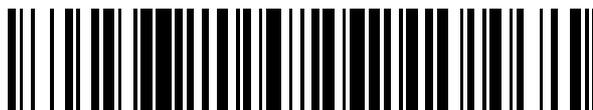


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 583 133**

51 Int. Cl.:

**C10J 3/66** (2006.01)  
**F23G 5/033** (2006.01)  
**F23G 5/04** (2006.01)  
**F23G 5/46** (2006.01)  
**F23G 5/20** (2006.01)  
**F23J 15/02** (2006.01)  
**F23G 5/027** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.04.2006 E 06728546 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016 EP 1877700**

54 Título: **Proceso integrado para el tratamiento de residuos mediante pirólisis y planta relacionada**

30 Prioridad:

**02.05.2005 IT RM20050207**

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

**19.09.2016**

73 Titular/es:

**BEG S.P.A. (100.0%)  
PIAZZA DI SPAGNA, 66  
00187 ROMA, IT**

72 Inventor/es:

**BECCHETTI, FRANCESCO y  
VON CHRISTEN, FRANZ-EICKE**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 583 133 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

Proceso integrado para el tratamiento de residuos mediante pirólisis y planta relacionada

La presente invención concierne a un proceso integrado para el tratamiento de residuos mediante pirólisis y la planta relativa. Más específicamente, la invención concierne a un método para procesar residuos sólidos y particularmente residuos sólidos urbanos, con recuperación de energía térmica, cuyo método explota el proceso de pirólisis en general adecuadamente modificado con el fin de mejorar el rendimiento energético del proceso, por un lado, y de reducir la cantidad de residuos sólidos no utilizables que se enviarán a la escombrera, por otro lado.

Como se sabe, los residuos sólidos –y en particular los residuos producidos y recogidos por las comunidades municipales– que por lo general incluyen los residuos sólidos domésticos y los residuos comerciales en forma de productos defectuosos y embalajes de mercados, tiendas y pequeños talleres artesanales, tradicionalmente se han enviado a vertederos al aire libre o subterráneos para su eliminación, o se han enviado a incineradores. La primera forma de eliminación de residuos, que sigue siendo la más extendida, sobre todo en los países menos industrializados, es siempre extremadamente invasiva en cuanto al impacto ambiental. Su planificación requiere especial atención a la elección de la localización y la preparación de la ubicación –en primer lugar, porque depositar los residuos directamente en el suelo y su consiguiente exposición a los agentes atmosféricos y a las condiciones climáticas implica una lixiviación constante de las sustancias solubles contenidas en los residuos y su filtración en el suelo, así como el desarrollo de procesos biológicos no deseables. En realidad, la ausencia de adecuados revestimientos impermeables protectores debajo del vertedero ha provocado a menudo graves problemas de contaminación a los acuíferos subterráneos.

La solución tradicional de la incineración de los residuos sólidos es obviamente más cara, ya que implica la creación de sistemas de tratamiento de los gases escapados de la combustión y, si estos sistemas no se diseñan ni se gestionan de forma adecuada, se implica un riesgo considerable de contaminación atmosférica.

La creciente demanda de energía eléctrica, junto con la escasez de reservas de hidrocarburos, está dirigiendo a la comunidad internacional hacia la búsqueda de nuevas tecnologías que puedan producir energía eléctrica a partir de fuentes no convencionales y de las llamadas "renovables". Entre estas, también hay residuos, por su característica de ser un material que se produce continuamente y cuyo único destino posible (aparte de la reivindicación de algunos componentes reciclables) es su eliminación final. También se debe tener en cuenta que la legislación medioambiental más reciente prevé que los residuos ya no se puedan desechar directamente en los lugares de eliminación de residuos, sin someterse a un tratamiento de antemano.

En vista de lo anterior, es evidente que el uso de residuos como combustible en plantas dedicadas, al reducir el uso de combustibles tradicionales tales como petróleo, gas natural, aceites combustibles o carbón, y minimizar el uso de vertederos, es una elección extremadamente conveniente, tanto en lo que respecta a la protección ambiental como en lo que respecta al ahorro de energía.

Actualmente hay dos tipos conocidos de plantas convencionales de "valorización energética de residuos" para la producción de energía a partir de residuos. Un tipo es la planta de "termovalorización", que consiste en instalaciones de incineración en las que hay una recuperación del calor emitido a partir de la quema de los residuos para activar generadores de vapor, con producción de electricidad a través de turbinas de vapor. El otro tipo, conocido como una planta de "gasificación", también se alimenta con el combustible derivado de residuos producidos en estructuras dedicadas; aquí, sin embargo, el combustible no se quema, sino que se convierte en un combustible de alimentación gaseoso que puede producir energía o ser la base para la síntesis química. En ambos casos, los procesos – en las disposiciones de las plantas actuales – todavía generan productos de desecho que son, en promedio, el 50 % del peso de los residuos tratados.

Junto a ellas hay una creciente consideración del proceso de tratamiento de residuos sólidos, normalmente llamado por "pirólisis", que, en sus líneas generales, incluye una fase de pre-tratamiento de residuos seguida por una fase de pirólisis de residuos que se lleva a cabo en un reactor, con tiempos y condiciones de temperatura adecuados, lo que resulta en la producción de un flujo gaseoso (gas de pirólisis) y un residuo sólido (coque de pirólisis). En las condiciones de reacción los diversos componentes de los residuos pierden agua, se despolimerizan y se descomponen, lo que da lugar a productos de peso molecular cada vez más bajo, con la evolución de los productos volátiles y gaseosos y a un residuo sólido enriquecido en material carbonoso. Además de la composición de los productos de desecho de partida, la composición del gas de pirólisis y el coque dependen del tipo de reactor en el que se lleva a cabo la pirólisis y de las condiciones de funcionamiento, y específicamente, del tiempo de reacción y de la temperatura.

Los procesos de pirólisis convencionales para residuos sólidos dan –como productos finales– un flujo gaseoso (gas de pirólisis), por una parte, a partir del que se recupera la energía de la misma forma que con otros procesos, y, por otra parte, un residuo sólido –coque de pirólisis– que se envía en su mayoría a la eliminación de residuos. Este último, que representa un promedio del 30% del peso de la alimentación de residuos sólidos de partida, se podría utilizar como combustible, por ejemplo en las centrales eléctricas de carbón, sólo si se mezcla en muy pequeñas

cantidades con respecto a la alimentación normal de carbón, ya que tiene un contenido de contaminantes (que incluye azufre, en particular) que es demasiado alto para quemarse en una estación eléctrica normal.

Para mejorar los rendimientos energéticos y reducir las cantidades de residuos que se van a eliminar más tarde, se han ideado diversas variantes del proceso de tratamiento de residuos sólidos convencionales por pirólisis, que se basan en combinaciones de pirólisis y combustión o de pirólisis y gasificación, con el fin de impulsar la recuperación de energía al máximo y de minimizar la cantidad de residuos sólidos obtenidos.

