjunto de secado:

- 45 (1) una cámara de secado previo que está adaptada para:
- (a) recibir material de biomasa verde procedente de la primera fuente; y
  - (b) retirar humedad de y elevar la temperatura del material de biomasa verde para producir un material de biomasa secado previamente;

(2) una cámara de secado de biomasa que está adaptada para:

- 55 (a) recibir el material de biomasa secado previamente procedente de la cámara de secado previo;
- (b) convertir el material de biomasa secado previamente en material de biomasa blanca;

(B) proporcionar un conjunto de torrefacción para convertir material de biomasa verde procedente de una segunda fuente en material de biomasa torrefactada;

60 (C) proporcionar un conjunto de calentamiento que comprende:

- (1) un intercambiador de calor que tiene una pluralidad de serpentines de transferencia de calor que contienen en los mismos un fluido térmico;
- (2) un quemador para calentar el fluido térmico en los serpentines de transferencia de calor hasta una temperatura

dentro del intervalo de aproximadamente 93°C (200°F) a aproximadamente 288°C (550°F), produciendo también dicho quemador gases de chimenea;

- 5 (3) una chimenea de salida para los gases de chimenea;
- (4) medios para transportar los gases de chimenea desde la chimenea de salida hasta la cámara de secado previo;
- 10 (5) medios para transportar el fluido térmico calentado desde el intercambiador de calor hasta el conjunto de secado;
- (6) medios para transportar el fluido térmico calentado desde el intercambiador de calor hasta el conjunto de torrefacción;
- 15 (D) proporcionar un conducto de vapor de agua para transportar vapor de agua desde la cámara de secado de biomasa hasta la cámara de combustión;
- (E) proporcionar un conducto de COV para transportar los compuestos orgánicos volátiles desde la cámara de secado de biomasa hasta la cámara de combustión;
- 20 (F) proporcionar una prensa de pastillas para comprimir una combinación de biomasa blanca y biomasa torrefactada;
- (G) hacer funcionar el quemador para calentar el fluido térmico en el intercambiador de calor;
- 25 (H) transportar el fluido térmico calentado hasta la cámara de secado de biomasa;
- (I) transportar el fluido térmico calentado hasta el conjunto de torrefacción;
- (J) introducir biomasa verde procedente de la primera fuente en el interior de la cámara de secado previo;
- 30 (K) hacer funcionar la cámara de secado previo para retirar humedad de y elevar la temperatura del material de biomasa verde procedente de la primera fuente para producir un material de biomasa secado previamente;
- (L) transportar el material de biomasa secado previamente hasta la cámara de secado de biomasa;
- 35 (M) hacer funcionar la cámara de secado de biomasa para convertir el material de biomasa secado previamente en material de biomasa blanca;
- (N) introducir biomasa verde procedente de la segunda fuente en el conjunto de torrefacción;
- 40 (O) hacer funcionar el conjunto de torrefacción para convertir el material de biomasa verde procedente de la segunda fuente en material de biomasa torrefactada;
- (P) combinar el material de biomasa blanca y el material de biomasa torrefactada para producir una combinación de materiales de biomasa;
- 45 (Q) transportar la combinación de materiales de biomasa hasta la prensa de pastillas;
- (R) hacer funcionar la prensa de pastillas para comprimir la combinación de materiales de biomasa para producir una pastilla de combustible.
- 50 El método puede incluir hacer funcionar la prensa de pastillas para comprimir la combinación de materiales de biomasa a una presión de aproximadamente 68948 kPa (10.000 psi) en un troquel calentado hasta una temperatura dentro del intervalo de aproximadamente 260°C (550°F) a aproximadamente 277°C (530°F) durante un periodo de al menos aproximadamente un segundo.
- 55 El método puede incluir: (A) proporcionar un suministro de combustible externo al quemador; (B) proporcionar medios para controlar el suministro de combustible externo al quemador; (C) suministrar combustible externo al quemador a una primera velocidad; (D) ajustar la velocidad de suministro de combustible externo al quemador a una segunda velocidad que es menor que la primera velocidad, a medida que los compuestos orgánicos volátiles obtenidos a partir del calentamiento del material de biomasa verde en la cámara de secado de biomasa se transportan desde la cámara de secado de biomasa a través del conducto de COV hasta la cámara de combustión.
- 60

**REIVINDICACIONES**

1. Conjunto para procesar materiales de biomasa verde procedentes de dos fuentes de alimentación independientes para su uso como pastilla de combustible, comprendiendo dicho conjunto:
- 5 (A) un conjunto (15, 16) de secado para convertir material de biomasa verde procedente de una primera fuente en material de biomasa blanca, siendo el material de biomasa blanca material de biomasa verde que se ha secado para aumentar su poder calorífico por unidad de peso;
- 10 (B) un conjunto (18) de torrefacción para convertir material de biomasa verde procedente de una segunda fuente en material de biomasa torrefactada;
- (C) un conjunto (21) de calentamiento que comprende:
- 15 (1) un intercambiador (26) de calor que tiene una pluralidad de serpentines (32) de transferencia de calor que contienen en los mismos un fluido térmico;
- (2) un quemador (22) para calentar el fluido térmico en los serpentines (32) de transferencia de calor hasta una temperatura dentro del intervalo de aproximadamente 93°C (200°F) a aproximadamente 20 288°C (550°F), produciendo también dicho quemador (22) gases de chimenea;
- (3) medios para transportar el fluido térmico calentado desde el intercambiador (26) de calor hasta el conjunto de secado (16);
- 25 (4) medios para transportar el fluido térmico calentado desde el intercambiador (26) de calor hasta el conjunto (18) de torrefacción; y
- (D) una prensa (122) de pastillas para transformar en pastillas una combinación de materiales de biomasa procesados en el conjunto (15, 16) de secado y materiales de biomasa procesados en el conjunto (18) 30 de torrefacción.
2. Conjunto según la reivindicación 1, que incluye:
- 35 un conducto (126) de COV para transportar los gases recogidos en o aguas abajo de la prensa (122) de pastillas hasta una cámara (24) de combustión del conjunto (21) de calentamiento.
3. Conjunto según la reivindicación 1 ó 2:
- 40 (A) que incluye una cámara (15) de secado previo que está adaptada para recibir material de biomasa verde procedente de una fuente de alimentación y retirar humedad de y elevar la temperatura del material de biomasa verde para producir un material de biomasa secado previamente;
- (B) en el que el conjunto (21) de calentamiento incluye una chimenea (38) de salida para los gases de 45 chimenea;
- (C) que incluye medios para transportar los gases de chimenea desde la chimenea (38) de salida hasta la cámara (15) de secado previo.
4. Conjunto según la reivindicación 3, en el que la cámara (15) de secado previo comprende:
- 50 (A) un tambor (162) de cámara de secado previo rotatorio inclinado, teniendo dicho tambor:
- (1) un extremo (166) superior;
- 55 (2) un extremo (168) inferior;
- (3) un eje (170) longitudinal;
- (3) un sistema (172, 174) de rotación para hacer rotar el tambor (162) alrededor de su eje (170) 60 longitudinal;
- (B) un canal (182) de entrada para material de biomasa verde ubicado en el extremo (166) superior del tambor (162) de cámara de secado previo;
- 65 (C) una canalización (186) de entrada para gases de salida procedentes del intercambiador (26) de calor ubicado en el extremo (166) superior del tambor (162) de cámara de secado previo, de modo que los gases

de chimenea calientes procedentes del intercambiador (26) de calor se dirigen al interior del tambor (162) de cámara de secado previo para que fluyan a su través en paralelo al flujo de biomasa;

(D) una salida (188) para biomasa secada previamente ubicada en el extremo inferior del tambor (162) de cámara de secado previo.

