

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 972 407**

51 Int. Cl.:

C10G 1/10 (2006.01)

C10G 9/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.04.2020 PCT/EP2020/060558**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.10.2020 WO20212403**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.04.2020 E 20723996 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2023 EP 3894516**

54 Título: **Planta para plástico en aceite para convertir residuos plásticos en productos petroquímicos**

30 Prioridad:

17.04.2019 DE 102019110186

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

12.06.2024

73 Titular/es:

PRUVIA GMBH (100.0%)

Rheingoldstr. 10a

90513 Zirndorf, DE

72 Inventor/es:

MASTELLONE, MARIA LAURA

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 972 407 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

Planta para plástico en aceite para convertir residuos plásticos en productos petroquímicos

5 Campo técnico

La invención se refiere a una planta para conversión de plástico en materia prima, también conocida como planta para conversión de plástico en aceite.

10 Técnica antecedente

En la llamada planta para plástico a aceite (PtO), los plásticos se convierten en productos petroquímicos como aceite o diésel. Por lo general, esto implica un proceso de pirólisis térmica llamado "craqueo" que se lleva a cabo en un reactor de craqueo.

15 Más concretamente, los residuos plásticos que no es conveniente o posible someter a reciclaje mecánico, si están compuestos por poliolefinas (polímeros compuestos por carbono e hidrógeno sin heteroátomos como oxígeno, nitrógeno, azufre, etc.), pueden convertirse en una mezcla de hidrocarburos que oscilan principalmente entre el número de carbonos C1 a C12 y otras moléculas más pesadas (C>12) mediante el llamado proceso de craqueo. La fracción C1 a C4 corresponde a gases no condensables (es decir, compuestos con un punto de ebullición inferior a 25 °C), mientras que la fracción C5-C12, que tiene una temperatura de ebullición entre 36 °C y 216 °C, es líquida a condiciones ambientales y corresponde a queroseno, combustible para aviones y fracción de gasolina. El proceso de craqueo para realizar la conversión en estos productos suele ser una degradación térmica/catalítica (pirólisis) en un ambiente inerte (sin oxígeno/oxidante) que se denomina reactor de craqueo.

25 Los reactores de craqueo disponibles en el mercado se pueden dividir en tres clases principales:

30 a) reactores continuos donde el calentamiento se proporciona indirectamente mediante el uso de líneas de intercambio de calor donde el aceite diatérmico (u otro vector de calentamiento) fluye dentro de los tubos al transmitir el calor al reactor mediante una resistencia convectiva-conductora en serie. Este método plantea una gran preocupación porque la temperatura máxima que puede alcanzar el gasóleo comercial para calefacción es inferior a 400 °C y su vida útil se acorta a medida que aumenta la temperatura. Además, la superficie externa de las líneas se cubre rápidamente por depósitos carbonosos debido a la interacción química entre el carbono y los cationes metálicos; este depósito reduce el coeficiente del intercambiador de calor y obliga a un mantenimiento frecuente. La mezcla en estos reactores no es buena y se establece un flujo laminar debido a la obstrucción de las líneas de calefacción. Dado que los plásticos son materiales muy malos conductores del calor, esta falta de mezcla puede crear velocidades de reacción no uniformes que, en cualquier caso, son bajas a este nivel de temperatura.

40 b) reactores continuos o semicontinuos donde el calentamiento es proporcionado indirectamente por resistencias eléctricas sumergidas en la pared del reactor u otras fuentes externas como infrarrojos o microondas. En estos casos, es necesario promover la mezcla mediante el uso de agitadores mecánicos porque la temperatura en la pared del reactor excede la temperatura media objetivo. La intensa mezcla dentro del reactor tiene inconvenientes relacionados con la seguridad porque el sellado del tornillo a alta velocidad puede resultar difícil. El coste de la electricidad para calentar el reactor influye en gran medida en el coste operativo de este tipo de reactor.

45 c) Un reactor completamente diferente es un reactor de flujo pistón, como los reactores de horno rotatorio y de tornillo. Estos reactores promueven una reacción progresiva que, por definición, no es uniforme a lo largo del eje x con una retromezcla insignificante. El calentamiento se proporciona por toda la superficie externa (barril) hacia la masa contenida en el interior del reactor. La transferencia dentro de la masa está limitada por la resistencia interna que ofrece la materia reaccionante (que tiene un coeficiente convectivo bajo debido al bajo número de Reynolds y al pobre coeficiente de conductividad). El diámetro limitado que permite un perfil de temperatura plano limita fuertemente la capacidad máxima del reactor.

55 Una planta para convertir biomasa en gas combustible con las características del preámbulo de la reivindicación 1 se conoce por:

60 WILK V ET AL: "Conversion of fuel nitrogen in a dual fluidized bed steam gasifier", FUEL, IPC SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS, GUILDFORD, GB, vol. 106, 3 January 2013 (2013-01-03), pages 793-801, XP028996200, ISSN: 0016-2361, DOI: 10.1016/J.FUEL.2012.12.056

Plantas similares basadas en conceptos de reactores gemelos se conocen, por ejemplo, por DE 27 59 823 C2, US 4 443 229 A, US 4 444 007 A, o CA 2 350 180 A1.

65 Una planta y un método correspondiente para la producción de gas de síntesis de alta calidad a partir de gasificación de biomasa en un gasificador de lecho fluidizado dual (DFBG) se conocen a partir de:

GORANSSON KET AL: "Review of syngas production via biomass DFBGs",
RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, ELSEVIERS SCIENCE, NEW YORK, NY, US,
vol. 15, no. 1, 1 January 2011 (2011-01-01), pages 482-492,
XP027 480778,
5 ISSN: 1364-0321, DOI: 10.1016/J.RSER.2010.09.032

Divulgación de la invención

Problema a resolver por la invención

10 Un objetivo subyacente de la presente invención es proporcionar una planta para conversión de plástico en materia prima o de plástico en aceite para convertir plásticos, en particular desechos plásticos fundidos, en productos petroquímicos que supere los problemas mencionados anteriormente en relación con la técnica anterior. Más específicamente, la planta para conversión de plástico en aceite será fácil de construir, operar y mantener. El
15 funcionamiento deberá ser eficiente en términos de energía y recursos y con una alta tasa de reciclaje.