Una de estas variantes, desarrollada por Siemens KWU (pyrolysis-combustion process; K.J. Thomé-Kozmienski, Thermische Abfallbehandlung, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlín, 1994) para el tratamiento de residuos sólidos urbanos, combina una fase de pirólisis con una fase posterior de combustión a alta temperatura, tanto del residuo sólido como del flujo gaseoso obtenido por pirólisis, con el fin de eliminar prácticamente todo el residuo sólido. El proceso de pirólisis y combustión prevé una fase preliminar para triturar los residuos todos juntos, hasta alcanzar tamaños máximos de alrededor de 200mm. Posiblemente estos residuos se integran con lodos procedentes de sistemas de aguas residuales con el fin de regular la consistencia de la alimentación, y a continuación se trata todo en un reactor de tambor de pirólisis giratorio de tipo convencional, con la producción de un gas de pirólisis y un residuo sólido carbonoso, a partir del cual se separan los materiales recuperables, como metales ferrosos y residuos vítreos. Tanto el gas de pirólisis como el residuo carbonoso, desprovistos de los componentes metálicos y de vidrio, se unen y se queman en una cámara de combustión de alta temperatura para producir energía termoeléctrica a través de una caldera de vapor.

Otra de las variantes propuestas para el proceso convencional para el tratamiento de residuos sólidos por pirólisis, y llamada el "Proceso de termoselección" (F.J. Schweitzer ed., Thermoselect-Verfahren zur Ent- und Vergasung von Abfällen, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlín, 1994), combina un tratamiento de secado, pirólisis parcial y gasificación de los residuos sólidos, previamente compactados por medio de una prensa hidráulica, hasta aproximadamente el 10% de su volumen de partida, para un tratamiento de gasificación del producto sólido obtenido de la pirólisis, directamente a la salida del túnel de desgasificación y pirólisis. Este último no es un tambor giratorio, sino un canal que tiene una sección rectangular que termina al abrirse directamente dentro de un reactor de alta temperatura, cilíndrico con eje vertical, en el que se completa la pirólisis y en el que tiene lugar la gasificación del coque de pirólisis así obtenido. El gas de síntesis que se descarga desde la sección superior del reactor de alta temperatura constituye el producto deseado, que después de someterse a las operaciones necesarias de enfriamiento, la separación de las partículas sólidas arrastradas y el filtrado, se puede utilizar para producir energía o para la síntesis de productos gaseosos. Desde la sección inferior del reactor de gasificación a alta temperatura se descargan sólo los componentes minerales y metálicos en estado fundido.

Una tercera variante propuesta para un proceso convencional para el tratamiento de residuos sólidos en la que se combina una fase de pirólisis con una gasificación es el conocido como "Proceso de Noell" (J. Carl, P. Fritz eds., NOELL-Konversionsverfahren zur Verwertung und Entsorgung von Abfällen, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlín, 1994), en el que los residuos sólidos primero se rompen en fragmentos más pequeños de 50mm, posiblemente se someten a una fase de secado preliminar, y a continuación se alimentan a un reactor de pirólisis del tipo de tambor giratorio con el eje horizontal. Este último produce un sólido compuesto de coque de pirólisis que se purifica de materiales metálicos y luego se alimenta a un molino para molerse al tamaño adecuado necesario con el fin de componer –junto con el gas obtenido del tambor de pirólisis– una alimentación adecuada para un gasificador de lecho arrastrado de eje vertical. En este caso, también, el gas de pirólisis y el coque se reúnen de nuevo después de la pirólisis con el fin de someterse a la fase de gasificación, para así producir –después de las separaciones adecuadas de los gránulos fundidos– partículas sólidas arrastradas y condensadas, así como un gas de síntesis (syngas) que se va a utilizar para producir energía o para la síntesis de productos gaseosos.

El documento DE-196 08 093-A propone una variante en la que los residuos sólidos se trituran y secan preliminarmente antes de someterse a una etapa de pirólisis dentro de un reactor de tambor giratorio.

En los fundamentos de la técnica anterior, el objeto de la presente invención es, por tanto, proporcionar un proceso integrado para el tratamiento de residuos sólidos, en particular, pero no exclusivamente, para el tratamiento de estos residuos que habitualmente se recogen como residuos sólidos urbanos (RSU) a través de los servicios municipales específicos, cuyo procesado utiliza el proceso de pirólisis convencional en una forma mejorada, que lo combina adecuadamente con las operaciones de gasificación del residuo carbonoso obtenido de la pirólisis. El proceso pretende así reducir drásticamente las cantidades de residuos sólidos finales que deben enviarse al vertedero, en el caso de que estos residuos no se puedan utilizar convenientemente como material de alimentación que se mezcla en pequeñas cantidades con el carbón utilizado en las centrales eléctricas de carbón. Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar un proceso mejorado para el tratamiento de los residuos sólidos que, a pesar de que tienen una configuración simple y de que no requieren un tratamiento complejo, logre aumentar el rendimiento energético total del proceso en sí mismo, en particular aumentar la potencia calorífica del gas de pirólisis y por lo tanto del gas de síntesis (syngas) obtenido.

Con este fin, la presente invención propone adoptar dos variantes fundamentales a un proceso convencional para el tratamiento de residuos por pirólisis:

- un tratamiento más potenciado de los residuos entrantes, con una separación preliminar de estos residuos en tres fracciones específicas según el tipo y el tamaño de los residuos: la primera fracción, de menor tamaño y que contiene más humedad (que se compone principalmente de residuos orgánicos), que se somete por separado a una fase de secado preliminar;
- 5
- una fase adicional de recuperación de energía a partir del coque producido mediante el proceso de pirólisis, en el que tal fracción se somete a un tratamiento termoquímico de gasificación en reactores específicos de un tipo de tambor giratorio (es decir, de un tipo sustancialmente similar a los reactores en los que la fase previa de pirólisis se llevó a cabo), con la producción de una cantidad adicional de gas (syngas) que se añade más tarde el gas de pirólisis para la recuperación de energía.

10 Al funcionar según las propuestas de la presente invención, por un lado, se estandariza el contenido de humedad de los residuos al llevarlo a un valor medio del 25% al 30%, y por lo tanto se aumenta la energía de generación de calor del gas de pirólisis producida y, por el otro, se obtienen mayores rendimientos de calor y de electricidad en la planta, ya que el gas de síntesis producido por gasificación del coque de pirólisis se quema en la misma cámara de combustión proporcionada para el gas de pirólisis. Como ya se ha señalado, además de las ventajas en términos de

15 energía térmica, la planta que funciona según el procedimiento propuesto (llamada Waste Alternative Energy Recovery - o proceso WALTER) puede reducir considerablemente la producción de residuos del proceso –del 30% de las plantas de pirólisis que funcionan con los métodos tradicionales hasta un 10–15% asequible con una planta que funciona según el proceso propuesto.

20 Por lo tanto, la presente invención proporciona específicamente un procedimiento para el tratamiento, por pirólisis, de los residuos sólidos compuestos, al menos en parte, de los residuos sólidos urbanos, en el que los residuos que se van a tratar se someten a una etapa de pirólisis dentro de uno o más reactores de tambor giratorio, con la producción de un flujo de gas de pirólisis y un residuo sólido carbonoso esencialmente compuesto de coque de pirólisis, caracterizado por el hecho de que los mencionados residuos que se van a tratar se separan preliminarmente en al menos dos fracciones, la primera de las cuales, que contiene un tamaño de partícula más

25 pequeño y mayor humedad, se somete a una etapa de secado preliminar en uno o más secadores de tambor giratorio antes de ser alimentada – junto con las otras fracciones de residuos – a la mencionada etapa de pirólisis, y por el hecho de que el mencionado residuo sólido carbonoso obtenido de la etapa de pirólisis se somete además a una etapa de gasificación para recuperar una fracción adicional de gas de síntesis (syngas), que se añade posteriormente al mencionado flujo de gas de pirólisis para ser alimentado a una etapa de recuperación de energía mediante la producción de energía térmica, residuos sólidos de la mencionada etapa de gasificación que representan sustancialmente la materia de desecho final de todo el proceso.

