

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 653 447**

51 Int. Cl.:

C10B 19/00 (2006.01)
C10B 53/07 (2006.01)
C10K 1/04 (2006.01)
C10K 1/00 (2006.01)
F28F 19/00 (2006.01)
F28G 3/00 (2006.01)
B08B 9/023 (2006.01)
C09C 1/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.05.2014 PCT/EP2014/059939**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **20.11.2014 WO14184290**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.05.2014 E 14731161 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2017 EP 2997110**

54 Título: **Procedimiento y sistema para procesar residuos plásticos**

30 Prioridad:

16.05.2013 PL 40391613

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.02.2018

73 Titular/es:

**MTT TECHNOLOGIES GMBH (100.0%)
Mühlestrasse 12
3173 Oberwagen b. Bern, CH**

72 Inventor/es:

**BARCZYK, ROBERT y
PAROSA, RYSZARD**

74 Agente/Representante:

CONTRERAS PÉREZ, Yahel

ES 2 653 447 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

Procedimiento y sistema para procesar residuos plásticos

5 **CAMPO TÉCNICO**

Esta descripción se refiere al procesamiento de residuos y a la recuperación de energía, en particular residuos plásticos, tales como elementos de restos de automóviles.

10 **ANTECEDENTES**

Los desechos de restos de automóviles son particularmente difíciles de reciclar debido a la variedad de materiales plásticos que contienen, tales como elementos de plástico duros, caucho, espumas o sistemas de cables. Además, estos elementos pueden incluir compuestos macromoleculares, es decir, polímeros de hidrocarburos, tales como: polietileno, polipropileno, polímeros que contienen halógenos, es decir, poli (cloruro de vinilo), policloropreno politetrafluoroetileno, polímeros que contienen oxígeno tales como poli (tereftalato de etileno), poli (metacrilato de metilo) polioximetileno; polímeros que contienen nitrógeno del grupo de poliuretanos, poliamidas o polímeros que contienen azufre, es decir, cauchos vulcanizados.

20 Se conocen varios procedimientos de incineración de desechos, incluyendo los más populares, la pirólisis y la gasificación. En estos procesos, los desechos se precalientan mediante unos diafragmas a través de las paredes de reactor, donde se utilizan los desechos. Los desechos se convierten en gaseosos o en forma de aceite. Sin embargo, estos procesos generan una cantidad considerable de subproductos, tales como hollín, que son problemáticos para un posterior reciclado.

25 Los desechos pueden utilizarse por un proceso de pirólisis. La pirólisis implica la descomposición térmica de materia orgánica en una atmósfera anaeróbica o en un nivel reducido de oxígeno. La pirólisis a alta temperatura, en el rango de temperatura de reacción de entre 500 °C y 1600 °C (que es más elevada que en la pirólisis a baja temperatura), permite la descomposición térmica de los polímeros de carbono contenidos en los desechos para generar gas de síntesis.

35 Otro proceso conocido es la gasificación de residuos, en el cual se utiliza oxígeno puro en la última etapa del proceso, lo que permite alcanzar la temperatura de reacción, donde los residuos pueden quemarse por completo. En ese proceso, el aire, el oxígeno y el vapor de agua pueden utilizarse para obtener una oxidación parcial. La gasificación puede llevarse a cabo en reactores de diversos tipos, tales como hornos rotativos, calderas de lecho fluidizado o calderas con lecho móvil o circulante.

40 Los procedimientos de pirólisis convencionales, que implican calentar el material a través de las paredes de una cámara de procesamiento presentan una serie de inconvenientes que limitan su ámbito de aplicación. La temperatura de las paredes de la cámara de procesamiento es la más alta de la cámara y la que provoca que se asienten capas de hollín, polvo y alquitrán en las paredes, lo que reduce significativamente la transferencia de calor al material. La eficiencia de la transferencia de energía al material se reduce; la duración del proceso es prolongada y el proceso de pirólisis dentro de la cámara es desigual (la velocidad de degradación es diferente en las distintas zonas de la cámara de procesamiento). Además, se producen intensos procesos corrosivos, que reducen la vida útil del equipo. Además, es difícil controlar las condiciones de temperatura del proceso; por lo tanto, la calidad de los gases obtenidos a menudo es baja y varía durante el proceso.

50 También se conocen otros procedimientos de descomposición térmica de residuos de polímeros, incluido el uso de energía de microondas.