Medios para resolver el problema

20 De acuerdo con la invención, el objetivo se consigue mediante una planta para conversión de plástico en materia prima o de plástico en aceite de acuerdo con la reivindicación 1.

En las reivindicaciones dependientes y en la descripción siguiente se describen realizaciones ventajosas y avances del concepto básico.

25 La invención se basa en la consideración de que un equipo clave de la planta para realizar la conversión de plástico en aceite es el reactor donde se produce el craqueo (reactor de craqueo) pero el papel de todos los demás equipos es crucial para garantizar la sostenibilidad energética del proceso global, la calidad de los productos y el retorno económico positivo de la operación.

30 En este sentido, la reivindicación 1 sugiere una

planta para convertir plásticos, en particular residuos plásticos, en productos petroquímicos, la planta comprende un reactor de craqueo para una reacción de pirólisis o proceso termoquímico, en el que los plásticos, en particular poliolefinas, se convierten en al menos productos de pirólisis gasificados y carbón vegetal, y que comprende además
35 una cámara de combustión separada,

el reactor de craqueo comprende un recipiente de reactor con una sección inferior, una sección intermedia y una sección superior, el recipiente de reactor comprende además un puerto de entrada de plástico, un puerto de entrada de partículas, un puerto de salida de productos de pirólisis que se descarga desde la sección superior y un puerto de
40 carbón y puerto de salida de partículas que se descarga desde la sección inferior,

la cámara de combustión comprende un puerto de entrada de carbón y partículas, un puerto de entrada de aire de combustión y un puerto de salida de productos y partículas de combustión,

45 el puerto de salida de carbón y partículas del reactor de craqueo está conectado de manera fluida/flujo al puerto de entrada de carbón y partículas de la cámara de combustión, y el puerto de salida de productos de combustión y partículas de la cámara de combustión está conectado de manera fluida/flujo al puerto de entrada de partículas del reactor de craqueo, preferiblemente a través de un separador de fluido/partículas,

50 siendo por lo tanto el reactor de craqueo y la cámara de combustión parte de un circuito de partículas que contiene una multitud de partículas sólidas, preferiblemente pero no necesariamente inertes, de manera que durante el funcionamiento las partículas circulan desde el reactor de craqueo hasta la cámara de combustión y viceversa,

55 donde el reactor de craqueo está diseñado de tal manera que la mezcla en el reactor de craqueo es promovida principalmente o incluso exclusivamente por un flujo de partículas de arena alimentado en la parte superior del reactor de craqueo esencialmente en contracorriente con un flujo de los productos de pirólisis, sin necesidad de dispositivos de mezcla mecánica.

60 caracterizado porque el puerto de entrada de plástico es un puerto de entrada de flujo de material fundido de plástico, que se abre hacia la sección inferior,

en el que el puerto de entrada del flujo de fusión de plástico alimenta un flujo de fusión de plástico a una cámara anular que se abre en la sección media del recipiente de reactor a través de varias boquillas, que son capaces de inyectar masa fundida de plástico de alta viscosidad con alta presión en el cuerpo del recipiente, en el que la presión está en
65 el rango de 50 a 80 bar o incluso más,

en el que el puerto de entrada de partículas conduce a un canal que al menos en parte se abre hacia la sección media, y en el que dicho canal está realizado como un espacio intermedio entre una pared externa del recipiente de reactor y una pared divisoria interna conductora de calor.

5 De este modo, el carbón descargado del reactor de craqueo se alimenta como combustible primario a la cámara de combustión, mientras que las partículas preferiblemente inertes transfieren calor de combustión desde la cámara de combustión a una masa fundida de plástico dentro del reactor de craqueo y apoyan la agitación dentro del reactor de craqueo. En el mismo ciclo, las partículas se limpian en la cámara de combustión de los residuos de pirólisis aglomerados en el reactor de craqueo. De esta manera, se logra un ciclo de craqueo y combustión altamente eficiente y que ahorra recursos dentro del sistema doble formado por la reacción de craqueo y la cámara de combustión.

10 A lo largo de esta descripción, el término "carbón" debe entenderse en un sentido amplio e incluye aquellos residuos obtenidos de la reacción de pirólisis en el reactor de craqueo que no se envían a la columna de fraccionamiento o destilación, incluidos los hidrocarburos pesados (por ejemplo, con un número de carbonos > 20).

15 Preferiblemente, las partículas comprenden arena de cuarzo y/o sílice y/o esférulas recubiertas de cerámica. Incluso se pueden usar partículas catalíticas, por ejemplo hechas de un material a base de alúmina, con una densidad de partículas preferiblemente en el intervalo de 1800-3000 kg/m³, y en un rango de tamaño preferido de 50 micras a 400 micras. De todos modos, la densidad y el tamaño caracterizan preferentemente a las partículas de los grupos A o B de la clasificación Geldart.

20 En una realización preferida, un separador de fluido/partículas que se utiliza para separar las partículas de los productos de combustión fluídicos en el flujo descargado desde la cámara de combustión comprende un separador ciclónico. En lugar de un ciclón, se puede utilizar cualquier otro separador gas-sólido o fluido-sólido, como válvulas no mecánicas (por ejemplo, válvula en L, válvula en V, etc.). El separador puede estar conectado al puerto de salida de productos y partículas de la combustión de la cámara de combustión a través de una sección de línea o, alternativamente, puede estar integrado en la cámara de combustión. En el último caso, la cámara de combustión puede comprender puertos de salida separados para las partículas y para los productos fluídicos de la combustión.