30 Preferiblemente, los residuos que se van a tratar se separan preliminarmente en tres fracciones que incluyen, además de la mencionada primera fracción de menor tamaño de partícula y contenidos de humedad mayores, y una segunda fracción seca de tamaño de partícula más grande que la primera, también una tercera fracción, seca y de tamaño incluso más grueso que la segunda, que se somete a una etapa de trituración preliminar para homogeneizar su tamaño al de la mencionada segunda fracción antes de ser alimentada, junto con las otras fracciones de residuos, a la mencionada etapa de pirólisis.

35 La primera fracción de menor tamaño de partícula y contenidos de humedad mayores tiene un tamaño inferior a 80mm y una humedad inicial que oscila entre el 55% y el 60%, mientras que la humedad residual después de la mencionada etapa de secado preliminar es del 20% al 25%. Esta segunda fracción seca normalmente tiene un tamaño que oscila entre 80mm y 300mm, mientras que la tercera fracción seca de tamaño aún más grueso tiene un tamaño inicial superior a 300mm.

40 Según una realización preferida de la invención, el secado preliminar de la primera fracción de residuos se lleva a cabo utilizando, como fluido de calentamiento en los mencionados uno o más secadores de tambor giratorio, el vapor extraído en la mencionada etapa de producción de energía térmica.

45 También según la presente invención, la etapa de recuperación de energía con la producción de energía térmica se lleva a cabo al someter el mencionado flujo de gas de pirólisis y el mencionado flujo de gas de síntesis (syngas) a la combustión en el interior de una cámara de combustión, con producción de calor que se utiliza para calentar los tubos de una caldera de vapor. Los uno o más reactores de pirólisis de tambor giratorio según el proceso propuesto se calientan indirectamente mediante la circulación, fuera de cada uno de los mencionados tambores, de los gases extraídos de la mencionada cámara de combustión.

50 Preferiblemente, la etapa de gasificación antes mencionada para la recuperación de una fracción adicional de gas de síntesis, se lleva a cabo al alimentar los mencionados residuos sólidos carbonosos obtenidos de la etapa de pirólisis, después de eliminar cualquiera de los componentes ferrosos, en uno o más reactores de gasificación de tambor giratorio, con la producción de la mencionada fracción adicional de gas de síntesis como un producto gaseoso, y un residuo sólido adicional empobrecido en carbono como residuos finales del proceso.

55 Como ya se ha señalado, la cantidad de residuos sólidos obtenidos a partir de la operación de gasificación es del 10-15% del peso total del material de desecho inicial alimentado en el proceso. Considerado en términos

volumétricos, la cantidad de residuos sólidos obtenidos a partir del proceso es del 5–10% del volumen total del material de desecho inicial alimentado en el proceso.

Según un aspecto adicional de la misma, la presente invención proporciona una planta para el tratamiento, por pirólisis, de los residuos sólidos compuestos, al menos en parte, de los residuos sólidos urbanos según el proceso descrito en la reivindicación 2, que comprende los siguientes elementos principales interconectados:

- 5 A) una sección de almacenaje y recepción de residuos;
- B) una sección de pretratamiento de residuos que proporciona la separación de los residuos en tres fracciones de las cuales la primera, de menor tamaño de partícula y contenidos de humedad mayores, se alimenta en uno o más secadores de tambor giratorio, y la tercera, seca y de tamaño más grueso, se alimenta a una o más trituradoras;
- 10 C) una sección para la pirólisis de las tres fracciones de residuos procedentes de la sección de pre-tratamiento previa que vienen juntos, que comprende uno o más reactores de pirólisis de tambor giratorio, que producen un flujo de gas de pirólisis y un residuo sólido carbonoso;
- 15 D) una sección de gasificación para el residuo sólido carbonoso obtenido a partir de la sección anterior, que comprende uno o más reactores de gasificación de tambor giratorio, que producen un flujo de gas de síntesis y un residuo sólido que sustancialmente representa la materia de desecho final de todo el proceso;
- E) una sección de producción de energía térmica a partir del mencionado conjunto de flujos de gas de pirólisis y de gas de síntesis, que comprende una cámara de combustión para los mencionados gases;
- 20 F) una sección para el tratamiento y la evacuación del gas de escape con un cañón de chimenea anejo; y, preferiblemente,
- G) una sección de producción de energía eléctrica que funciona a partir de la mencionada energía térmica producida en la sección E), que comprende un generador de vapor que alimenta una turbina de vapor conectado a un generador de energía.

25 Como ya se ha señalado, la separación de residuos en tres fracciones se lleva a cabo preferiblemente al hacer pasar el material de desecho por una o más cribas giratorias. Aún según algunas de las soluciones de diseño preferidas, en ellas los secadores de tambor giratorio utilizan, como fluido de calentamiento, una parte del vapor extraído desde el mencionado generador de vapor, mientras que los reactores de pirólisis de tambor giratorio utilizan, como fluido de calentamiento, los gases calientes extraídos de la mencionada cámara de combustión.

30 Todavía según algunas soluciones de diseño específicas, en la planta según la presente invención, aguas abajo de cada reactor de pirólisis, a lo largo de la ruta del gas de pirólisis, se proporciona un separador electrostático (32) para pulverizar el mencionado gas de pirólisis.

Preferiblemente, los reactores de gasificación de tambor giratorio se alimentan con aire como agente de gasificación, que se alimenta a través de difusores de inyección controlados, como se hará más claro con referencia a los dibujos mencionados a continuación.

35 Entre los elementos más específicos de la planta según la presente invención, también hay una sección para el tratamiento del residuo sólido que representa la materia de desecho final del proceso, con una piscina de enfriamiento de residuos, proporcionada en la sección de gasificación de residuos sólidos carbonosos, una sección para eliminar los componentes ferrosos del residuo sólido carbonoso obtenido de la pirólisis, proporcionado en la sección de pirólisis, y, por último, un filtro de tela de tipo bolsa y un reactor seco para eliminar el mercurio y otros contaminantes mediante carbón activo y cal hidratada, proporcionados en la sección de tratamiento de gases de escape.

Las características específicas de la presente invención, así como sus ventajas y las modalidades de funcionamiento relativas, serán más evidentes con referencia a la descripción detallada presentada meramente a título de ejemplo a continuación, e ilustradas también en los dibujos adjuntos, en los que:

45 La Figura 1 es un diagrama de flujo con bloques funcionales que muestran una realización del proceso según la presente invención;

Las Figuras 2 y 3 en conjunto muestran las dos partes de un diagrama de proceso de una realización del proceso según la presente invención; y

50 Las Figuras 4 y 5 en conjunto muestran las dos partes de una disposición de la planta simplificada de una realización de la planta según la presente invención.