5. Conjunto según la reivindicación 1, en el que el conjunto (15, 16) de secado comprende:

(A) una cámara (15) de secado previo que está adaptada para:

(1) recibir material de biomasa verde procedente de la primera fuente; y

(2) retirar humedad de y elevar la temperatura del material de biomasa verde para producir un material de biomasa secado previamente;

(B) una cámara (16) de secado de biomasa que está adaptada para:

(1) recibir el material de biomasa secado previamente procedente de la cámara (15) de secado previo;

(2) convertir el material de biomasa secado previamente en material de biomasa blanca.

6. Conjunto según la reivindicación 5, que incluye un conducto (80) de vapor de agua para transportar vapor de agua desde la cámara (16) de secado de biomasa hasta la cámara (24) de combustión.

7. Conjunto según la reivindicación 5, que incluye un conducto (82) de COV para transportar compuestos orgánicos volátiles desde la cámara (16) de secado de biomasa hasta la cámara (24) de combustión.

8. Conjunto según la reivindicación 5, 6 ó 7, en el que la cámara (16) de secado de biomasa comprende:

(A) un bastidor (42) de cámara de secado que tiene:

(1) un extremo (44) superior;

(2) un extremo (46) inferior;

(B) un tambor (48) de cámara de secado generalmente cilíndrico que está montado en el bastidor (42) de cámara de secado para la rotación alrededor del eje (50) del tambor (48) de cámara de secado, teniendo dicho tambor (48) de cámara de secado:

(1) un extremo (64) superior que tiene una entrada (68);

(2) un extremo (66) inferior que tiene una salida (70) de descarga;

(3) una pluralidad de tubos (72) de fluido térmico que se extienden a lo largo del interior del mismo;

(C) medios (52, 54) para hacer rotar el tambor (48) de cámara de secado con respecto al bastidor (42) de cámara de secado;

(D) medios para transportar el fluido térmico desde el intercambiador (26) de calor del conjunto (21) de calentamiento a través de los tubos (72) de fluido térmico en el tambor (48) de cámara de secado.

9. Conjunto según la reivindicación 8, en el que el tambor (48) de cámara de secado incluye:

(A) un colector (158) de fluido térmico que suministra fluido térmico a la pluralidad de tubos (72) de fluido térmico;

(B) una pluralidad de placas (150) de soporte de tubo que están separadas a lo largo de la longitud del interior del tambor (48) de cámara de secado, cada una de dichas placas (150) de soporte de tubo:

(1) incluye una pluralidad de orificios (152) de soporte de tubo para soportar la pluralidad de tubos (72) de fluido térmico cerca de la periferia del tambor (48) de cámara de secado;

(2) está adaptada para soportar una pluralidad de palas (156) en la parte central del tambor (48) de cámara de secado para dirigir el material de biomasa dentro del tambor (48) de cámara de secado en contacto con la pluralidad de tubos (72) de fluido térmico.

10. Conjunto según la reivindicación 8 ó 9, que incluye un sistema de recirculación para recircular gases desde la salida (38) del intercambiador (26) de calor hasta el tambor (48) de cámara de secado, comprendiendo dicho sistema de recirculación:
- 5
- (A) una canalización (77) de salida desde el intercambiador (26) de calor;
- (B) una canalización (79) de entrada hasta el tambor (48) de cámara de secado; y
- 10 (C) un ventilador (78) de recirculación que está en comunicación de fluido con la canalización (77) de salida desde el intercambiador (26) de calor y la canalización (79) de entrada hasta el tambor (48) de cámara de secado.
11. Conjunto según la reivindicación 1, en el que el conjunto de torrefacción incluye un reactor (18) de torrefacción que comprende:
- 15
- (A) un bastidor (130) de reactor que tiene:
- 20 (1) un extremo (131) superior;
- (2) un extremo (132) inferior;
- (B) un tambor (133) de reactor generalmente cilíndrico que está montado en el bastidor (130) de reactor para la rotación alrededor del eje (134) del tambor (133) de reactor, teniendo dicho tambor (133) de reactor:
- 25 (1) un extremo superior que tiene una entrada (145);
- (2) un extremo inferior que tiene una salida (146) de descarga;
- 30 (3) una pluralidad de tubos de fluido térmico que se extiende a lo largo del interior del mismo;
- (C) medios (135,136) para hacer rotar el tambor (133) de reactor con respecto al bastidor (130) de reactor;
- 35 (D) medios para transportar el fluido térmico desde el intercambiador (26) de calor del conjunto (21) de calentamiento a través de los tubos de fluido térmico en el tambor (133) de reactor.
12. Conjunto según la reivindicación 11, en el que el tambor (133) de reactor incluye:
- 40 (A) un colector de fluido térmico que suministra fluido térmico a la pluralidad de tubos de fluido térmico;
- (B) una pluralidad de placas de soporte de tubo que están separadas a lo largo de la longitud del interior del tambor (133) de reactor, cada una de dichas placas de soporte de tubo:
- 45 (1) incluye una pluralidad de orificios de soporte de tubo para soportar la pluralidad de tubos de fluido térmico cerca de la periferia del tambor (133) de reactor;
- (2) está adaptada para soportar una pluralidad de palas en la parte central del tambor (133) de reactor para dirigir el material de biomasa dentro del tambor (133) de reactor en contacto con la pluralidad de tubos de fluido térmico.
- 50
13. Conjunto según la reivindicación 11 ó 12, en el que el conjunto de torrefacción incluye:
- (A) un conjunto (19) de enfriamiento ubicado aguas abajo del reactor (18) de torrefacción;
- 55 (B) medios para transportar material de biomasa torrefactada desde la salida (146) de descarga del tambor (133) de reactor hasta el conjunto (19) de enfriamiento.
14. Conjunto según la reivindicación 13, en el que el conjunto (19) de enfriamiento comprende:
- 60 (A) un bastidor (88) de enfriador;
- (B) un tambor (90) de enfriamiento generalmente cilíndrico que está montado en el bastidor (88) de enfriador para la rotación alrededor del eje (92) del tambor (90) de enfriamiento, teniendo dicho tambor (90) de enfriamiento:
- 65 (1) un extremo (160) de entrada con una entrada;

(2) un extremo (108) de salida con una salida (110) de descarga;

5

(3) un tubo (112) de enfriamiento que se extiende a lo largo del interior del mismo;

(4) una boquilla (114) montada en el extremo del tubo (112) de enfriamiento dentro del tambor (90) de enfriamiento, boquilla (114) que tiene una abertura (116) de boquilla que está configurada y dispuesta para descargar fluido de enfriamiento hacia abajo desde el tubo (112) de enfriamiento;

10

(5) una pluralidad de deflectores (120) montados en el interior del tambor (90) de enfriamiento y dispuestos para dirigir material desde el extremo (106) de entrada hasta el extremo (108) de salida a medida que se hace rotar el tambor (90) de enfriamiento;

15

(C) medios (94, 96) para hacer rotar el tambor (90) de enfriamiento con respecto al bastidor (88) de enfriador;

(D) medios (118) para transportar fluido de enfriamiento a través del tubo (112) de enfriamiento que va a descargarse a través de la boquilla (114).

20

15. Conjunto según la reivindicación 14, en el que el conjunto (19) de enfriamiento comprende:

(A) una pluralidad de tubos (112a-112f) de enfriamiento que se extienden a lo largo del interior del tambor (90) de enfriamiento, cada uno de los cuales tiene una longitud que es diferente de la de cada uno de los otros tubos de enfriamiento;

25

(B) una pluralidad de boquillas (114), estando montada al menos una boquilla en el extremo de cada uno de los tubos (112a-112f) de enfriamiento dentro del tambor (90) de enfriamiento;

30

(C) medios (118) para transportar fluido de enfriamiento a través de cada uno de los tubos (112a-112f) de enfriamiento que va a descargarse a través de las boquillas (114);

en el que cada una de las boquillas (114) está orientada para dirigir el fluido de enfriamiento hacia abajo formando un ángulo de aproximadamente 90° con respecto al plano del ángulo dinámico de reposo del material de biomasa en el tambor (90) de enfriamiento; y

35

el extremo del tubo de enfriamiento más largo está separado aproximadamente el 10% de la longitud del tambor (90) de enfriamiento desde la entrada del mismo, y cada uno de los tubos de enfriamiento distintos del más largo es más corto en aproximadamente el 10% de la longitud del tambor (90) de enfriamiento que el siguiente tubo de enfriamiento más largo.