25 En una forma de realización preferida, una línea de gases de combustión conduce desde la salida de gases de combustión del separador de fluidos/partículas hasta una planta de tratamiento de gases de combustión que comprende preferentemente una unidad de depuración.

30 Preferiblemente, el puerto de salida de los productos de pirólisis del reactor de craqueo está conectado a través de una línea de escape de gas de pirólisis a una sección de fraccionamiento y/o columna de destilación en la que el gas de escape de pirólisis se convierte en productos petroquímicos.

35 En una realización particularmente ventajosa, se proporciona y configura un circuito de transferencia de calor para transferir calor desde un flujo de gas de combustión dentro de la línea de gas de combustión antes mencionada a un flujo de productos de pirólisis gaseosos dentro de la línea de escape de gas de pirólisis que conduce a la columna de destilación. Por tanto, el flujo de productos de pirólisis gaseosos se calienta de forma recuperativa antes de entrar en la columna de destilación, mejorando así la eficiencia del proceso de destilación.

40 Preferiblemente, el circuito de transferencia de calor comprende un aceite diatérmico como medio de transferencia de calor. El circuito de transferencia de calor puede comprender además una bomba de calor activa.

45 Preferiblemente, una línea de recirculación de productos de pirólisis está conectada al reactor de craqueo de manera que durante la operación los productos de pirólisis condensados ("pesados") se recirculen al menos parcialmente al reactor de craqueo. Para la condensación se puede utilizar un intercambiador de calor por el que circula un medio de enfriamiento. La separación de la parte así licuada y la parte gaseosa del flujo de productos de pirólisis puede ocurrir en un separador de líquido/gas.

50 En otra realización ventajosa, se dispone un intercambiador de calor en la línea de gases de combustión de manera que el intercambiador de calor transfiere calor de un flujo de gases de combustión dentro de la línea de gases de combustión a un flujo de aire de combustión dentro de una línea de suministro de aire de combustión que conduce al puerto de entrada de aire de combustión de la cámara de combustión. De este modo, el flujo de aire de combustión se calienta de forma recuperativa antes de entrar en la cámara de combustión, mejorando la eficiencia de la combustión.

55 Preferiblemente, una línea de retorno de gas combustible reciclado conduce desde la sección de fraccionamiento o columna de destilación hasta la cámara de combustión. Por lo tanto, una pequeña parte de los productos petroquímicos recuperados de la alimentación de plástico a la planta puede usarse como combustible adicional en la cámara de combustión, además del combustible primario constituido por productos carbonosos entre etapas que se producen en el ciclo de craqueo-combustión.

60

Además, preferentemente una línea de gas combustible reciclado conduce desde la sección de fraccionamiento o columna de destilación hasta un motor de combustión que está acoplado a un generador eléctrico. Por lo tanto, una pequeña parte de los productos petroquímicos recuperados de la alimentación de plástico a la planta se puede utilizar para producir electricidad para diversos dispositivos dentro de la planta.

5 Preferiblemente, la cámara de combustión comprende o está realizada como un tubo ascendente de flujo arrastrado. Esto se explica más adelante.

10 Un reactor de craqueo para uso en una planta para conversión de plástico a aceite especificada anteriormente y posiblemente para uso también en otras plantas y procesos técnicos, tiene un recipiente de reactor que comprende una sección inferior, una sección media y una sección superior, además el recipiente de reactor comprende un puerto de entrada de plástico, un puerto de entrada de partículas, un puerto de salida de productos de pirólisis que se descarga desde la sección superior y un puerto de salida de carbón y partículas que se descarga desde la sección inferior.

15 El puerto de entrada de plástico alimenta un flujo de plástico fundido a una cámara anular que se abre en la sección media del recipiente de reactor a través de una serie de boquillas, que son capaces de inyectar plástico fundido de alta viscosidad con alta presión, por ejemplo en la magnitud de 100 bar en el cuerpo del vaso. La presión es de al menos 50 bar. Preferiblemente, la presión está dentro del intervalo de 50 bar a 80 bar o incluso más, de modo que el polímero fundido inyectado en el recipiente de reactor forma una masa fundida similar a un líquido. En particular, la cámara anular o cámara impelente está situada en la sección inferior y rodea el puerto de salida de carbón y partículas.

20 Dicho canal para (re)introducción de partículas se realiza como un espacio intermedio entre una pared externa del recipiente de reactor y una pared divisoria interna conductora de calor. Los reactores más grandes opcionalmente instalan tubos verticales para promover una distribución uniforme de partículas de arriba a abajo.

25 En una aplicación preferida dentro de la planta para conversión de plástico en aceite descrita anteriormente, el reactor de craqueo está diseñado para calentarse exclusivamente mediante los flujos de entrada al recipiente de reactor, en particular mediante un flujo de entrada de plástico (preferiblemente precalentado) y mediante una fuente de calor. Las partículas fluyen provenientes de una cámara de combustión separada/externa. Esto significa que no hay dispositivos de calefacción adicionales.

30 Preferiblemente, el reactor de craqueo está diseñado para lograr la agitación y/o mezcla exclusivamente mediante los flujos de entrada al recipiente de reactor, en particular el flujo de plástico de entrada, el flujo de partículas y posiblemente el flujo de productos de pirólisis líquidos reciclados. Esto significa que no se requieren ni están presentes dispositivos mecánicos o móviles u otros dispositivos de mezcla o agitación.

35 Para apoyar este objetivo, el reactor de craqueo se diseña preferiblemente para un régimen de flujo principalmente turbulento dentro del recipiente de reactor.

40 Con respecto a un método para operar una planta para conversión de plástico en aceite especificada anteriormente, el carbón descargado del reactor de craqueo se alimenta como combustible primario a la cámara de combustión, en donde las partículas se ciclan dentro del circuito de partículas desde el reactor de craqueo a la cámara de combustión y de regreso, transfiriendo así el calor de combustión desde la cámara de combustión a una masa plástica fundida dentro del reactor de craqueo y apoyando la agitación dentro del reactor de craqueo. Las partículas se limpian en la cámara de combustión de los residuos de pirólisis aglomerados en el reactor de craqueo.