Como se ilustra esquemáticamente en el diagrama de bloques de la Figura 1, el proceso según la presente invención se diseña para el tratamiento de residuos sólidos que vienen, por ejemplo, de los servicios de recogida de

residuos urbanos, lo que se indica en el diagrama con el término general de RSU (residuos sólidos urbanos). A título de ejemplo, los residuos sólidos urbanos no diferenciados puede tener un valor térmico bajo (LHV, Low Heat Value) de 10.000 kcal/kg y la siguiente composición indicativa:

Componente	% en peso en la fracción seca
Elementos inertes	21,95
Carbono	41,25
Hidrógeno	5,48
Oxígeno	29,62
Nitrógeno	1,15
Azufre	0,17
Cloro	0,38
Agua	35 (en el RSU como tal)

5

El proceso de tratamiento según la presente invención, como se muestra en la Figura 1, permite transformar de manera eficiente, sin ninguna planta ni gestión de complejidad excesiva, el RSU introducido en los siguientes productos finales: los gases de escape que, después de la purificación adecuada, se desechan a través del cañón de la chimenea, una fracción de los metales que se recuperan y una fracción de residuos sólidos que tienen las características requeridas por la legislación Europea con el fin de desecharse de forma segura en los vertederos - estos residuos no superan el 10-15% del peso total de los residuos sólidos iniciales alimentados al proceso, y no son más del 5-10% de su volumen inicial.

10

La primera de las secciones innovadoras del proceso, todavía con referencia a la Figura 1, es la que contempla una operación de cribado inicial con el fin de dividir los RSU en tres fracciones, de las que la fracción con mayores contenidos de humedad y menor tamaño de partícula se alimenta a una etapa de secado, mientras que la fracción seca que tiene un tamaño más grande se somete a trituración. La Figura 1 también muestra que el fluido de calentamiento necesario para secar la primera fracción se obtiene a partir del extraído del generador de vapor (caldera) diseñado para la generación de energía eléctrica.

15

La segunda de las secciones innovadoras del proceso, con respecto a un proceso convencional para tratar los RSU por pirólisis, contempla un tratamiento adicional del coque procedentes de la pirólisis. Como se muestra esquemáticamente en la Figura 1, el coque de pirólisis se trata primero para recuperar el material de metal, particularmente metales ferrosos, y a continuación se envía a una zona de almacenamiento, de la que se toma con el fin de someterlo a un tratamiento adicional de gasificación (en la unidad de recuperación de carbón -CRU, Coal Recovery Unit). Esta operación adicional, llevada a cabo con aire como fluido de gasificación, produce el residuo final, que se puede enviar a un vertedero para su eliminación, y una cantidad adicional de gas útil para la producción de energía térmica (syngas), que se alimenta a la cámara de combustión junto con el gas de pirólisis.

20

25

El diagrama de la Figura 1 muestra además las operaciones de producción de energía térmica a partir de los dos gases alimentados a la cámara de combustión, la recirculación de una cantidad de gases calientes de la cámara de combustión para calentar indirectamente el reactor de pirólisis, la producción de electricidad a partir de la energía térmica obtenida en la cámara de combustión y el tratamiento de los gases de escape de la combustión obtenidos como los gases de escape después de suministrar la energía térmica a la sección del generador de energía.

30

Con referencia a las Figuras 2 y 3, la planta para llevar a cabo el procedimiento según la presente invención incluye un tanque o pozo (1) para recepcionar, almacenar y manipular los residuos. El pozo de almacenamiento (1) es, como se utiliza en general, un único espacio sin particiones internas con el fin de facilitar la mezcla de los residuos y por lo tanto maximizar la uniformidad de las características de la energía de la alimentación. Esto permite maximizar los rendimientos de recuperación de la energía mientras, al mismo tiempo, optimizar las emisiones a la atmósfera.

35

Los residuos en el pozo de almacenamiento (1) se mezclan y se distribuyen por medio de un puente grúa (2), y a continuación se toman y se transportan a la tolva (3) de la criba giratoria (4) con el fin de separar los residuos en tres clases de tamaño de partículas diferentes. La grúa (2) se completa con un cubo con gancho de agarre, una estación de control, rieles, un panel de control eléctrico y el sistema de suministro de energía eléctrica de tipo colgante.

40

Las cribas giratorias (4) se equipan con dos rejillas consecutivas de diferentes tamaños que permiten la separación de los siguientes flujos de materiales:

- una fracción húmeda ( $\phi < 80\text{mm}$ ) compuesta en su mayoría de sustancias orgánicas gruesas;
- una fracción seca ( $80\text{mm} < \phi < 300\text{mm}$ ) principalmente compuesta de materiales de valor calorífico medio-alto (plásticos, trapos, cauchos, etc.);
- una fracción seca ( $\phi > 300\text{mm}$ ) principalmente compuesta de materiales de valor calorífico alto (papel, plásticos, trapos, cauchos, etc.) de mayor tamaño.

La fracción orgánica húmeda (contenido de  $\text{H}_2\text{O} \approx 55\text{-}60\%$ ) se separa en la primera parte de la criba giratoria (4) al pasar a través de malla de 80mm y se alimenta entonces, por medio de las cintas transportadoras (5), a una de las secciones fundamentales de la planta, la sección de secado del componente orgánico. Por medio de un tambor de secado (6) que gira en un plano horizontal (o, más bien, inclinado unos pocos grados para permitir que el material se mueva hacia delante hacia el extremo de salida durante el giro), es posible secar el material entrante y obtener un material que sale que presenta un nivel de humedad cercano al 20%. El vapor necesario para calentar el tambor de secado (6) se extrae del circuito de alimentación de la turbina de vapor (36) para la producción de energía eléctrica.

Como ya se ha señalado, al funcionar de esta manera, con solo la fracción orgánica, es posible reducir una gran cantidad de humedad, con dos ventajas fundamentales:

1. un aumento de la capacidad de carga de la planta (la cantidad de residuos alimentados al tambor de pirólisis (14) es menor en comparación con los residuos tratados por la planta);
2. un aumento en las características cualitativas del gas de pirólisis producido (ya que el gas contiene cantidades menores de vapor de agua, se obtiene un valor de calorífico superior, con indudables ventajas para la producción de electricidad y, por lo tanto, sobre el rendimiento de la potencia eléctrica de toda la planta).

La fracción orgánica secada (7) se mezcla con la fracción seca (8), que tiene un diámetro máximo inferior a 300mm. En cambio, la fracción seca más gruesa con un diámetro de más de 300mm, se aplasta en una sección de trituración específica (9) con el fin de reducir el tamaño máximo del material a 300mm. Esta operación es necesaria para estandarizar el tamaño del material que entra en el tambor de pirólisis (14) con el fin de aumentar su superficie específica para un mejor rendimiento del proceso de pirólisis.

Las tres fracciones reunidas, en adelante denominadas "materia prima" (10), que tiene un contenido uniforme de humedad del 20-25%, se envían al pozo de almacenamiento de materia prima (11), en el que se mezclan por medio de un puente grúa (12). A continuación, se toman y se introducen en la tolva de alimentación (13) del tambor de pirólisis (14). Al mismo tiempo, por medio de una bomba de dosificación (15), se alimentan al proceso 8 kg de hidróxido de calcio por tonelada de residuos que entran al tambor de pirólisis (14) con el fin de desencadenar reacciones que neutralicen los gases ácidos en el interior del tambor de pirólisis (14). Este último gira dentro de un cilindro refractario diseñado especialmente y se calienta indirectamente mediante los gases calientes de combustión (16) (a  $1.200^\circ\text{C}$ ), extraídos de las tuberías que conectan la cámara de combustión (31) a la caldera del generador de vapor (34) por medio de válvulas reguladas automáticamente. Gracias al sistema de calentamiento externo, la sección interna del tambor de pirólisis (14) alcanza temperaturas en la región de  $470\text{-}500^\circ\text{C}$ .