Una patente americana US5084140 describe un procedimiento para la destrucción de residuos macromoleculares, en el que el residuo (que, por sí mismo, no es susceptible de calentamiento por microondas y puede ser, por ejemplo, plástico o bifenilo policlorado) se mezcla con un material carbonoso pulverulento, que comprende carbono elemental o es degradable por irradiación de microondas a carbono elemental (como material de neumáticos de desecho). La mezcla se somete a irradiación de microondas en una atmósfera inerte para provocar la pirólisis de los plásticos. El carbón elemental pulverizado que forma lecho fluidizado se calienta con microondas a una temperatura de por lo menos 400 °C y los plásticos pulverizados se introducen en el lecho fluidizado, los cuales se someten a pirólisis en el lecho fluidizado mediante transferencia de calor a las partículas en polvo de los materiales plásticos utilizados. Los productos de pirólisis son esencialmente gases y fracciones de hidrocarburos líquidos que pueden utilizarse como fuente de energía, mientras que los hidrocarburos de fracción sólida formados como subproductos se vuelven a enviar al proceso de pirólisis.

Una solicitud de patente americana US20020189928 describe un proceso para la destrucción por microondas de agentes y desechos perjudiciales. El desecho se somete a un impacto de microondas en presencia de un catalizador, tal como carbón activado, hollín de carbón, carbón de leña o carburos metálicos y/o agua y gas, por ejemplo: aire. En el caso del uso de carbón activo como catalizador, el proceso se lleva a cabo en condiciones de temperatura próximas a la temperatura ambiente y a la presión atmosférica. Los desechos pueden eliminarse en forma de desechos sólidos, líquidos o gaseosos.

Una solicitud de patente americana US20040054240 describe una unidad de tratamiento de desechos médicos, en la que el material orgánico se somete a degradación del polímero en una instalación que comprende tres cámaras. En la primera cámara, el desecho se pesa y la primera cámara se mezcla con oxígeno. Después, el material orgánico se introduce en la segunda cámara, donde se esteriliza y despolimeriza de manera no pirolítica bajo el efecto de microondas en una atmósfera anaeróbica, mientras que los gases producidos en el proceso se purifican en un depurador. Después de ello, el material utilizado se enfría y se muele en la tercera cámara en una forma en la que puede ser almacenado.

Una solicitud PCT WO2010/079408 describe un procedimiento y un sistema para refinar material metálico separado de neumáticos de desecho triturados por calentamiento y destilación de una parte de constituyentes no metálicos, en el que los fragmentos de material metálico que comprenden un 82-98% en masa de cable de acero se exponen en un espacio cerrado a radiación de microondas con una frecuencia de 890 MHz a 2450 MHz para alcanzar una temperatura de 100 a 700 °C del material metálico en la cual la fracción volátil de los constituyentes no metálicos se separa por destilación y separación por enfriamiento y condensación y los constituyentes sólidos que comprenden mezcla del cable de acero y el negro de carbón se enfrían y el cable de acero se aísla.

Existe la necesidad de proporcionar un procedimiento alternativo de procesamiento de residuos de plástico por pirólisis utilizando energía de microondas.

DESCRIPCIÓN

El objetivo de la presente invención es un procedimiento y un sistema para procesar residuos de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

El procedimiento y sistema para procesar residuos de plástico se muestra por medio de unas realizaciones de ejemplo en un dibujo, en el cual:

La figura 1 presenta un diagrama esquemático de una línea de proceso para procesar residuos plásticos;
La figura 2 presenta un aparato de enfriamiento de gas;
La figura 3 presenta una fotografía de residuo carbonoso.

DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES

La figura 1 es un diagrama esquemático de una línea de proceso para procesar residuos de plástico. Un material de lote (residuo de plástico) se pulveriza en una trituradora 101 para unificar su composición y se suministra a una cámara sellada de un reactor de microondas 102, que tiene un tambor con un revestimiento interior de cerámica. En el tambor del reactor 102, en una atmósfera de gases liberados en el proceso de gasificación y con una cantidad deficiente de oxígeno, el material se mueve dentro del tambor giratorio y se calienta por energía de microondas a una temperatura de entre 800 °C y 950 °C.