45 Preferiblemente, se alimenta continuamente un flujo de masa fundida de plástico de entrada al reactor de craqueo.

50 Además, al reactor de craqueo se alimenta preferentemente de forma continua o casi continua una corriente de partículas. Casi continuo significa que la alimentación puede interrumpirse durante períodos de tiempo relativamente cortos, lo suficientemente cortos como para evitar la disminución de la temperatura en el reactor, por ejemplo durante el funcionamiento de una válvula giratoria o similar en la línea de alimentación. La función de la válvula giratoria es crear una cabeza estática entre la salida del separador y el punto donde se introduce el flujo en el reactor de craqueo y favorecer la distribución del flujo de partículas en el caso de reactores de craqueo de gran tamaño; en este caso el flujo de partículas se introduce preferentemente en más de un único punto. La válvula giratoria puede ser sustituida por otros dispositivos que permitan controlar la distribución como, por ejemplo, un alimentador mecánico similar al situado en el fondo para extraer el flujo de partículas y carbones.

55 En una forma de realización preferida, el reactor de craqueo se calienta exclusivamente mediante las corrientes de entrada al recipiente de reactor, en particular mediante una corriente de entrada de plástico y mediante una corriente de partículas que sale de la cámara de combustión. Por tanto, no se necesitan otros dispositivos de calefacción, como calentadores eléctricos o circuitos de calefacción.

60 De manera similar, la agitación y mezcla dentro del reactor de craqueo se realiza preferiblemente exclusivamente mediante los flujos de entrada al recipiente de reactor, sin ningún otro dispositivo de mezcla o agitación.

En una realización preferida, un flujo de aire de combustión, antes de entrar en la cámara de combustión, se calienta de forma recuperativa mediante el calor contenido en un flujo de gas de combustión descargado desde la cámara de combustión.

5 En otra realización preferida, un flujo de productos de pirólisis gaseosos descargado del reactor de craqueo, antes de entrar en una columna de destilación, se calienta de forma recuperativa mediante el calor contenido en un flujo de gas de combustión descargado de la cámara de combustión.

10 Aún en una realización preferida adicional, un flujo de productos de pirólisis gaseosos provenientes del reactor de craqueo ingresa a una sección de fraccionamiento y/o columna de destilación para convertirse en productos petroquímicos, como un flujo de residuos pesados, un flujo de diésel, un flujo de hidrocarburos ligeros y/o o un flujo de gas no condensable.

15 Ventajosamente, como combustible adicional se alimenta a la cámara de combustión un flujo de gas no condensable descargado de la sección de fraccionamiento o de la columna de destilación, como se explicó anteriormente en relación con la reivindicación del dispositivo correspondiente.

20 La temperatura requerida para el proceso de craqueo con el fin de promover el craqueo con una tasa de conversión razonablemente alta debe ser superior a 430 °C pero inferior a 500 °C para evitar un aumento no deseado de la producción de fracción de gas. Por lo tanto, la temperatura dentro del reactor de craqueo se ajusta preferentemente dentro de dicho intervalo.

25 Preferiblemente, la temperatura dentro de la cámara de combustión se ajusta en el intervalo de 700 a 1.000 °C.

En una realización preferida, la temperatura dentro de la cámara de combustión se controla ajustando el caudal de aire de combustión, la temperatura del aire de combustión y/o el caudal de retorno del gas combustible reciclado.

30 De manera correspondiente, la temperatura dentro del reactor de craqueo se controla preferiblemente ajustando la temperatura dentro de la cámara de combustión, como se explicó anteriormente, la velocidad de alimentación de plástico y/o la velocidad de flujo de partículas.

35 La invención tiene la ventaja de proporcionar un método para convertir plásticos en productos petroquímicos, en el que se alimentan plásticos y una multitud de partículas calientes a un reactor de craqueo para que los plásticos experimenten una reacción de pirólisis, en el que el carbón producido durante la pirólisis se drena del reactor de craqueo junto con las partículas, siendo ambos alimentados a una cámara de combustión separada para que el carbón se queme bajo suministro de aire, en el que las partículas se extraen de la cámara de combustión y se alimentan nuevamente al reactor de craqueo, y en el que los productos de pirólisis fluidica se extraen del reactor de craqueo y alimentado a una columna de destilación para convertirlo en productos petroquímicos, y en el que la mezcla en el reactor de craqueo se promueve principal o incluso exclusivamente mediante un flujo de dichas partículas alimentado en la parte superior del reactor de craqueo esencialmente en contracorriente con un flujo del productos de pirólisis, sin necesidad de dispositivos mecánicos de mezcla.

45 En otras palabras, el plástico fundido se inyecta esencialmente desde el fondo hacia la parte superior del reactor, mientras que las partículas o gránulos de grano fino se alimentan (esencialmente en contracorriente) desde la parte superior y caen hacia el fondo, lo que lleva a un régimen de mezcla sostenido y altamente turbulento de auto-inyección.

Efectos de la invención

50 El concepto de la planta de acuerdo con la invención se puede resumir como sigue:

Dentro del reactor de craqueo, el calentamiento y la mezcla se realizan mediante el mismo medio, sin partes mecánicas en movimiento y sin calentamiento externo. Esto evita puntos/superficies calientes y la carbonización relacionada, pérdidas de gases inflamables por las juntas (tubos, tornillos, etc.) y permite un comportamiento "perfectamente agitado" del reactor tanto para la transferencia de masa como para la de calor. Como consecuencia, la cinética es rápida ya que está controlada por calentamiento (a, por ejemplo, 450 °C la cinética intrínseca es tan rápida que se considera insignificante con respecto a la velocidad de calentamiento).