40





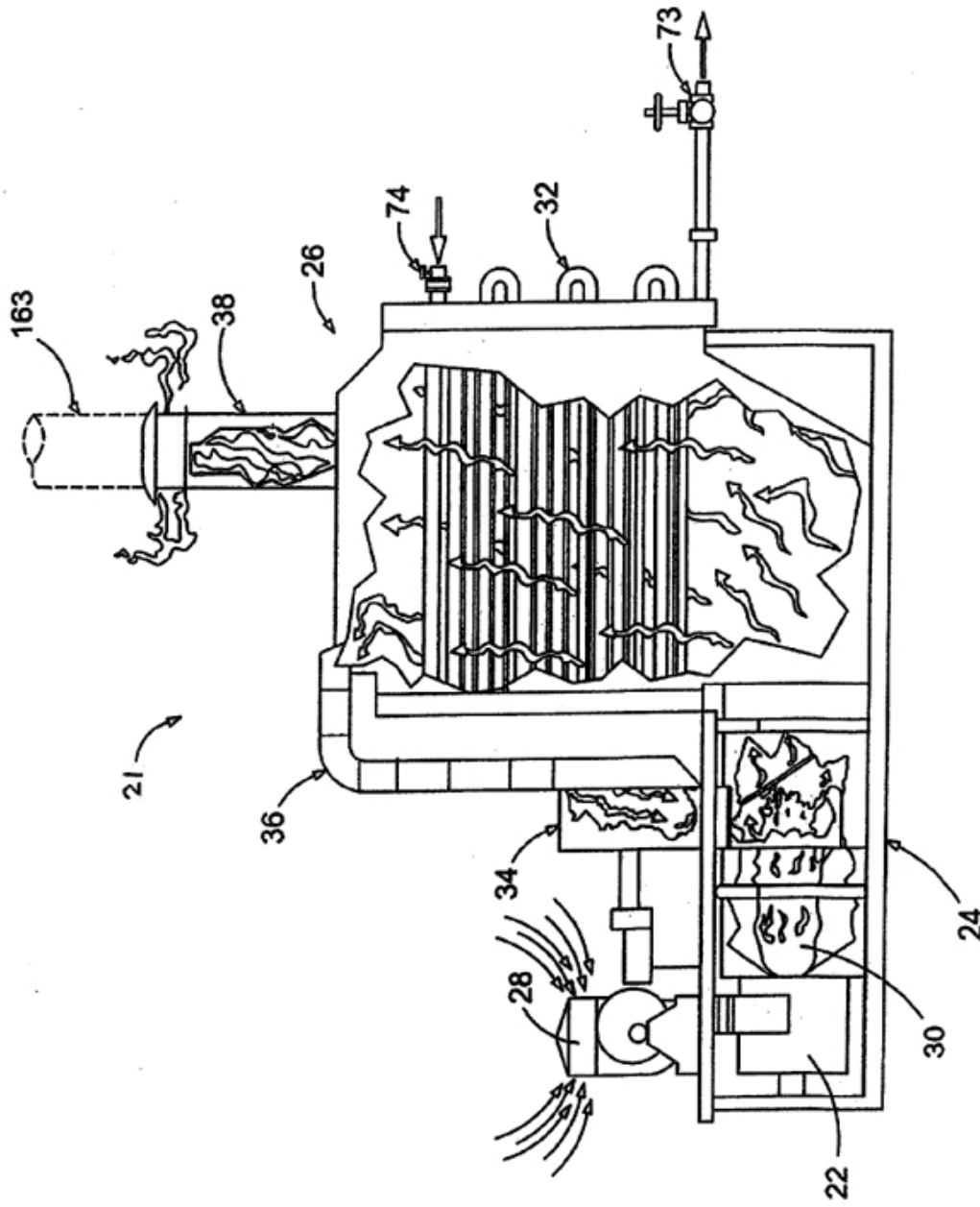


FIGURA 2

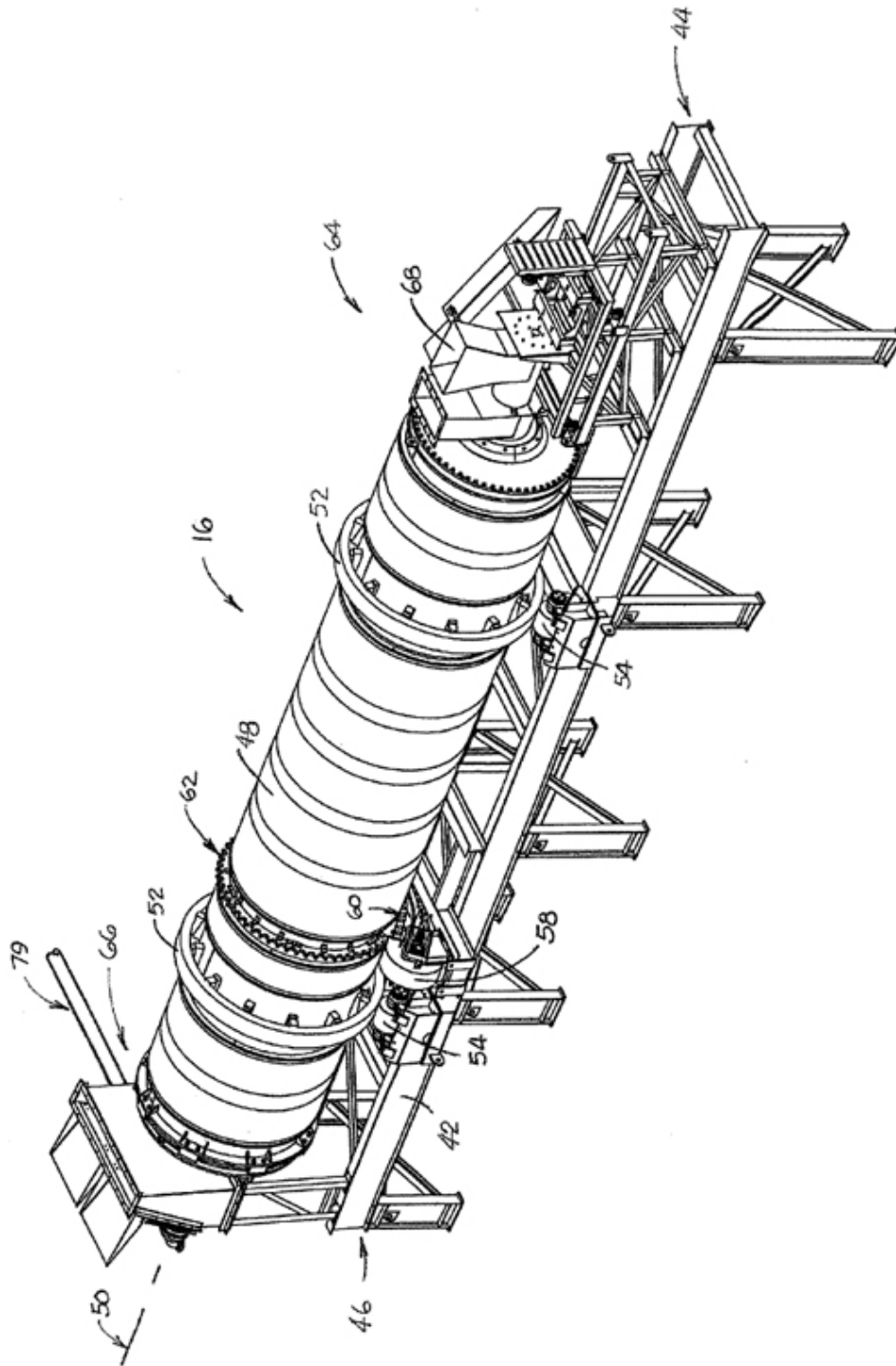


FIGURA 3