Durante la etapa de calentamiento, la energía de microondas se introduce en el material de desecho contenido en el tambor del reactor. Al absorber la energía de microondas electromagnéticas, el material se calienta. En la fase de calentamiento preliminar, cuando la temperatura está por debajo de 800 °C, el residuo de plástico se funde y se desgasifica para liberar fracciones de hidrocarburos líquidas y gaseosas. La energía de microondas permite la descomposición de los enlaces más débiles en las cadenas de macromoléculas, es decir, los puentes que contienen heteroátomos, que incluyen: puentes de oxígeno, nitrógeno, azufre y metileno que conducen inicialmente para formar radicales reactivos que, como resultado de reacciones posteriores, forman una fracción gaseosa estable que contiene hidrocarburos alifáticos C₁ - C₄ e hidrógeno y óxido de carbono en presencia de ambos polímeros y compuestos inorgánicos que contienen oxígeno en el material de desecho. Durante el calentamiento adicional a temperaturas superiores a 800 °C, se producen reacciones de polimerización y condensación en presencia de fracciones condensadas y macromoléculas, que forman un residuo carbonoso (producto de carbonización) e hidrocarburos gaseosos, que provocan que el residuo carbonoso sólido se hinche y se desarrolle una superficie porosa del residuo carbonoso. En la figura 3 se muestra una fotografía de ejemplo de residuo carbonoso obtenido en el proceso.

La formación de residuo carbonoso de una estructura porosa es el resultado de la energía de microondas que actúa sobre las partículas de residuo carbonoso formado y sobre el revestimiento cerámico del reactor, lo que evita la formación de escoria de las paredes del reactor. Las microondas son absorbidas por el residuo carbonoso formado, lo que provoca una liberación de gases en todo su volumen y el hinchamiento de la estructura del material calentado. La alta temperatura a la que se calienta el material en el reactor de microondas y el efecto de hinchamiento de las fracciones sólidas permite producir dentro de la cámara del reactor sólo residuo carbonoso en polvo y fracciones gaseosas. En la superficie del tambor 102 no se depositan fracciones líquidas o alquitranadas, lo cual es una ventaja significativa del procedimiento presentado. El residuo carbonoso (producto de carbonización) se recoge en un depósito 104. El residuo carbonoso obtenido como subproducto de la pirólisis de desechos constituye solo un pequeño porcentaje del total de residuos introducidos en el reactor (típicamente entre un 5% y un 15%, dependiendo de la composición de los desechos). Preferiblemente, una cuarta parte del residuo carbonoso del depósito 104 es dirigida, además, hacia un filtro de residuos carbonosos 105, que se utiliza para absorber hidrocarburos licuados en el aparato de enfriamiento de gas 103. La otra parte del residuo carbonoso, que tiene una estructura porosa compleja y unas características de adsorción, después de someterse a tratamientos adicionales, puede utilizarse en un horno que tiene un generador de vapor 116, conectado a la entrada del aparato de enfriamiento de gas, o en un horno con un sistema de generación de electricidad (un sistema ORC) 118, o en una máquina de granulación como material de partida para la venta 110. El residuo carbonoso también puede utilizarse como material de partida para la producción de carbón activo. El residuo carbonoso del filtro 105 absorbe fracciones líquidas y alquitranadas (y otras) desde el aparato de enfriamiento 103 de gases producidos en el reactor de microondas 102. Después de que el residuo carbonoso humedece estas sustancias, se vuelve a introducir en el reactor de microondas 102, en el cual estas sustancias se evaporan a alta temperatura y se degradan adicionalmente en hidrocarburos más simples.

Los gases calientes del reactor de microondas 102, que tienen una temperatura de 800 - 950°C, se introducen en el aparato de enfriamiento de gas 103, donde hacen contacto con sus paredes frías y reducen su temperatura a 120 - 160°C. En el transcurso del enfriamiento de la mezcla de gases, se precipitan varias fracciones de hidrocarburos líquidos y alquitranadas y se depositan en las paredes del sistema 103. Dentro del aparato de enfriamiento de gas 103 se montan dos o más transportadores de tornillo que recogen las fracciones líquidas depositadas y las sustancias alquitranadas de las paredes y las mueven hacia el filtro 105 en el fondo del depósito, que está lleno con el residuo carbonoso producido en el reactor microondas. El microondas, que tiene una superficie de absorción muy elevada, captura el líquido condensado y altamente energético y las fracciones alquitranadas formadas en el proceso de pirólisis a alta temperatura como resultado de la descomposición incompleta de polímeros en hidrocarburos simples, debido a reacciones radicales laterales. Por lo tanto, el residuo carbonoso es un filtro efectivo que "captura" los denominados hidrocarburos pesados, sustancias alquitranadas y polvos. La sustancia de filtración 105 se suministra nuevamente de manera periódica al reactor de microondas 102, donde los hidrocarburos absorbidos en el residuo carbonoso se descomponen en hidrocarburos simples, hidrógeno y óxido de carbono.