60 La mezcla en el reactor se promueve mediante un flujo de partículas calientes alimentadas en la parte superior del reactor esencialmente en contracorriente con los productos de pirólisis. Las partículas calientes intercambian calor con líquidos y gases, favoreciendo así una transferencia homogénea. En la parte inferior, donde las partículas se acumulan junto con productos más pesados y carbón, una válvula no mecánica transporta las partículas y el carbón adherido a ellas a una cámara de combustión fluidizada circulante donde se quema el carbón, se limpian las partículas y se calientan, por ejemplo, a 900 °C. Un ciclón o un separador similar montado en la parte superior de la cámara de combustión, preferiblemente equipado con una válvula giratoria, devuelve las partículas regeneradas al reactor.

Este concepto evita métodos costosos para proporcionar calefacción, cualquier pieza mecánica dentro de los reactores, la eliminación de carbono y permite controlar el nivel de temperatura en el reactor simplemente aumentando el flujo de energía de las partículas calientes (tanto el flujo másico de partículas como la temperatura en el reactor) la cámara de combustión se puede regular). La cinética rápida, el mezclado y el tiempo de residencia adecuado permitirán evitar el reciclaje de los productos de pirólisis al reactor.

Las características clave del diseño de la planta y del reactor de acuerdo con la invención son, por lo tanto, dispositivos y métodos eficientes para promover un calentamiento rápido y homogéneo y una mezcla rápida y buena en el reactor de craqueo.

La planta y los dispositivos y procesos correspondientes de acuerdo con la invención superan todos los inconvenientes mencionados anteriormente en relación con la técnica anterior; En particular:

a) El reactor de craqueo de acuerdo con la invención se calienta mediante intercambio directo, con lo que se evitan por completo los métodos indirectos conocidos en el estado de la técnica (por ejemplo, aceite calentado, electricidad, microondas, infrarrojos, etc.) y sus inconvenientes.

b) El reactor se mezcla completamente sin necesidad de dispositivos mecánicos.

c) El calentamiento es rápido y homogéneo.

d) La energía para calentar el reactor se obtiene aprovechando la energía química de los residuos y subproductos del proceso, ahorrando así fuentes no renovables y disminuyendo los costos de operación.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describen realizaciones ejemplares de la invención con referencia a los dibujos adjuntos.

La Fig. 1, que se ha dividido en tres secciones con las subfiguras correspondientes Fig. 1a, Fig. 1b y 1c para aumentar la legibilidad, proporciona una visión general, mediante un diagrama de flujo de proceso esquemático, de una llamada planta para plástico a aceite (PtO) de acuerdo con la invención y los procesos relacionados para convertir Residuos plásticos, en particular residuos de poliolefinas, en productos petroquímicos.

La Fig. 2 muestra un esquema longitudinal de un reactor de craqueo y una cámara de combustión de la planta de producción de plástico y aceite de acuerdo con la Fig. 1, en donde las condiciones de flujo durante la operación se indican mediante flechas.

La Fig. 3 muestra un esquema detallado del reactor de craqueo.

La Fig. 4 muestra una variación de la Fig. 3.

La Fig. 5 muestra un diagrama de ejemplo para el equilibrio de masa y energía de procesos centrales en una planta de acuerdo con la Fig. 1.

Los elementos correspondientes o funcionalmente equivalentes se designan con los mismos símbolos de referencia en todos los dibujos.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

La invención se basa en las siguientes observaciones generales.

Residuos plásticos: mercado y tarifas.

El punto de partida está relacionado con el mercado de los residuos plásticos: hoy en día, la fracción de plásticos recogidos que realmente se envía al reciclaje mecánico se limita al PET (tereftalato de polietileno) y al HDPE (polietileno de alta densidad). El resto de poliolefinas como el LDPE (polietileno de baja densidad), el PP (polipropileno) o el poliestireno (PS) tienen un mercado pobre y su valor es bajo. Todos los polímeros diseñados, los que contienen heteroátomos (O, N, Cl, S, ...), compuestos multicapa y otros, se destinan a la valorización energética tal cual o tras su adición a otros residuos (combustibles secundarios).

Un punto crítico para el correcto diseño de una planta de tratamiento químico está relacionado con la fuente plástica utilizada como alimentación del proceso químico: cómo debe estar compuesto, con qué tipo de polímeros y en qué proporciones, cómo y de dónde se puede obtener, a qué tarifa de entrada. Un estudio de mercado mostró que los plásticos mezclados resultantes de una clasificación dentro de las llamadas plantas de recuperación de materiales contienen una gran fracción de material apto para la conversión química, pero necesita de una clasificación, limpieza y acondicionamiento intensos antes de convertirse en un alimento adecuado. Desde un punto de vista económico,

esta mezcla de plástico tiene una tarifa negativa (coste de eliminación) en países como Italia que tienen un déficit de capacidad de incineradoras. Países como Alemania han duplicado en los últimos años sus tasas para muchos residuos importados de otros países y han impuesto la obligación de evitar la construcción de más vertederos e incineradoras tradicionales. Otro punto interesante es que la “exportación de residuos” sólo es posible hacia países que aplican las directivas de la UE para la gestión de residuos y la protección del medio ambiente y hacia plantas que realizan operaciones de recuperación/reciclaje (operaciones R), mientras que las operaciones de eliminación (D) están prohibidas. Esta restricción impide la exportación a terceros países para su vertido indiscriminado.

Residuos plásticos: tipología.