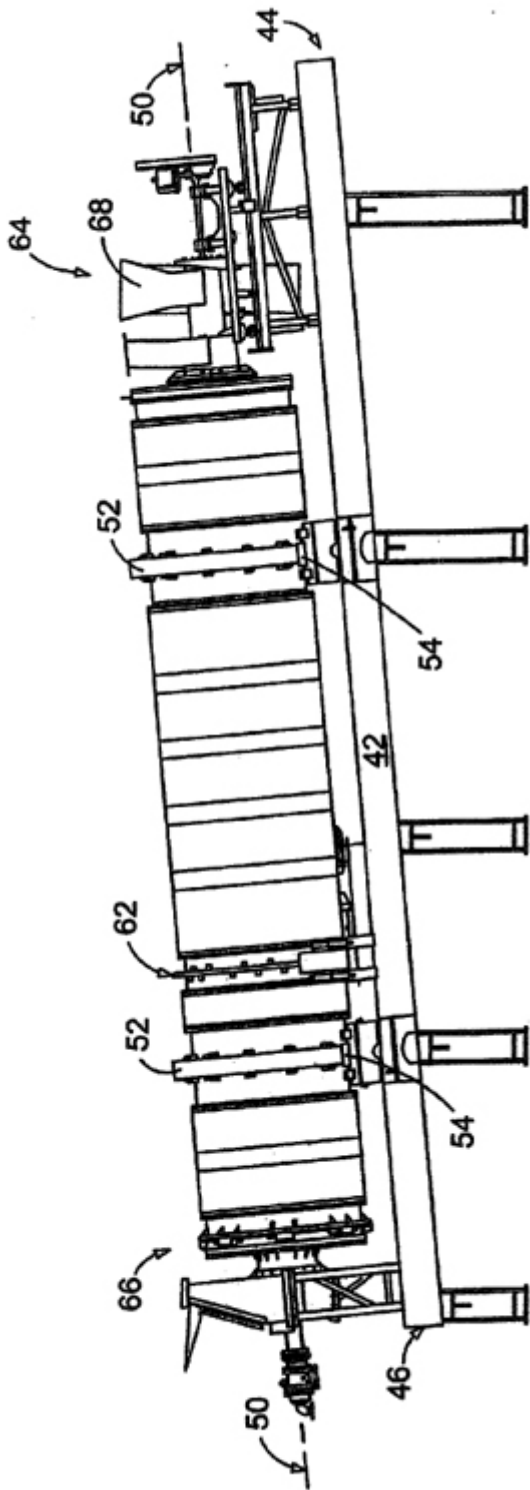


FIGURA 4

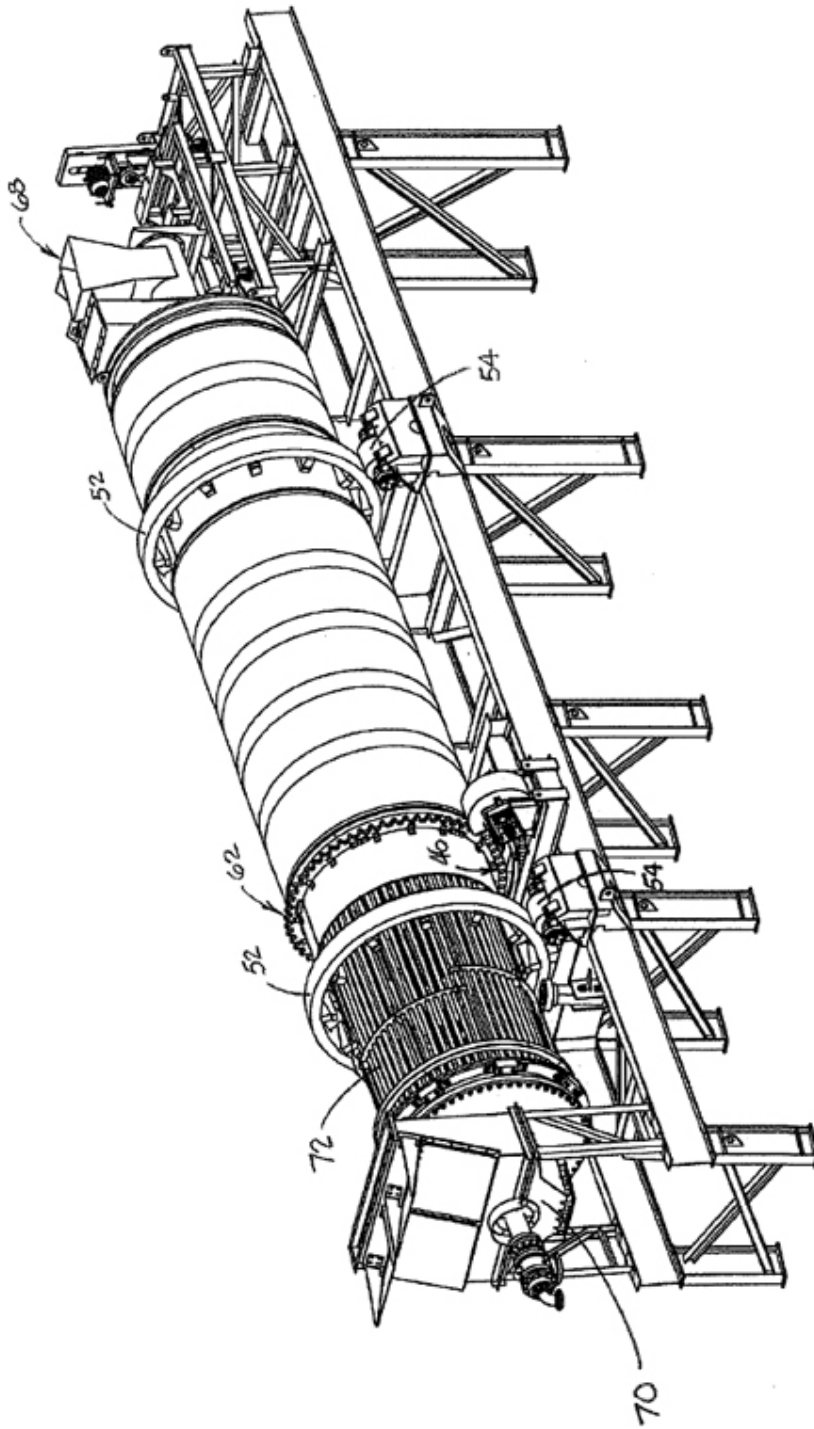


FIGURA 5