La adsorción de sustancias hidrocarbonadas permite eliminar sustancias peligrosas formadas en sistemas de gasificación de residuos convencionales, tales como polvo, alquitrán e hidrocarburos complejos, incluidos hidrocarburos aromáticos peligrosos. La descomposición térmica doble o triple de tales sustancias complejas utilizando microondas a una temperatura superior a 800 °C produce una descomposición en fracciones de sustancias simples tales como metano, óxido de carbono e hidrógeno con pequeñas cantidades de fracciones gaseosas más elevadas que también contienen hidrocarburos útiles (butano, propano)

Los gases enfriados que tienen una temperatura de 120 - 180 °C se introducen desde el aparato de enfriamiento 103 a un sistema de limpieza 111 (denominado purificador), donde se absorben compuestos de cloro, flúor y azufre, así como compuestos simples de estos elementos, tales como cloruro de hidrógeno. Preferiblemente, se utiliza una denominada (SNCR) de lavado en caliente, que implica la inyección de amoníaco (NH₃) en la cámara, donde el amoníaco se mezcla de manera turbulenta con gas que contiene cloro, flúor, compuestos de azufre y compuestos simples de estos elementos. Durante la purificación química de gases, se precipita un producto sólido (sal amoníaco), que puede utilizarse para aplicaciones agrícolas.

Los gases purificados se introducen en un depósito de gas 113 por medio de otro filtro de carbón 112 y después pueden suministrarse a un motor 114 o pueden quemarse en una cámara 115 para producir gases calientes o vapor de proceso. El filtro de carbón 112 se reemplaza periódicamente, mientras que en la cámara del reactor de microondas 102 puede introducirse un filtro usado para una utilización térmica.

El proceso descrito anteriormente permite obtener una mezcla de gases altamente energética que contiene: metano (25-30%) hidrocarburos alifáticos C₁ - C₄ (10-25%), óxido de carbono (20-30%), hidrógeno (7-20%). Esa mezcla puede utilizarse como fuente de energía, por ejemplo, para un motor de combustión.

El proceso descrito anteriormente está libre de residuos y da como resultado un gas energético que puede transformarse en calor y electricidad. El proceso permite la utilización de desechos nocivos, incluidos plásticos que contienen halógenos, oxígeno, nitrógeno e incluso azufre. Debido a la radiación de microondas que actúa sobre el desecho dentro del tambor de cerámica 102 y calentando el desecho a altas temperaturas, los parámetros del proceso de pirólisis son únicos y no alcanzables por otros procedimientos de pirólisis de alta temperatura o baja temperatura convencionales o procedimientos de gasificación.