Una vez identificada la fuente del plástico, se debe elegir la tecnología teniendo en cuenta las características de los residuos plásticos y las especificaciones de calidad del producto. Los residuos plásticos adecuados para la conversión de PtO son el grupo de las poliolefinas (como HDPE, LDPE, PP, PS), que normalmente se presentan en forma de mezcla, pero los residuos plásticos disponibles en el mercado con una tarifa de entrada negativa elevada son una mezcla que contiene otros materiales PET, (tereftalato de polietileno), PVC (cloruro de polivinilo), papel, etc. Esto lleva a la necesidad de lo que se denomina planta de clasificación: puede integrarse con PtO o no. Las ventajas de la integración son: control de la calidad del plástico alimentado en la toma de fuerza, ingresos por tarifa de entrada, optimización de todo el proceso (eficiencia energética). Las desventajas son: mayor inversión en capex, áreas más amplias para planta y almacenamiento, mayor impacto en el tráfico y cuestiones sobre el impacto en el medio ambiente que deben considerarse.

Residuos plásticos: clasificación y pretratamiento.

Los residuos plásticos tomados como referencia en la siguiente descripción son la peor mezcla (gran cantidad de materias extrañas) disponible en el mercado (con una tarifa de entrada más alta). Una planta de clasificación compuesta por equipos capaces de clasificar por tamaño, densidad y tipo de polímero eliminará metales ferrosos, aluminio, papel y textiles, vidrio e inserciones, PET, PVC y producirá una mezcla de poliolefinas que se enviará a una trituradora. Después de la trituración, el secado se lleva a cabo en secadoras usando aire caliente, preferiblemente con un cierto grado de humedad fijado en 10 % (el aire caliente es producido preferiblemente por el propio PtO como subproducto de su operación prevista, como se describe más adelante). El flujo de restos de plástico limpios, secos y homogeneizados se envía a un buffer antes de ser enviado a la línea PtO que se describe en detalle en los siguientes párrafos.

Diseño general de la planta y descripción del proceso.

La Fig. 1a, b y c proporcionan una descripción general, mediante un diagrama de flujo de proceso esquemático, de una llamada planta para plástico a materia prima o de plástico a aceite (en resumen: PtO o P2O) de acuerdo con la invención y los procesos relacionados durante el funcionamiento de la planta para la transformación de plásticos, en particular residuos de poliolefinas, en productos petroquímicos/materias primas (en particular aceite y gas combustible). Como se desprende de la descripción anterior y posterior, se puede producir una gran variedad de productos o materias primas petroquímicas, dependiendo de la aplicación y de las plantas técnicas aguas abajo de los procesos del núcleo del reactor y de la cámara de combustión. Por lo tanto, el término bien establecido “planta para conversión de plástico en aceite”, que a veces se utiliza en esta descripción por razones de simplicidad, también cubre otros productos finales además del aceite. Por lo tanto, cada caso de “plástico a aceite” podría sustituirse por “plástico a materia prima” o “plástico a materia prima petroquímica”.

La figura está dividida en secciones, rodeadas por líneas de puntos, cuyo significado se desprenderá de la siguiente descripción: 100-110-120-130 son la sección de reacciones; 200 es la sección donde se enfrían, fraccionan y almacenan los productos de la pirólisis; 220 es la sección donde el gas combustible separado de la fracción líquida se envía a recuperación de energía; 230 es la sección de enfriamiento de gases de combustión y gases residuales con recuperación de calor; 300 es el circuito de agua; 310 es la sección de depuración de gases de combustión y gases residuales.

Entra en la planta un flujo de entrada F1 de residuos plásticos a temperatura ambiente, aquí una mezcla de poliolefinas, previamente clasificada, limpiada, triturada y secada, y que tiene preferentemente una cantidad máxima de humedad del 10 % y preferentemente una fracción máxima de cloro del 1 %. en un equipo de alimentación y preacondicionamiento disponible comercialmente E.1. Preferiblemente, el equipo de alimentación y preacondicionamiento E.1 puede favorecer la compactación, el calentamiento, la desgasificación (en particular respecto de la humedad y del ácido clorhídrico, si hay cloro) y la fusión completa de los plásticos. El flujo de gas de salida F3 de este proceso de preacondicionamiento, típicamente a 300 °C, se envía a limpieza en una unidad de depuración E.4 a través de la línea de gas de salida 2 antes de enviarse a etapas de limpieza adicionales y, en última instancia, ventilarse al medio ambiente. El flujo de fusión F2, que preferiblemente es un flujo de líquido de baja viscosidad a preferiblemente 400 °C, se envía a través de la línea de alimentación de flujo de fusión de plástico 4, también llamada línea de alimentación de entrada, a un reactor de craqueo V.1 descrito en detalle más adelante, entrando al recipiente de reactor en el puerto de entrada de flujo de fusión de plástico 5.

En el reactor de craqueo V.1, la masa fundida de plástico alimentada se somete a un proceso de craqueo termoquímico o pirólisis, preferiblemente a una temperatura de proceso en el intervalo de 450-500 °C. El flujo de salida principal, es decir, el flujo de salida de productos de pirólisis F4, del reactor de craqueo V.1 está constituido por productos de pirólisis que salen a dicha temperatura de preferiblemente 450-500 °C (dependiendo del valor de configuración para el funcionamiento del reactor) mediante puerto de salida de productos de pirólisis 6 y la posterior línea de salida de productos de pirólisis 7. El flujo F4 se envía a un intercambiador de calor 1 (también denominado HE.1) que elimina el calor disminuyendo la temperatura desde dicho valor hasta preferiblemente 260 °C. La fracción de productos de pirólisis que tienen un peso molecular elevado se condensa y se vuelve líquida. Por tanto, el intercambiador de calor 1 puede considerarse como un condensador parcial. En el intercambiador de calor 1, el calor eliminado del flujo F4 se transfiere a un flujo de medio de enfriamiento, preferiblemente agua refrigerante. El medio de enfriamiento entra al intercambiador de calor 1 en la línea de suministro de medio de enfriamiento 10 preferiblemente a 15 °C y sale a través de la línea de descarga de medio de enfriamiento 12 a preferiblemente 80 °C. Los correspondientes dispositivos/sistemas de suministro de medio de enfriamiento y de reenfriamiento se indican en la Fig. 1c (sección 300), pero no es necesario describirlo aquí en detalle.