Además, como ya se ha señalado, el tambor de pirólisis (14) funciona en ausencia de oxígeno –una condición de funcionamiento que se consigue por medio de una ligera depresión aplicada al tambor en sí (de alrededor de 100 Pa, o 10mmHg). En estas condiciones de funcionamiento, el material orgánico se descompone y se gasifica, lo que forma un gas combustible real –el gas de pirólisis (17)– que se extrae por medio de conductos conectados a ventiladores de succión totalmente automatizados situados antes del cañón de la chimenea de la planta (no mostrado), y también de un residuo sólido –el coque de pirólisis (18)– que se extrae de la parte inferior del reactor (14) gracias a los tornillos sin fin (19) diseñados especialmente.

Una vez purificado en una sección de desferrización específica (20) para eliminar la fracción ferrosa, el coque se envía a continuación al pozo de almacenamiento (22) de la sección de recuperación de coque, por medio de las cintas transportadoras (21). Aquí, también, gracias al puente grúa (23), el coque se toma y se envía a través de la tolva de alimentación (24) a un reactor de tambor giratorio (25) llamado unidad de recuperación de carbón (CRU), que lleva a cabo una fase de gasificación ( conversión termoquímica) del coque de pirólisis.

Al igual que la sección de secado de la fracción orgánica, también la sección de conversión termoquímica del carbón es una parte fundamental del plan –que es innovadora desde el punto de vista del proceso con respecto a los esquemas de trabajo de las plantas de pirólisis de residuos sólidos convencionales. Con la sección adicional para recuperar el coque producido mediante el proceso de pirólisis, la cantidad total de residuos generados por el proceso en su conjunto es de alrededor del 10–15% del peso inicial de la materia de desecho introducida en el proceso, y el volumen de estos residuos es de aproximadamente el 5–10% del volumen de partida de los residuos sólidos.

El tambor de gasificación (25) tiene una longitud de unos veinte metros y un diámetro de aproximadamente 2,5 m. El aire necesario para activar las reacciones de conversión termoquímicas se proporciona mediante difusores de inyección (26) controlados, que regulan el aire de entrada según la relación estequiométrica fija –en el caso

examinado esta relación es inferior a la teóricamente requerida para la oxidación completa de las sustancias orgánicas presentes en el material entrante. Se consigue alcanzar la temperatura de 800°C necesaria para la activación de las reacciones del material de desecho de alimentación mediante reacciones de combustión parcial del gas producido, sin recurrir a sistemas de calentamiento auxiliares.

5 El gas de síntesis (27) producido por el proceso de gasificación del coque tiene una composición similar a los gases generados en el tambor de pirólisis (14), con, sin embargo, una mayor cantidad de monóxido de carbono e hidrógeno. El proceso de gasificación de coque opera a contracorriente con el fin de asegurar un contacto más estrecho entre el coque y el aire con el fin de maximizar el rendimiento del gas producido y también para minimizar el contenido de carbono en el residuo producido. Este residuo (28) se descarga en la piscina (29) de enfriamiento de  
10 residuos colocada en el pie del reactor de gasificación y se enfría aquí mediante el agua.

El gas de síntesis (27) producido se extrae mediante succión controlada a través de un ventilador y se hace pasar a través de una sección de tratamiento (30). Se envía a continuación a través de conductos en la cámara de combustión (31), en la que se quema con el gas (17) producido mediante el proceso de pirólisis, pulverizado de forma adecuada mediante los separadores electrostáticos (32). El aire necesario para la combustión completa del gas introducido (17 y 27) se proporciona mediante un ventilador (33) de aire de combustión.  
15

Aguas abajo de la cámara de combustión (31), se retira una parte de los gases calientes, como ya se ha señalado, para calentar el tambor de pirólisis (14). A continuación, estos gases se vuelven a introducir en los tubos que conducen al generador de vapor (34) para la producción de vapor. Los gases que salen de la cámara de combustión (31) entran en el generador de vapor (34) con el fin de producir vapor (Generador de Vapor para Recuperar Calor – la sección HRSG (Heat Recovery Steam Generator)). El generador de vapor (34) es del tipo de etapas múltiples con producción de vapor sobrecalentado.  
20

Los gases que salen del generador de vapor (34) se enfrían con el fin de alcanzar una temperatura adecuada para ser enviados a la sección (35) de purificación del gas de escape.

El vapor producido mediante el generador (34) de vapor alimenta la turbina de vapor (36) conectada a un turbogenerador para la producción de energía eléctrica.  
25

Las Figuras 4 y 5 muestran un plano de una planta según la presente invención, que se desarrolla fundamentalmente a través de los mismos elementos ya ilustrados en las Figuras 2 y 3 (y en el que los elementos correspondientes a los de las Figuras 2 y 3 se dan los números de referencia correspondientes), pero en el que – debido a la capacidad de la planta– hay dos cribas giratorias (4), dos tambores de secado (6), cuatro tambores de pirólisis (14), dos reactores de tambor giratorio (25) para la gasificación del coque de pirólisis, dos cámaras de combustión (31) con los respectivos generadores (34) de vapor y las respectivas secciones (35) de depuración de humos. En realidad, la planta considerada en las Figuras 4 y 5 se desarrolla en dos líneas de pirólisis, una línea para el tratamiento de los gases de escape y un grupo de generadores de energía, y se diseña para una capacidad de tratamiento de aproximadamente 120.000 toneladas de residuos sólidos por año. La capacidad de tratamiento de la planta es de 385 toneladas de residuos sólidos urbanos al día, y el área disponible para la planta –se muestra junto con todos los detalles de la construcción en las Figuras 4 y 5– es extremadamente compacta, ocupando sólo 2 hectáreas.  
30  
35

La planta cuenta con diferentes estaciones de entrada de residuos (37 y 38), una de las cuales (38) se diseña para recibir los residuos de tipo industrial. En este caso, el tratamiento posterior implica sólo una sección de trituración (9), pero no requiere, obviamente, una sección de secado para la fracción orgánica, como en el caso de los residuos sólidos urbanos. El residuo seco de origen industrial se almacena a continuación en el mismo tanque o pozo (11) que recibe la fracción seca del residuo de los residuos sólidos urbanos, después de cribarse y triturarse.  
40

Sin repetir la descripción de los elementos correspondientes ya ilustrados con referencia a las Figuras 2 y 3, hay que señalar que en este caso el diagrama de la planta muestra –en la sección (39) de producción de electricidad– la habitación que aloja la turbina de vapor (36 en la Figura 3) junto con el generador de energía y todos los demás equipos de la planta conectados a la producción de electricidad.  
45

Finalmente, la Figura 5 también muestra la sección de tratamiento de gases de escape que se mostraba genéricamente en (35) en la Figura 3. En este caso, se observará que los gases de escape procedentes de dos cámaras de combustión (31), después de desprender calor en los dos generadores de vapor (34), pasan a la sección (40) de tratamiento de gases de escape que, debido al efecto del hidróxido de calcio introducido inmediatamente aguas arriba de la operación de pirólisis, puede simplificarse extremadamente. De hecho, esta disposición reduce en gran medida los componentes ácidos, tales como el cloruro de hidrógeno, el ácido sulfúrico y el ácido fluorhídrico, que reaccionan en el interior del tambor y se descargan junto con el coque en la piscina de enfriamiento de residuos. Como resultado, cada sección (40) de tratamiento de gases de escape sólo se compone de un reactor seco para la eliminación de mercurio y otros contaminantes por medio de carbón activo y cal hidratada, así como de un filtro de tela de tipo bolsa (no mostrado). El filtro captura los polvos formados en el proceso de  
50  
55

adsorción, las sales formadas en las reacciones de neutralización y el material en partículas ya presente en los gases de combustión.