La figura 2 presenta una estructura del aparato de enfriamiento de gas 103. Presenta una cámara 201, preferiblemente realizada a partir de una placa metálica. La mezcla de gases y polvos posterior a la reacción a una temperatura de 800 - 950°C que sale del reactor 102 se introduce en la cámara 201 a través de un tubo corto 203. En la cámara 201, la mezcla posterior a la reacción se desplaza a lo largo de las paredes de la cámara 201 a través de por lo menos dos transportadores de tornillo 202 que trabajan de manera síncrona accionados por un motor 205. La mezcla posterior a la reacción sale del aparato de enfriamiento de gas 103 a través de un tubo corto 204. Mientras es transportado por los transportadores helicoidales 202 dentro de la cámara 201, la mezcla posterior a la reacción se enfría a una temperatura de 120 - 180 °C en la salida del tubo corto 204, preferiblemente 140 - 150 °C. Dicha temperatura es óptima para la siguiente etapa de purificación de gas en el purificador 111. El enfriamiento de la mezcla en el aparato de enfriamiento 103 se efectúa a través de las paredes de la cámara 201. Puede seleccionarse como refrigerante agua u otras sustancias que permitan enfriar la mezcla a 700 - 800 °C. El refrigerante puede introducirse a través de un tubo de entrada 206 y salir a través de un tubo de salida 207. Además, el enfriamiento puede efectuarse por flujo o contraflujo con el uso de intercambiadores de calor de carcasa o tubo, al mismo tiempo. Puede aplicarse cualquier intercambiador de calor convencional aquí. Cuando se enfría la mezcla de gases y partículas después de la reacción de origen orgánico e inorgánico, los hidrocarburos de mayor peso molecular (de más de 10 átomos de carbono en la molécula) se condensan en las paredes de la cámara 201, y el polvo y el hollín precipitan. El conjunto de transportadores de tornillo que transportan la mezcla de gases dentro de la cámara 201 está configurado de manera que permite un flujo turbulento de los gases y el contacto de todo el volumen de la mezcla con paredes de la cámara 201, lo que proporciona un intercambio de calor eficiente. Además, los transportadores de tornillo 202 están montados en paralelo entre sí y respecto a las paredes de la cámara 201, a una distancia que permite el solapamiento mutuo (complementario) de las superficies helicoidales de cada transportador de tornillo 202 y el contacto de bordes en espiral de cada transportador de tornillo con las paredes de la cámara 201, lo que evita la obstrucción de los transportadores por el condensado de hidrocarburos y polvo acumulado. Una obstrucción que comprende condensado de hidrocarburos y polvo formado en la superficie de un transportador de tornillo se moverá por la superficie de su transportador vecino. Además, tal disposición de los transportadores de tornillo evita la acumulación de un condensado de hidrocarburos y polvo en las paredes de la cámara 201, lo que reduciría la eficacia del proceso de intercambio de calor durante el enfriamiento. El procedimiento de enfriamiento con gas presentado permite la separación de los subproductos de la reacción de pirólisis de microondas (la mezcla de hidrocarburos de alto peso molecular (más de 10 átomos de carbono) y el polvo) de los productos principales: el gas energético (que contiene hidrocarburos C₁ - C₄, hidrógeno) y dióxido de carbono (producido cuando los substratos de desecho contienen oxígeno). El residuo carbonoso que compone una mezcla de hidrocarburos licuados, hollín y polvo de consistencia semilíquida, puede transportarse mediante un transportador de tornillo 208 a un depósito de residuo carbonoso 209, de manera continua o periódica, en el que los productos de condensación y el residuo carbonoso se mezclan, y después la mezcla se introduce en el reactor de microondas 102, en el que los hidrocarburos contenidos en la mezcla se someten a una degradación adicional a productos de menor peso molecular. El carbono, que es un ingrediente principal del residuo carbonoso, se quema parcialmente en las condiciones de alta deficiencia de oxígeno dentro del reactor 102. La reacción de combustión, debido a su naturaleza exotérmica, induce un aumento de la temperatura dentro del reactor de microondas 102, lo que facilita el proceso de pirólisis de residuos.

En el procedimiento descrito anteriormente, el calentamiento del material gasificado se efectúa en todo el volumen del material, y no implica los procesos adversos de formación de escoria en las paredes del reactor. Las paredes de la cámara de procesamiento (en este caso: la pared interna del tambor giratorio) están realizadas de cerámica, lo que las hace propensas a procesos adversos de corrosión de las superficies de las paredes. El material producido no se adhiere a estas paredes y no se forman capas de sustancias alquitranadas e inorgánicas ni partículas. El material procesado se hincha debido a la evaporación de los gases del interior del material procesado. Como resultado, el producto sólido del proceso - el residuo carbonoso - tiene una gran superficie y, por lo tanto, puede utilizarse como filtro para absorber aceites y otras sustancias, así como también como materia prima para la producción de carbón activado.

Aunque el sistema y el procedimiento presentados aquí se han representado, descrito, y se han definido con referencia a realizaciones preferidas particulares, tales referencias y ejemplos de implementación en la memoria anterior no implican ninguna limitación. Sin embargo, será evidente que pueden realizarse diversas modificaciones y cambios sin apartarse del alcance más amplio del concepto técnico. Las realizaciones preferidas presentadas son sólo de ejemplo, y no son exhaustivas del alcance del concepto técnico presentado aquí.