El flujo de productos de pirólisis enfriados que salen del intercambiador de calor 1 se conduce a través de la línea de conexión 14 a un separador de gas y líquido 16 (también denominado S.1), en el que los componentes líquidos se separan de los gaseosos. El flujo de productos de pirólisis gaseosos F10 se extrae a través de la línea de escape de gas de pirólisis 18 para el tratamiento adicional que se describe a continuación. El flujo de productos de pirólisis líquidos F6, también llamado flujo de productos pesados reciclados, que emerge del separador 16 se recircula en el reactor de craqueo V.1 a través de la línea de recirculación de productos de pirólisis 20 preferiblemente a 260 °C y entra en el recipiente de reactor en el puerto de entrada de productos de pirólisis reciclados 21 para sufrir un craqueo adicional y reducir el peso molecular en el rango deseado. Esta condensación parcial con reciclado al reactor se puede evitar si la fracción pesada es pequeña.

Otro flujo, a saber, el flujo de partículas (recicladas) F7 o, alternativamente, el flujo de reciclaje, compuesto por partículas precalentadas en otro reactor, a saber, el reactor de combustión o brevemente la cámara de combustión V.2, ingresa al reactor de craqueo V.1 a través de la línea de alimentación de partículas (recicladas) 22 y el puerto de entrada de partículas (recicladas) 23, por ejemplo a 750 °C, agregando así el calor sensible necesario para alcanzar la temperatura deseada para la reacción de pirólisis mediante un intercambio de calor directo de los flujos de mezcla dentro del recipiente de reactor. Las partículas, en particular cuarzo y/o arena de sílice y/o esférulas recubiertas de cerámica, etc., se ciclan continuamente entre el reactor de craqueo V.1 y la cámara de combustión V.2 para soportar el proceso de pirólisis en el reactor de craqueo V.1 como se describe en detalle a continuación. Básicamente, las partículas no participan directamente o sólo en pequeña medida en las reacciones de pirólisis química y, por lo tanto, se consideran partículas catalíticas y/o inertes.

Las partículas se extraen del fondo del reactor de craqueo V.1 junto con la fracción sólida carbonosa (brevemente: coque o carbón) producida por el craqueo de polímeros (también conocido como pirólisis) a través del puerto de salida de carbón y partículas 24 y la línea de salida de carbón y partículas 25 a una temperatura correspondiente a la temperatura dentro del reactor de craqueo V.1, preferiblemente a 450 °C. El flujo de carbón y partículas F5 se dirige y alimenta a velocidad controlada por medio de un sistema de transporte y dosificación E.2 dentro de la cámara de combustión V.2 a través del puerto de entrada de carbón y partículas 26 a dicha temperatura. La línea de salida de carbón y partículas 25, en este contexto también llamada línea de dosificación, se mantiene bajo una ligera presión negativa para evitar la entrada de oxígeno (reflujo desde la cámara de combustión V.2) al reactor V.1. Esto se consigue mediante una bomba de aspiración p3, que por el lado de entrada está unida fluidamente a través del depósito de aspiración E.5 con el sistema de transporte y dosificación E.2 y por el lado de salida desemboca en la cámara de combustión V.2.

De hecho, se alimenta aire a la cámara de combustión V.2 como flujo de aire de combustión FA2 a través de la línea de suministro de aire de combustión 27 y el puerto de entrada de aire de combustión 28 para promover la combustión del material carbonoso procedente del reactor V.1. Antes de entrar en la cámara de combustión V.2 en el puerto de entrada de aire de combustión 28, el aire extraído del ambiente por la bomba de aire/soplador p7 (flujo de aire FA1) se precalienta preferiblemente (en la sección 230) para alcanzar preferiblemente 250 °C como se describe más adelante. La combustión completa del carbón y de los residuos mezclados con las partículas extraídas por el reactor de craqueo V.1 se garantiza mediante el uso de un exceso de oxígeno y un tiempo de residencia adecuado.

La cámara de combustión V.2 es preferiblemente un reactor arrastrado, donde la velocidad superficial del gas es mucho mayor que la velocidad terminal de las partículas (ver descripción detallada a continuación). De esta manera se limpian las partículas de residuos adheridos sobre ellas, es decir, residuos aglomerados en el proceso de pirólisis anterior en el reactor de craqueo V.1. Durante el proceso de combustión en la cámara de combustión V.2 a, por ejemplo, 750 °C, las partículas se calientan debido a una reacción exotérmica y luego se transportan fuera de la cámara de combustión V.2 con los gases de escape a lo largo del elevador del reactor y a través del puerto de salida de productos de combustión y partículas 29 y la línea de salida de productos de combustión y partículas 30 (como flujo de salida de productos de combustión F19, por ejemplo a 750 °C) hacia un separador de fluido/partículas 90 que preferiblemente es un separador ciclónico S.2.

En el separador ciclónico S.2 se separan las partículas del gas de combustión. El flujo de partículas calientes, también llamado flujo de partículas (recicladas) F7 o flujo de reciclaje, se introduce en el reactor de craqueo V.1 preferiblemente a 750 °C a través de la línea de alimentación de partículas (recicladas) 22 y el puerto de entrada de partículas (recicladas) 23, como ya se describió anteriormente. El tampón de partículas S.3 dentro de la línea de alimentación de partículas 22 entre el separador ciclónico S.2 y el reactor de craqueo V.1 se mantiene a una presión negativa muy ligera con la ayuda de la bomba de succión p2 para garantizar la ausencia de gases de combustión en el flujo de partículas recicladas F7 introducido en el reactor de craqueo V.1. Por lo tanto, la bomba de succión p2 está conectada de manera fluida al amortiguador S.3 en el lado de entrada y a la línea de gas de combustión 32 (véanse los siguientes párrafos) en el lado de salida.