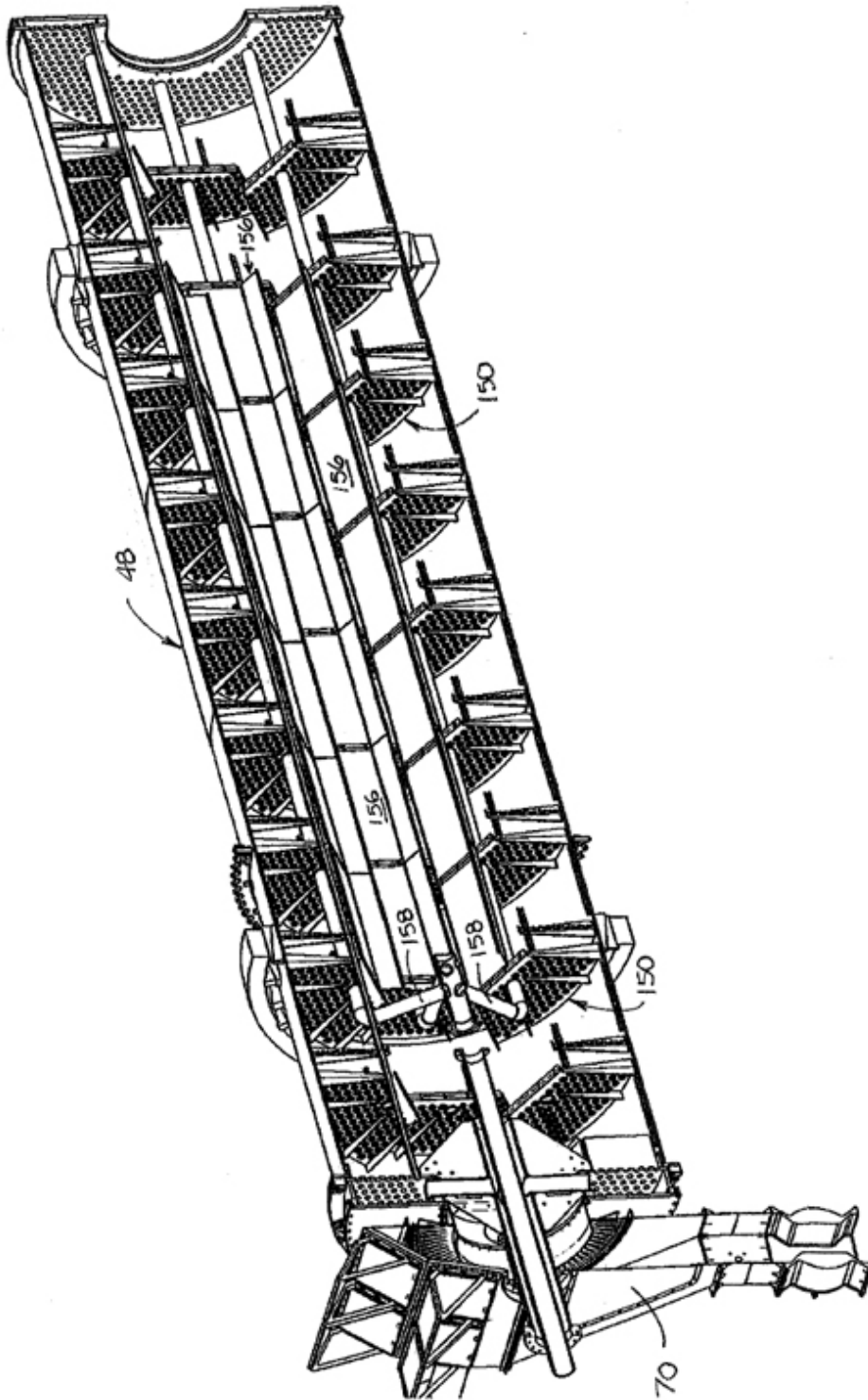


FIGURA 6



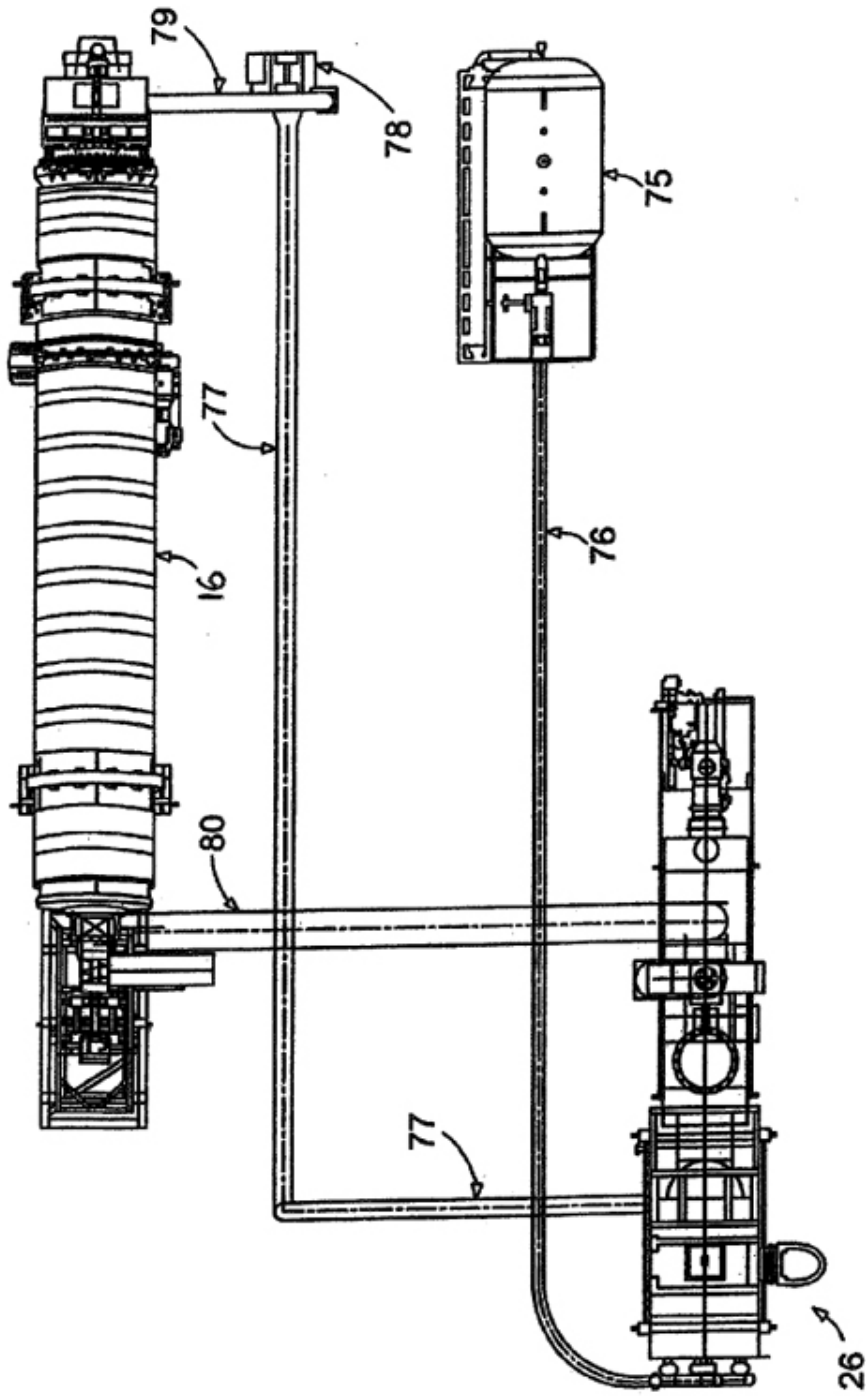


FIGURA 8

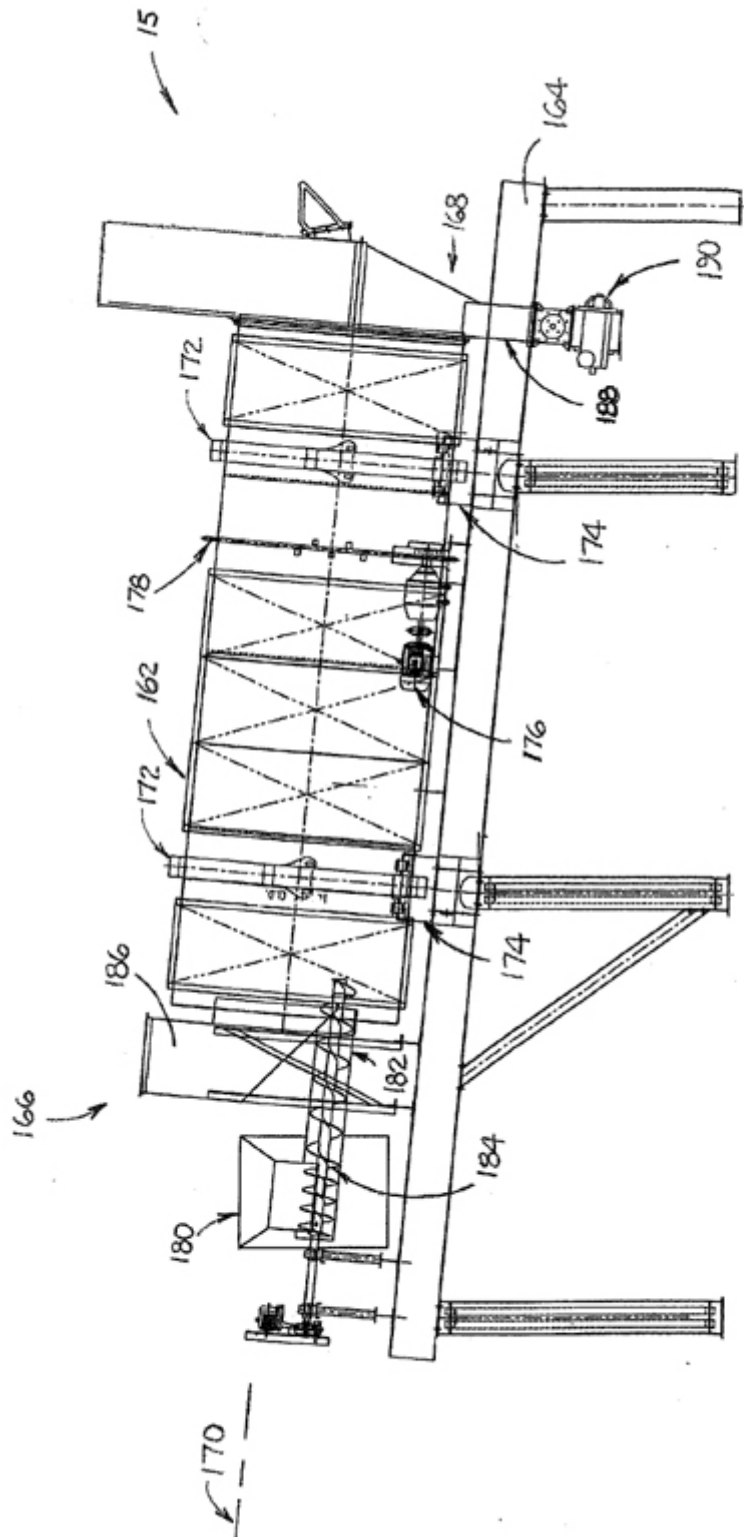