Por consiguiente, el alcance de protección no se limita a las realizaciones preferidas descritas en la memoria, sino que está limitado únicamente por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para procesar desechos plásticos y/o de caucho para generar gas energético que comprende hidrocarburos alifáticos C₁ - C₄, óxido de carbono e hidrógeno, en el que el desecho puede comprender halógenos, azufre, nitrógeno y oxígeno y puede estar contaminado por sustancias de origen inorgánico que comprenden materiales cerámicos y metálicos, comprendiendo el procedimiento procesar los residuos en un proceso de pirólisis, en el cual se suministra un material de desecho en polvo a un reactor de microondas (102), donde es calentado por microondas mientras se mueve a través del reactor (102), estado caracterizado el procedimiento por:
- realizar la reacción de pirólisis dentro del reactor (102) a una temperatura de 800 - 950°C para obtener productos finales que comprenden gases, polvo y un residuo carbonoso poroso de una gran área superficial que tiene propiedades de absorción;
 - separar el residuo carbonoso de los demás productos finales de la pirólisis por deposición;
 - dirigir una parte, preferiblemente una cuarta parte, del residuo carbonoso obtenido a un filtro (105);
 - dirigir el polvo y los gases a un aparato de enfriamiento de gas (103) que comprende por lo menos dos transportadores de tornillo sincronizados, en donde los gases se enfrían a una temperatura de 120 - 160°C y en el que el polvo y un condensado son dirigidos hacia el filtro (105) lleno con el residuo carbonoso; y
 - suministrar de nuevo la mezcla del residuo carbonoso, el condensado y el polvo del filtro (105) al reactor de microondas (102).
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que comprende, además, introducir la mezcla de gases que tiene una temperatura de 120 - 160°C desde el aparato de enfriamiento de gas (103) a un sistema de purificación de gas (111) que comprende un purificador, para purificar el gas de cloro, flúor y azufre.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por el hecho de que comprende, además, dirigir la mezcla de gases desde el purificador (111) hacia un filtro de carbón (112).
4. Sistema para el procesamiento de desechos plásticos y/o de caucho para generar gas energético que comprende hidrocarburos alifáticos C₁ - C₄, óxido de carbono e hidrógeno, en el que los residuos pueden comprender elementos orgánicos y pueden estar contaminados por materiales cerámicos y metálicos, comprendiendo el sistema:
- un aparato (101) para triturar el material de desecho para obtener un material de desecho triturado;
 - un reactor de tambor de microondas (102) para procesar el material de desecho triturado, que tiene un revestimiento cerámico y unos calentadores radiantes de microondas y conectado a un depósito de productos sólidos (104) y a un aparato de enfriamiento de gas (103) que comprende un sistema para absorber sustancias de condensación,
- en el que el sistema está caracterizado por el hecho de que:
- el aparato de enfriamiento (103) está conectado a un filtro (105) lleno de residuo carbonoso y a un sistema de purificación de gas (111) que está conectado a un filtro de carbón (112) conectado a un depósito de gas (113);
 - en el que el aparato de enfriamiento de gas (103) comprende un intercambiador de calor que tiene unos tubos de entrada y de salida de refrigerante (204, 207) para enfriar una cámara (201), unos tubos de entrada y de salida para proporcionar una mezcla de gases y polvo (203, 204) a la cámara (201) en la que hay montados por lo menos dos transportadores de tornillo (202) que funcionan de manera sincronizada para transportar la mezcla de polvo y gases y condensado, accionados por un motor (205) y que comprenden, además, por lo menos un transportador de tornillo (208) para transportar el condensado y un depósito con residuo carbonoso (209) para recoger el condensado, en el que el depósito con el residuo carbonoso (209) está conectado al reactor de microondas (102) para suministrar de nuevo el residuo carbonoso al reactor de microondas (102).
5. Sistema de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de que los transportadores de tornillo (202) están posicionados en paralelo entre sí y respecto a las paredes de la cámara (201), de modo que sus superficies en espiral se solapan y contactan con las paredes interiores de la cámara (201).