5 La función de aspiración inducida del sistema se lleva a cabo mediante dos ventiladores de centrifugación (41) de una sola etapa adecuados para el trabajo continuo de alta resistencia y para la instalación al aire libre en ambientes polvorientos. Aguas abajo de los ventiladores (41) a lo largo de la ruta del gas de escape hay un cañón de chimenea (42).

10 Como ya se ha destacado en repetidas ocasiones, las modificaciones de la planta y el proceso realizados en el proceso de tratamiento de residuos sólidos mediante pirólisis convencional pueden reducir drásticamente la cantidad de materia de desecho final producida por el proceso. Este residuo final no sólo es mucho menor que el 50% visto con instalaciones tradicionales "de valorización energética de residuos", sino que también es esencialmente menor que el 30% de media alcanzado por las plantas de pirólisis convencionales actualmente en funcionamiento.

15 Por otra parte, el proceso y la respectiva planta propuesta según la presente invención todavía permiten mantener la ventaja indiscutible de la pirólisis con respecto a las plantas tradicionales "de valorización energética de residuos", que consiste en la posibilidad de una alimentación de múltiples materiales que actualmente es imposible termovalorizar y, sobre todo, para las plantas de gasificación convencionales, en las que la calidad del gas y por lo tanto la eficiencia del proceso es extremadamente variable en función de las variaciones del combustible que entra. El proceso de pirólisis, en cambio, absorbe perfectamente todas las variaciones del material entrante y cualesquiera de los posibles cambios no afectan el rendimiento del proceso en sí.

20 La presente invención se ha descrito con referencia especial a algunas realizaciones específicas de la misma, pero se debe entender que se pueden hacer modificaciones y cambios por los expertos en la técnica sin apartarse del alcance de la invención, como se define en las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para el tratamiento, por pirólisis, de los residuos sólidos compuestos por, al menos en parte, los residuos sólidos urbanos, en el que los residuos que se van a tratar se someten a una etapa de pirólisis dentro de uno o más reactores (14) de tambor giratorio, con la producción de un flujo de gas de pirólisis (17) y un residuo sólido carbonoso (18) esencialmente compuesto de coque de pirólisis, caracterizado por el hecho de que los mencionados residuos que se van a tratar se separan de forma preliminar en al menos dos fracciones, la primera de las cuales, de tamaño de partícula más pequeño y contenidos de humedad mayores, se somete a una etapa de secado preliminar en uno o más secadores (6) de tambor giratorio antes de ser alimentada –junto con las otras fracciones de residuos (10)– a la mencionada etapa de pirólisis, y por el hecho de que los mencionados residuos sólidos carbonosos (18) obtenidos de la etapa de pirólisis se someten además a una etapa de gasificación (25) para recuperar una fracción adicional (27) de gas de síntesis, que se añade posteriormente al mencionado flujo de gas de pirólisis (17) para ser alimentados a una etapa de recuperación de energía con la producción de energía térmica, representando sustancialmente el residuo sólido (29) de la mencionada etapa de gasificación la materia de desecho final de todo el proceso.
2. Un proceso según la reivindicación 1, en el que los mencionados residuos (1) que se van a tratar se separan de forma preliminar en tres fracciones que incluyen, además de la mencionada primera fracción de tamaño de partícula más pequeño y contenidos de humedad mayores, una segunda fracción seca (8) de tamaño de partícula más grande que la primera, y también una tercera fracción, seca y de tamaño incluso más grueso que la segunda, que se someten a una etapa preliminar (9) de trituración para homogeneizar su tamaño al de la mencionada segunda fracción, antes de ser alimentada, junto con las otras fracciones de residuos, a la mencionada etapa (14) de pirólisis.
3. Un proceso según las reivindicaciones 1 o 2, en el que la mencionada primera fracción de tamaño de partícula más pequeño y contenidos de humedad mayores tiene un tamaño inferior a 80mm y una humedad inicial que oscila entre el 55% y el 60%, mientras que la humedad residual después de la mencionada etapa preliminar (6) de secado es del 20–25%
4. Un proceso según la reivindicación 2, en el que la mencionada segunda fracción seca (8) tiene un tamaño que oscila entre 80mm y 300mm y en el que la mencionada tercera fracción seca de tamaño incluso más grueso tiene un tamaño de partida superior a 300mm.
5. Un proceso según la reivindicación 1, en el que el mencionado secado preliminar de la primera fracción de residuos en los mencionados uno o más secadores (6) de tambor giratorio se lleva a cabo al utilizar, como fluido de calentamiento, el vapor extraído en la mencionada etapa de producción de energía térmica.
6. Un proceso según una cualquiera de las reivindicaciones 1–5, en el que la mencionada etapa de recuperación de energía con la producción de energía térmica se lleva a cabo al someter el mencionado flujo (17) de gas de pirólisis y el mencionado flujo (27) de gas de síntesis a la combustión dentro de una cámara (31) de combustión, con la producción de calor que se utiliza para calentar los tubos de una caldera (34) de vapor.
7. Un proceso según la reivindicación 6, en el que los mencionados uno o más reactores de pirólisis (14) de tambor giratorio se calientan indirectamente al circular, por el exterior de cada uno de los mencionados tambores giratorios, los gases extraídos de la mencionada cámara de combustión (31).
8. Un proceso según una cualquiera de las reivindicaciones anteriormente mencionadas, en el que la mencionada etapa de gasificación para recuperar una fracción adicional (27) de gas de síntesis se lleva a cabo mediante la alimentación de los mencionados residuos sólidos carbonosos obtenidos de la etapa de pirólisis, después de eliminar cualquiera de los componentes ferrosos (20), en uno o más reactores de gasificación (25) de tambor giratorio, con la producción de la mencionada fracción adicional (27) de gas de síntesis como un producto gaseoso y un residuo sólido (28) más empobrecido en carbono, como los residuos finales del proceso.
9. Un proceso según la reivindicación 8, en el que la cantidad del mencionado residuo sólido (28, 29) obtenido de la operación de gasificación es del 10–15% del total del peso del material de desecho inicial alimentado al proceso.
10. Un proceso según la reivindicación 8, en el que el volumen del mencionado residuo sólido (28, 29) obtenido de la operación de gasificación es del 5–10% del total del volumen del material de desecho inicial alimentado al proceso.
11. Una planta para el tratamiento, por pirólisis, de los residuos sólidos compuestos, al menos en parte, de residuos sólidos urbanos según el proceso descrito en la reivindicación 2, que comprende los siguientes elementos principales interconectados:

- 5
- A) una sección de recepción y almacenaje de residuos (37, 38, 1);
- B) una sección de pretratamiento de residuos (4–10) que se proporciona para separar los residuos en tres fracciones de las cuales la primera, de menor tamaño de partícula y contenidos en humedad mayores, se alimenta a uno o más de los secadores (6) de tambor giratorio, y la tercera, seca y de tamaño más grueso, que se alimenta a uno o más de los trituradores (9);
- 10
- C) una sección para la pirólisis (14–18) de las tres fracciones (10) de residuos que llegan de la sección previa de tratamiento y que se reúnen, que comprende uno o más reactores de pirólisis (14) de tambor giratorio, que producen un flujo (17) de gas de pirólisis y un residuo sólido carbonoso (18);
- D) una sección de gasificación (25–28) para el residuo sólido carbonoso (18, 22) obtenido de la sección previa, que comprende uno o más reactores de gasificación (25) de tambor giratorio, que produce un flujo (27) de gas de síntesis y un residuo sólido (28) que substancialmente representa la materia de desecho final (29) de todo el proceso;
- 15
- E) una sección de producción de energía térmica a partir del conjunto de los mencionados flujos de gas de pirólisis (17) y de gas de síntesis (27), que comprende una cámara de combustión (31) para los mencionados gases;
- F) una sección para el tratamiento y la evacuación de los gases de escape (35, 40) con un cañón de chimenea anejo (42).
12. Una planta según la reivindicación 11, que comprende el siguiente elemento adicional:
- 20
- G) una sección de producción de energía eléctrica (34, 36, 39) a partir de la mencionada energía térmica producida en la sección E, que comprende un generador de vapor (34) que alimenta una turbina de vapor (36) conectada a un generador de energía.
13. Una planta según las reivindicaciones 11 o 12, en la que la mencionada separación de residuos en tres fracciones se lleva a cabo al pasar el material de desecho por una o más cribas giratorias (4).
- 25
14. Una planta según la reivindicación 12, en la que las mencionadas secadoras (6) de tambor giratorio utilizan, como fluido de calentamiento, vapor extraído del mencionado generador de vapor (34).
15. Una planta según una cualquiera de las reivindicaciones 11–14, en la que los mencionados uno o más reactores de pirólisis (14) de tambor giratorio utilizan, como fluido de calentamiento, los gases calientes extraídos de la mencionada cámara de combustión (31).
- 30
16. Una planta según una cualquiera de las reivindicaciones 11–15, en la que aguas abajo de cada uno de los mencionados reactores de pirólisis (14), a lo largo de la ruta del gas de pirólisis, se proporciona un separador electrostático (32) para pulverizar el mencionado gas de pirólisis (17).
- 35
17. Una planta según cada una de las reivindicaciones 11–16, en la que los mencionados uno o más reactores de gasificación (25) de tambor giratorio se alimentan con aire como agente de gasificación, que se alimenta a través de difusores de inyección controlados (26).
18. Una planta según una cualquiera de las reivindicaciones 11–17, en la que la mencionada sección de gasificación para el residuo sólido carbonoso también comprende una sección de tratamiento (28) para el residuo sólido que representa la materia de desecho final del proceso, con una piscina de enfriamiento (29) para los mencionados residuos.
- 40
19. Una planta según una cualquiera de las reivindicaciones 11–18, en la que la mencionada sección de pirólisis también incluye una sección (20) para eliminar los componentes ferrosos del residuo sólido carbonoso (18) obtenido de la pirólisis.
- 45
20. Una planta según una cualquiera de las reivindicaciones 11–19, en la que la mencionada sección de tratamiento (35, 40) del gas de escape comprende un filtro de tela de tipo bolsa y un reactor seco para eliminar el mercurio y otros contaminantes mediante carbón activo y cal hidratada.