FIGURA 9



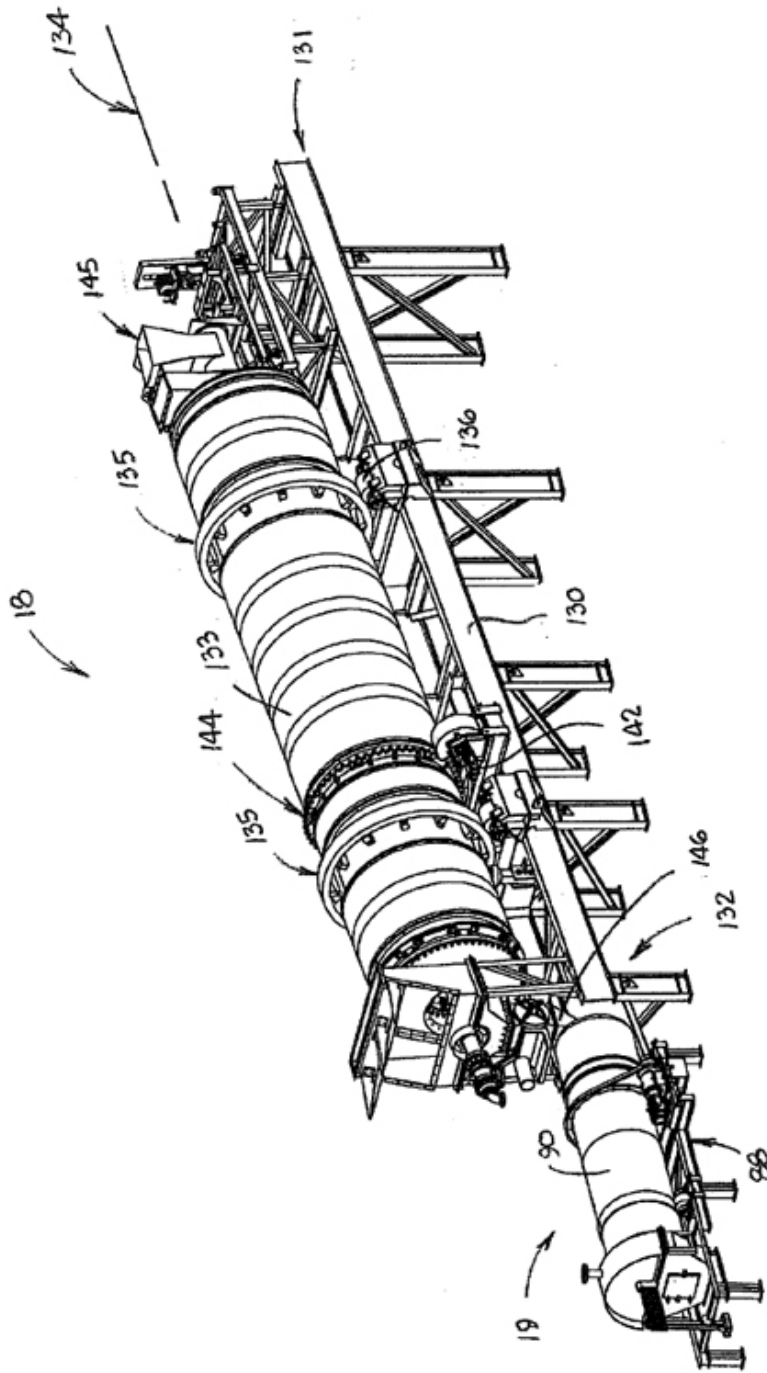


FIGURA 10

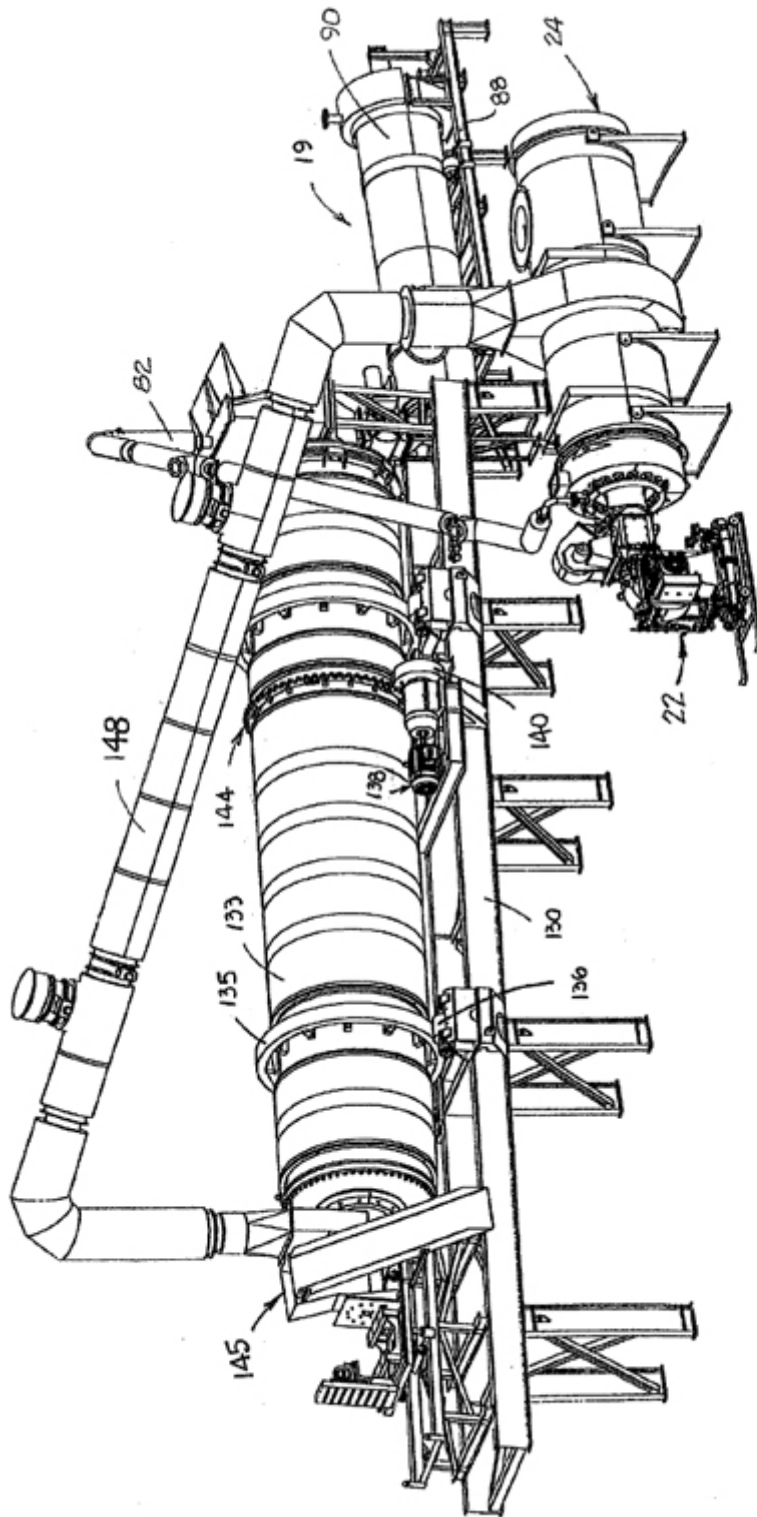