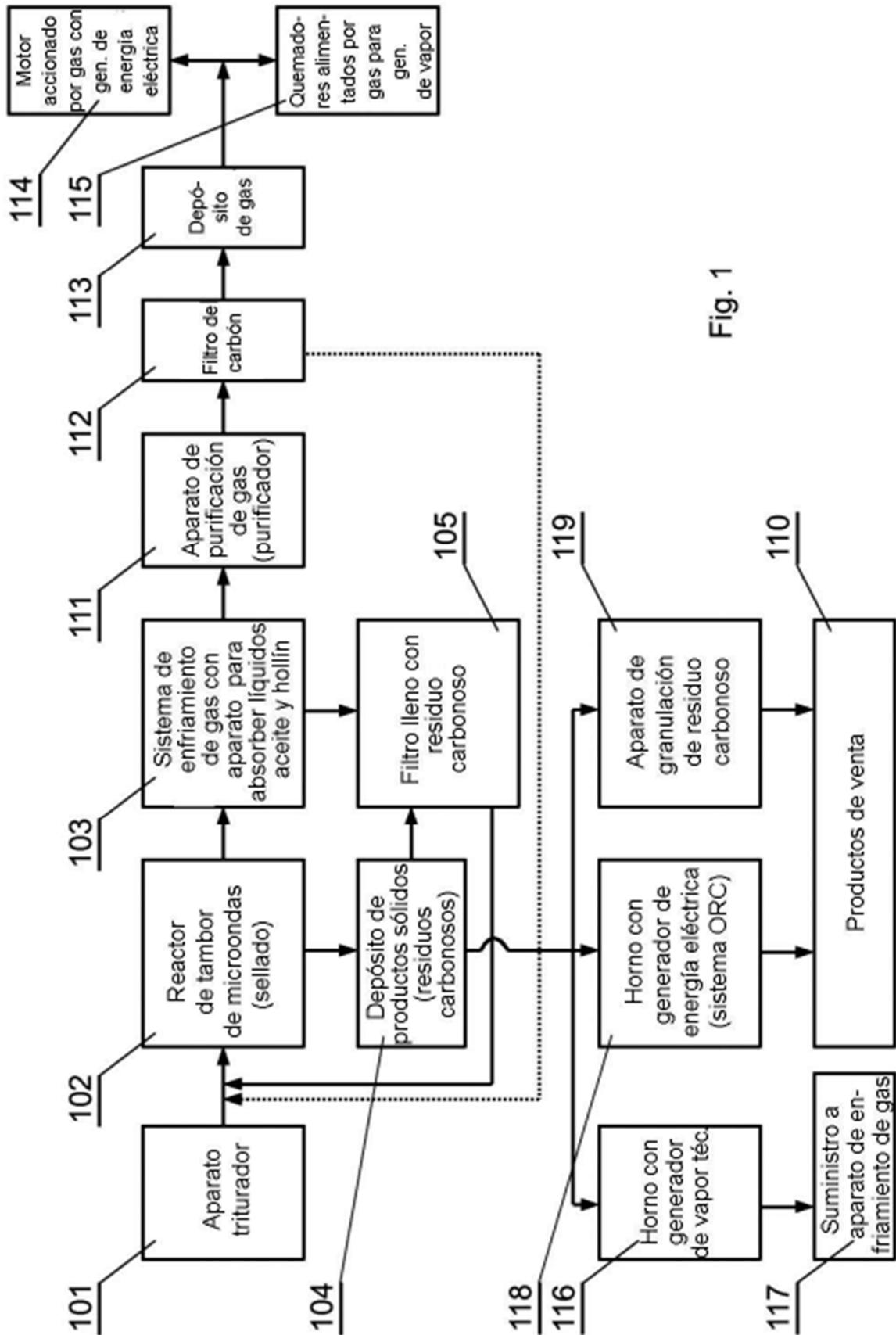


Fig. 1

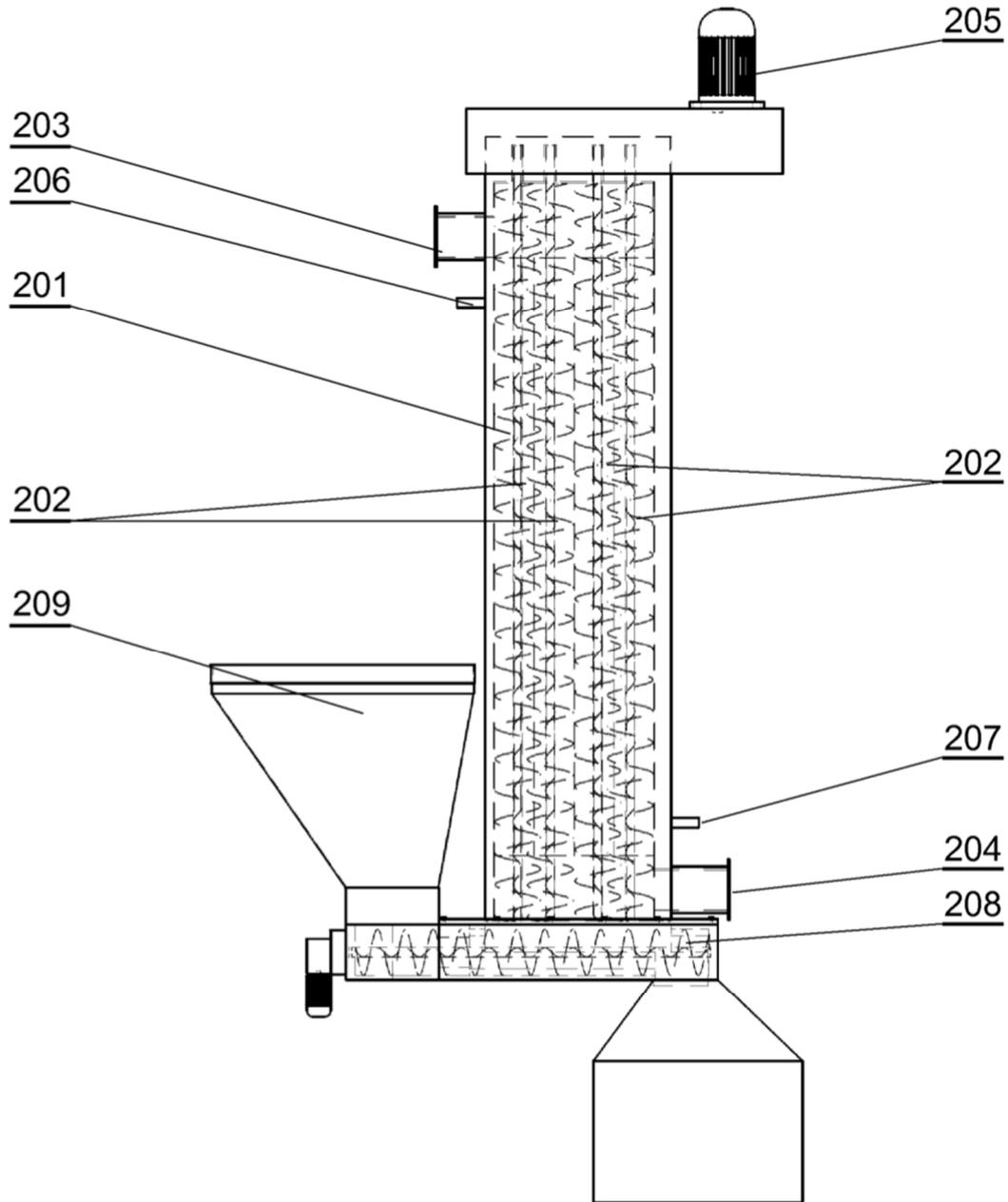