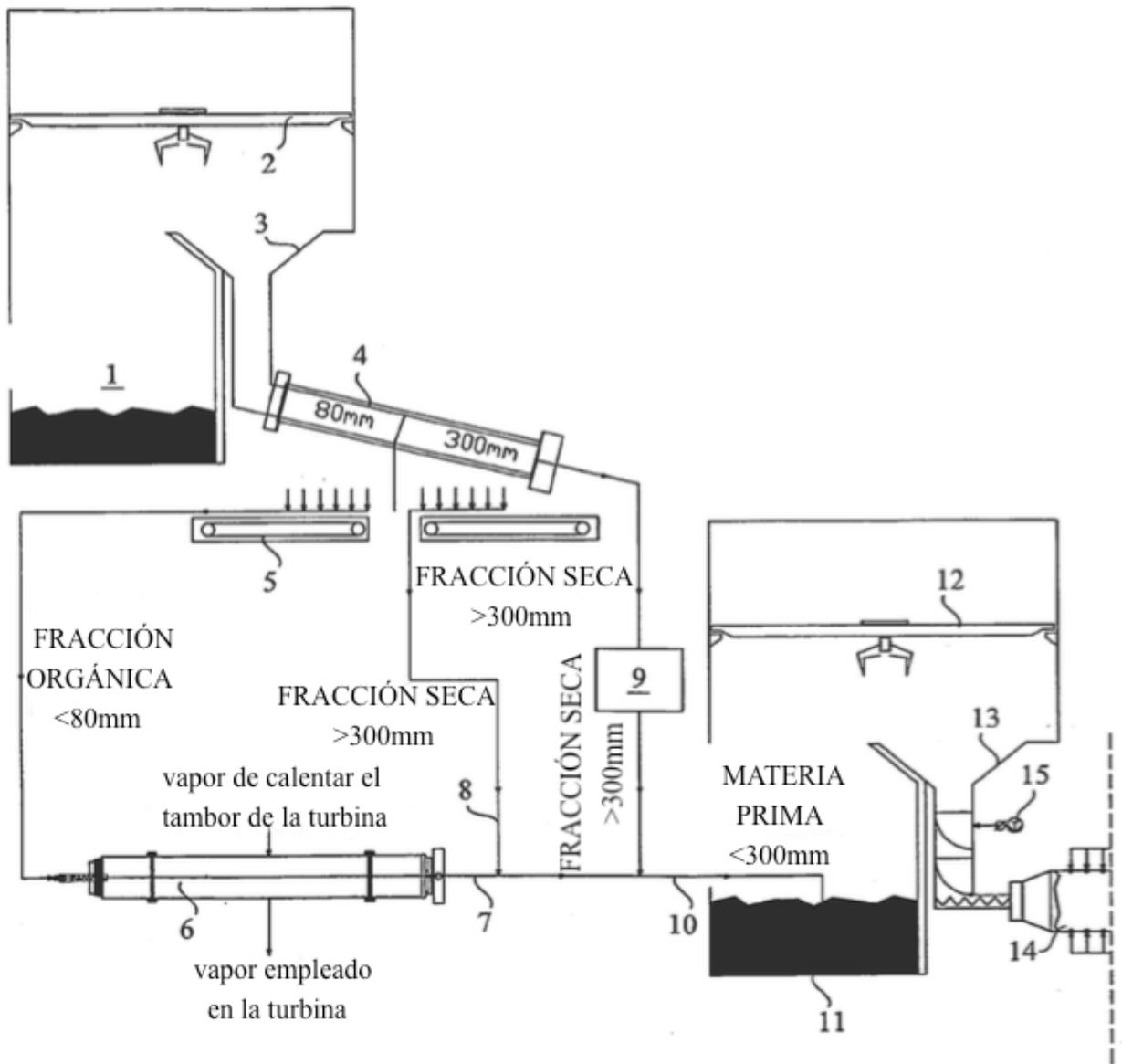


Fig. 2



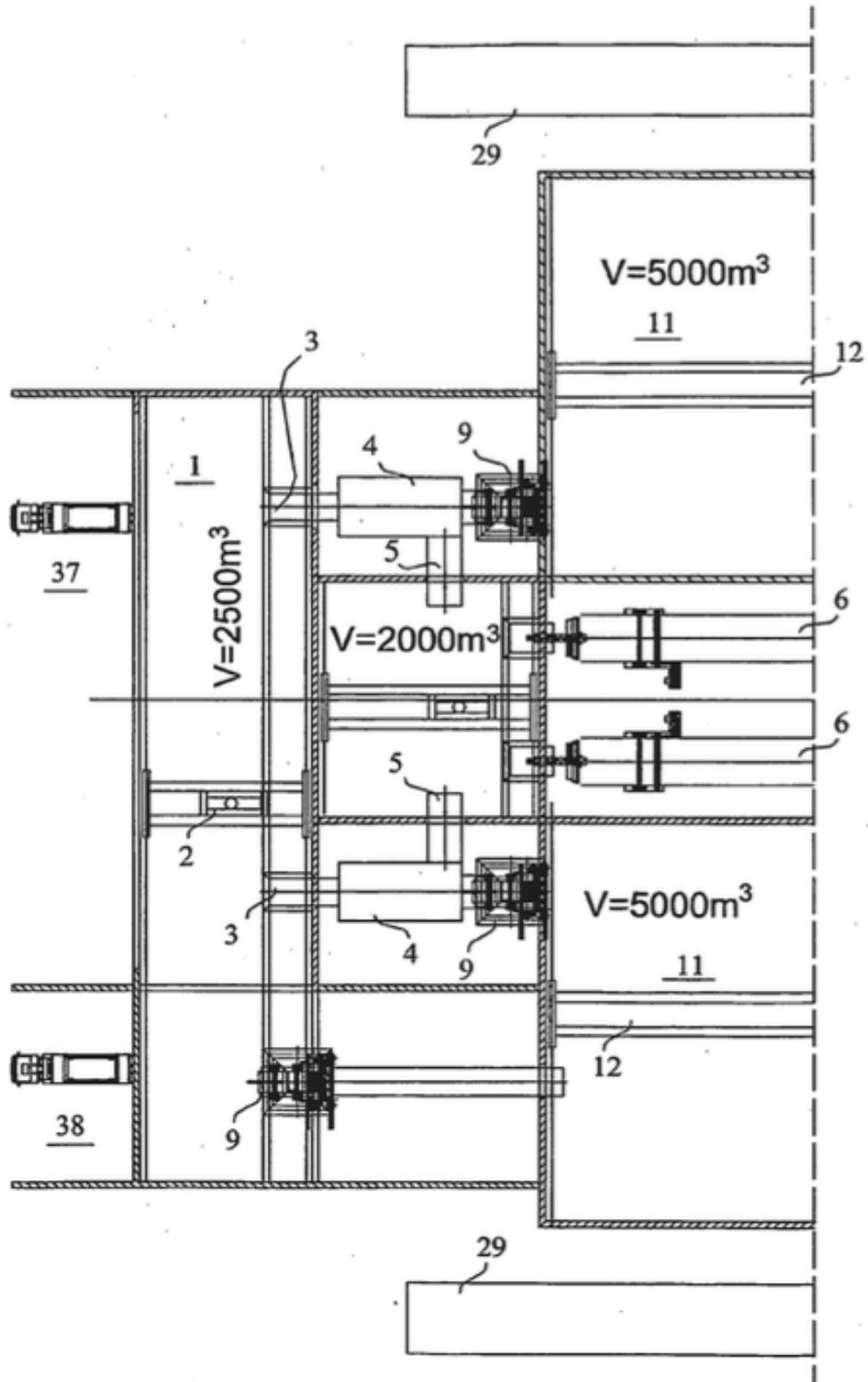


Fig. 4

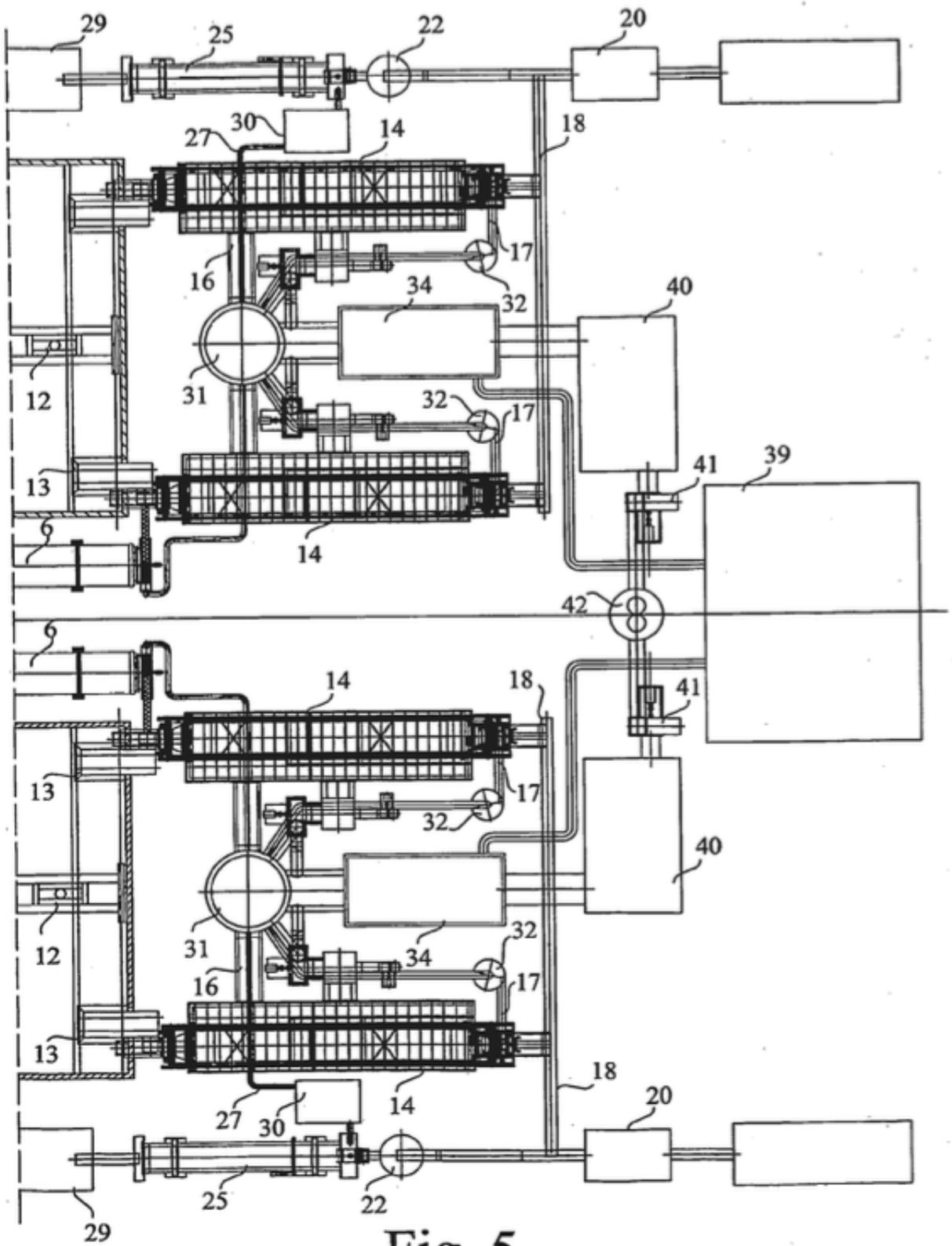


Fig. 5