FIGURA 11

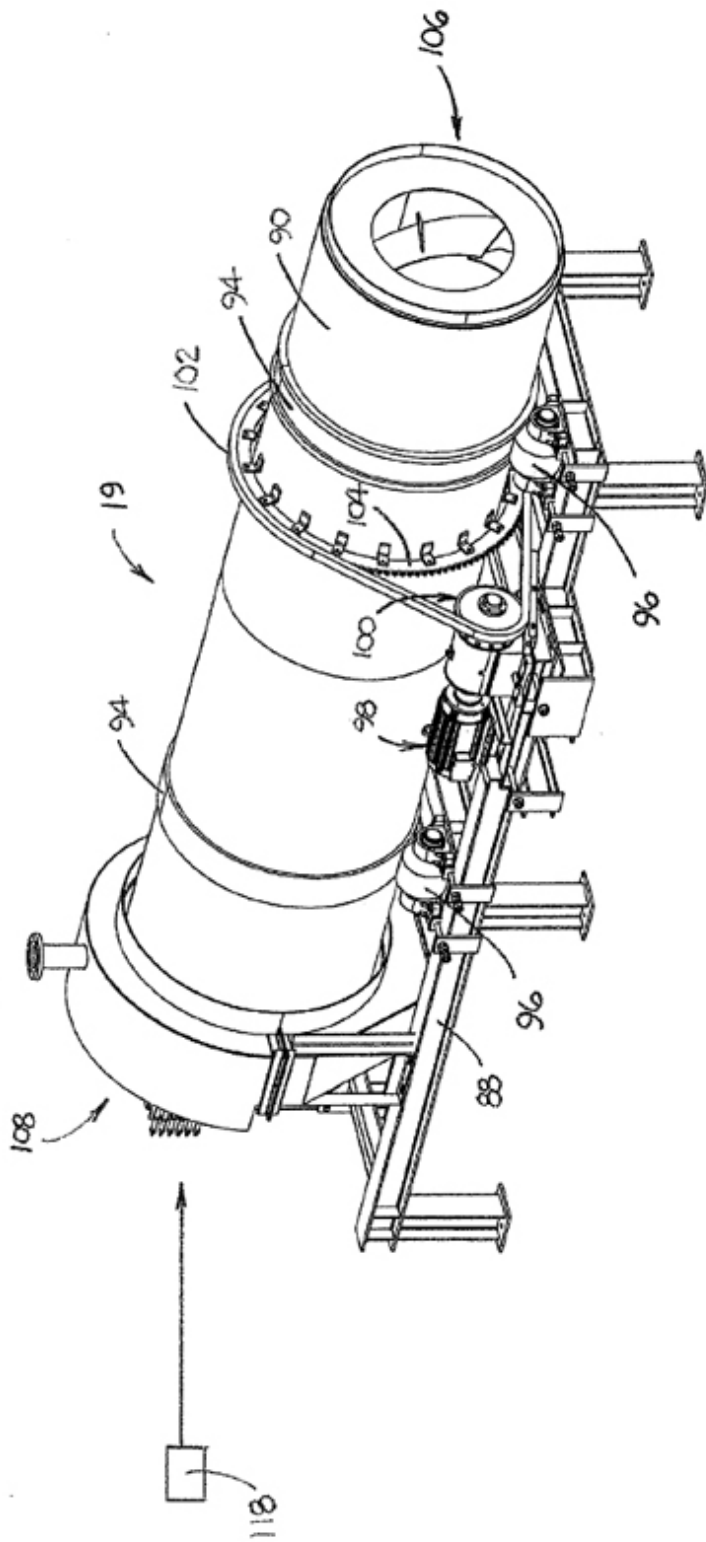


FIGURA 12

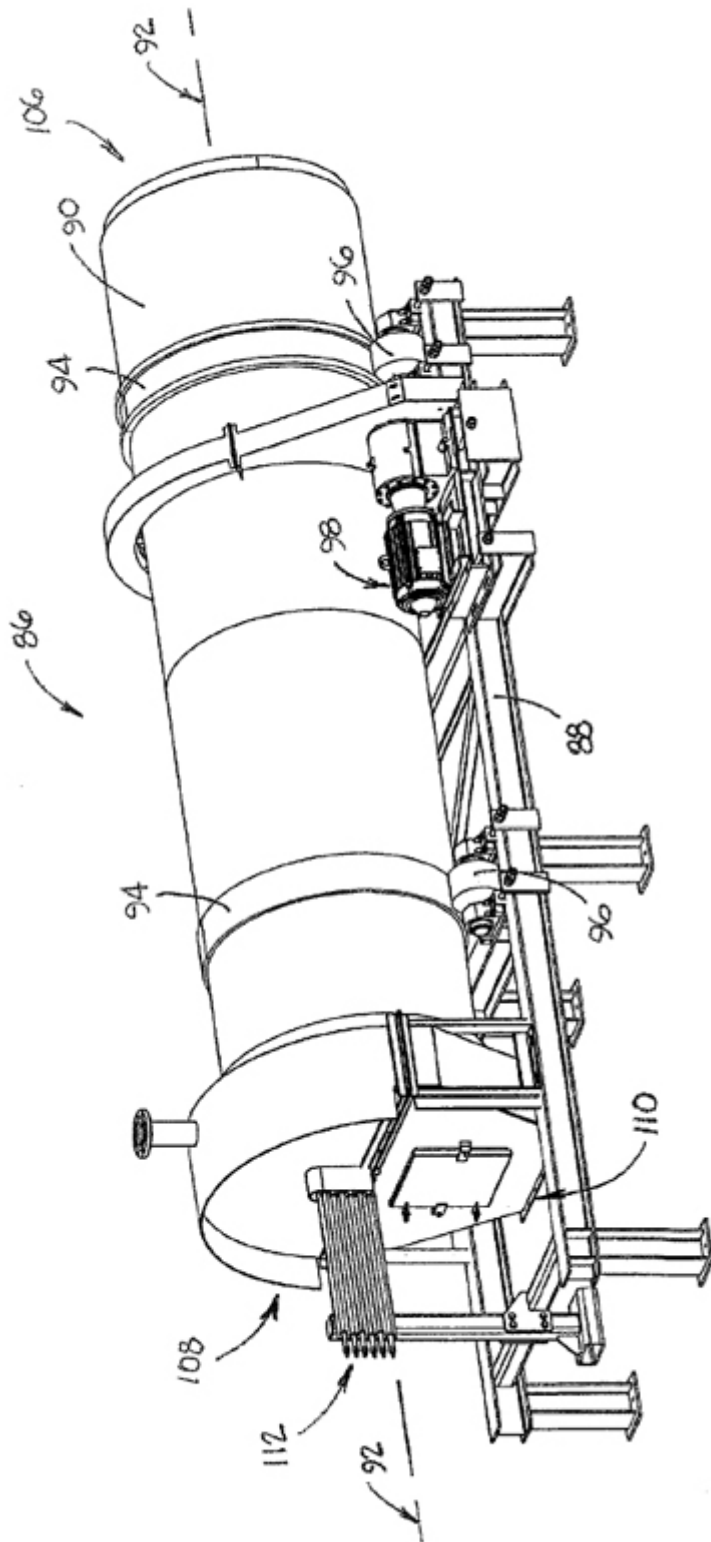