Fig. 2

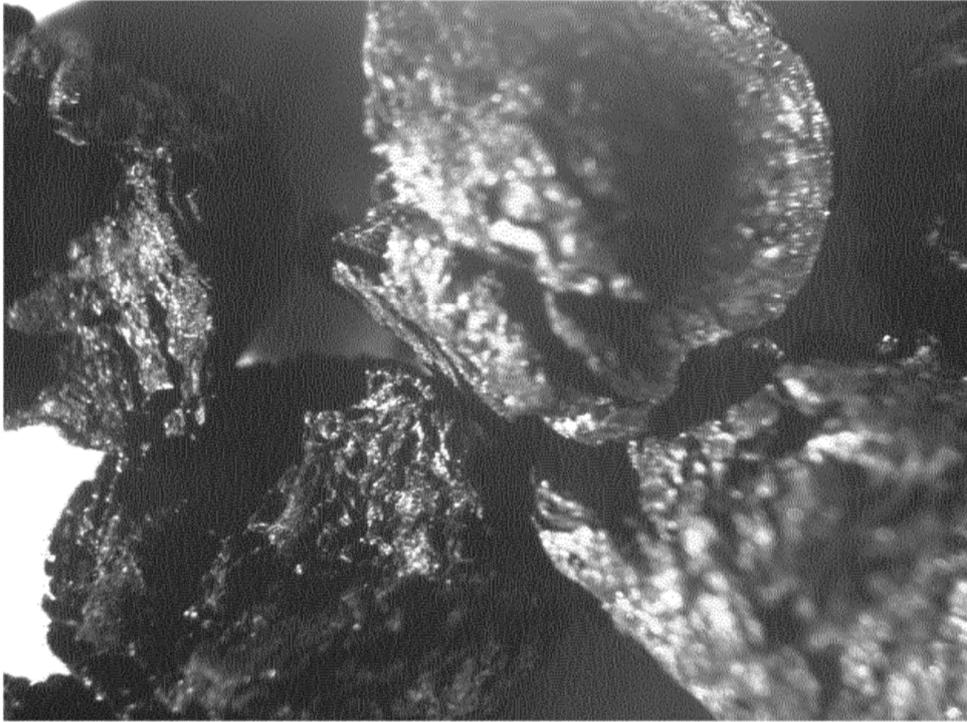


Fig. 3