FIGURA 13

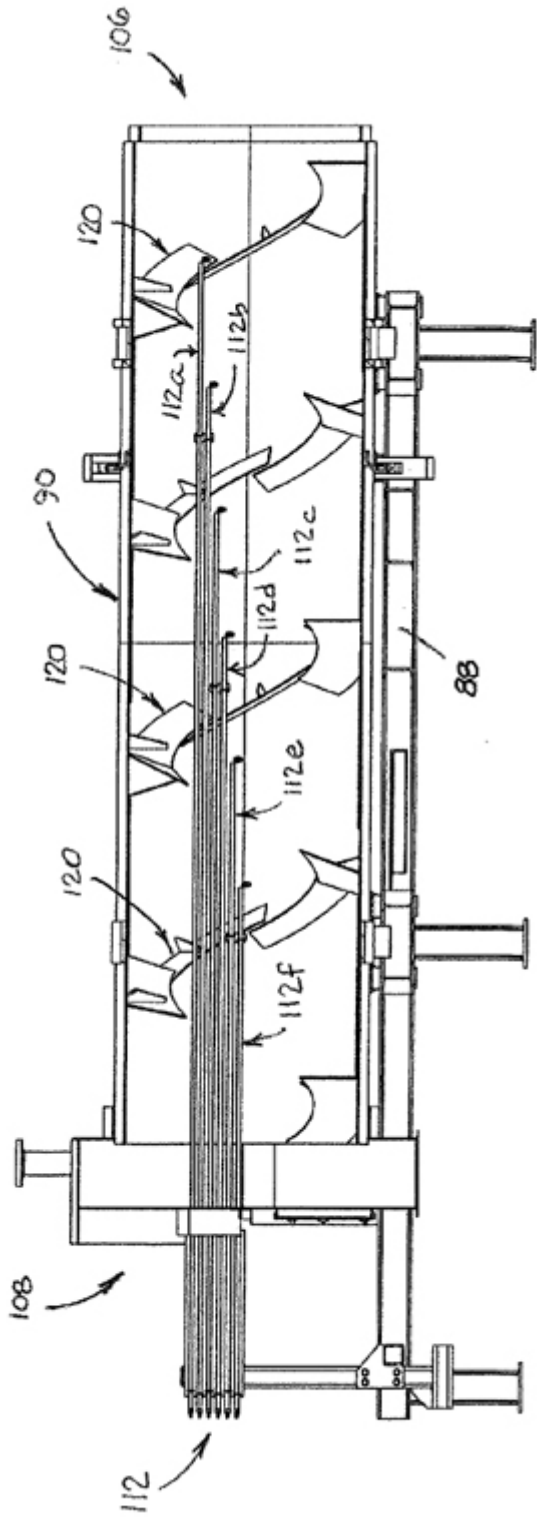


FIGURA 14

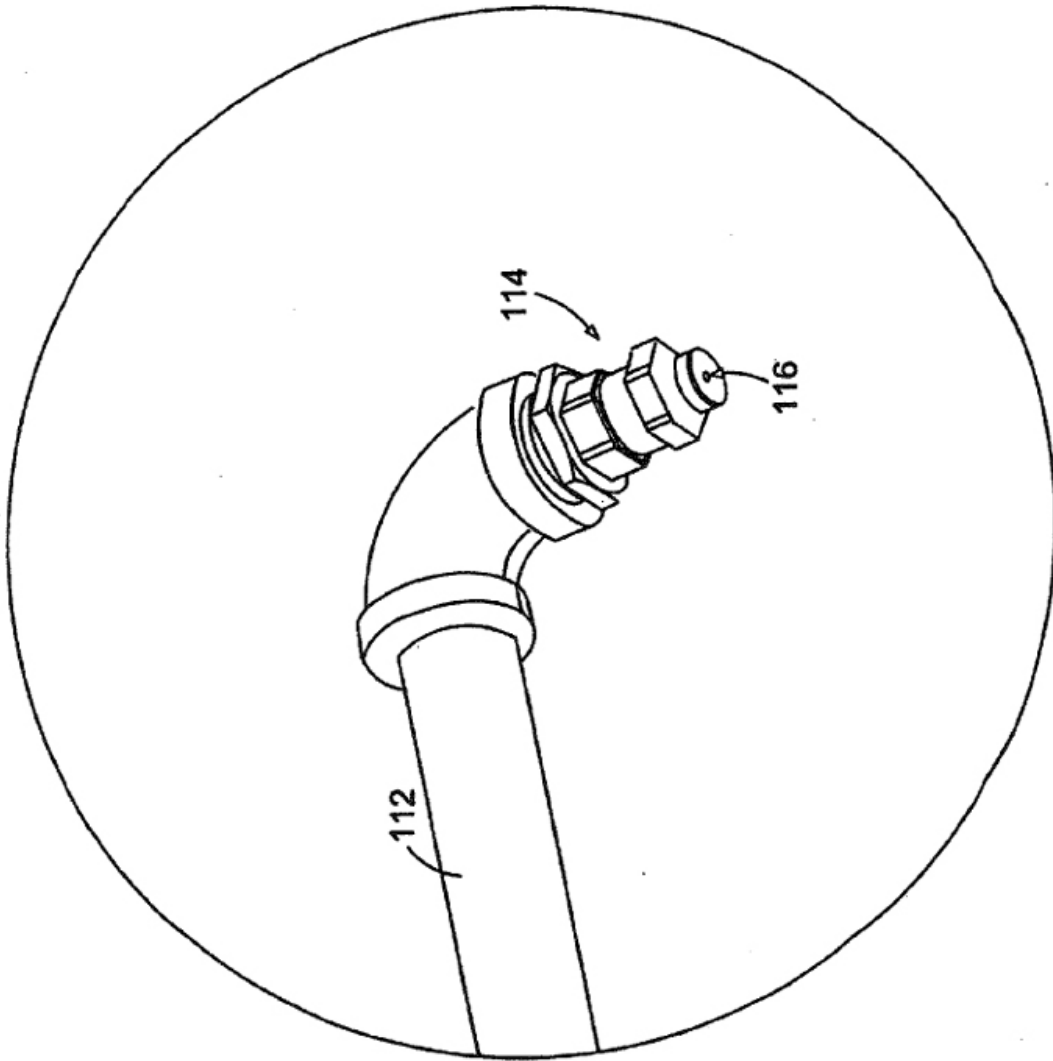


FIGURA 15