Por lo tanto, el reactor de craqueo V.1 y la cámara de combustión V.2 son parte de un circuito de partículas 94 que contiene una multitud de partículas sólidas, de modo que durante la operación las partículas circulan desde el reactor de craqueo V.1 a la cámara de combustión V.2 y de vuelta.

El flujo de gas de combustión F22 del separador ciclónico S.2 y el flujo de gas de purga F21 del tampón S.3 se mezclan en el empalme de línea 31 (válvula de tres vías) y se envían como flujo de gas de combustión F23 a preferiblemente 750 °C a través de la sección 32 línea de gas de combustión al intercambiador de calor HE.2 (preferiblemente un enfriador seco) y al intercambiador de calor HE.3 que transfiere parte del calor al flujo de aire de combustión FA1/FA2. El flujo de gases de combustión F23.3 se envía luego a otro intercambiador de calor HE.4 (refrigerador) para disminuir la temperatura de los gases de combustión por debajo de 100 °C. A esta temperatura, el flujo de gases de combustión F23.4 puede dirigirse a la unidad de depuración E.4. Toda la línea de intercambiadores de calor se puede adaptar a casos específicos para optimizar la recuperación de calor. El flujo de calor se puede utilizar, por ejemplo, para alimentar los secadores de aire de restos de plástico en la línea de clasificación.

El flujo de productos gaseosos de pirólisis F10/F10.1 proveniente del separador 16 ingresa a través de la línea de entrada de gas de fraccionamiento 34 y mediante el uso de la bomba p4 en el condensador parcial S.5, acoplado al intercambiador de calor HE.5, produciendo así el flujo F11 de productos de pirólisis condensado o "sincrudo" (aceite sintético *crudo*) a una temperatura inferior a 260 °C (artículo 210). Después de un proceso de enfriamiento final dentro del intercambiador de calor HE.7, estos productos se almacenan en el tanque de aceite T.1 para su posterior entrega y uso.

La fase de vapor que sale del condensador parcial S.5 se envía a un segundo condensador S.6, acoplado al intercambiador de calor HE.6, para completar la condensación y la consiguiente separación entre el gas no condensable (flujo F15) y la fase líquida (flujo F14). Este último flujo F14 se entrega por medio de la bomba p8 a la válvula mezcladora v6 donde se mezcla con el flujo "pesado" F11. El flujo F14 está a 25 °C mientras que el flujo F11 está a una temperatura más alta (preferiblemente 260 °C); el flujo F12 resultante de su mezcla debe enfriarse mediante el intercambiador de calor HE.7 a 50 °C o un valor inferior antes de almacenarse en el tanque de aceite T.1.

El proceso de condensación descrito dentro de los condensadores S.5 y S.6 de la sección de fraccionamiento 210 tiene dos objetivos: a) separar los gases no condensables que serán dirigidos al motor (ver más abajo) sin gotas de aceite en su interior; b) separar la fracción más pesada ($T > 260$ °C) en caso de régimen de arranque, no de régimen estacionario, etc., evitando mezclar esta fracción con el flujo ligero. En estos casos, la válvula v6 interrumpe la conexión con el flujo F11 que se acumula en el condensador S.5 o se desvía (no mostrado en la figura) en un tanque fuera de especificación.

Obviamente, se puede instalar una columna de destilación en lugar de este proceso logrando un fraccionamiento efectivo en más flujos (GNC, combustible para aviones, gasolina, queroseno, fuera de especificación). La elección se debe a razones económicas y a la distancia del sitio de la refinería.

El flujo de gas no condensable F15 se envía a través de la línea de gas no condensable 35 a una válvula de tres vías controlada v8 que divide el flujo F15 en dos flujos: en primer lugar, se envía el flujo de retorno de gas combustible reciclado F16, que puede ser cero a la cámara de combustión V.2 a través de la línea 38 de retorno de gas combustible reciclado y el puerto 39 de entrada de gas combustible reciclado (ver la Fig. 1a) preferiblemente a 25 °C para proporcionar combustible adicional para la combustión y garantizar que se alcance la temperatura operativa de configuración de la cámara de combustión V.2 y, por lo tanto, la temperatura deseada del flujo de partículas calientes F7. En segundo lugar, la mayor parte del flujo F15 se envía como flujo de gas combustible reciclado F17 a través de la línea 40 de gas combustible reciclado a un motor de combustión E.3 donde también se envía un flujo de aire, preferiblemente una corriente parcial del flujo de aire precalentado FA2 alimentados para producir gases de combustión y energía eléctrica. La cantidad de electricidad producida es variable, pero el motor E.3 alimentado con gas combustible produce aproximadamente 0.4 kWh/kg de poliolefinas alimentadas F2. Los gases de combustión se envían a través de la línea 42 de gases de combustión al equipo de tratamiento de gases de combustión y salen de la planta a través de una chimenea E.6.

Volviendo al gas de combustión producido por la cámara de combustión V.2, extraído del separador ciclónico S.2 a través de la sección 32 de la línea de gas de combustión, después del intercambiador de calor HE.2 se envía como flujo de gas de combustión F23 a otro intercambiador de calor HE.3 a través de la sección 44 de la línea de gases de

combustión para calentar el flujo de aire de combustión FA1/FA2 a la temperatura deseada. En el presente caso, la temperatura de precalentamiento para el flujo FA2 se ha fijado preferentemente en 250 °C. Después de pasar por el intercambiador de calor HE.3, el flujo de gases de combustión F23.3 a preferiblemente 510 °C se conduce a través de la sección 46 de la línea de gases de combustión a un enfriador seco HE.4 o una torre de enfriamiento, dependiendo del tamaño de la planta y el posible uso del calor. Esto lleva la temperatura de los gases de combustión a una temperatura compatible con el funcionamiento del depurador (preferiblemente <130 °C, en este ejemplo 120 °C). La siguiente unidad de depuración E.4, a la que se conduce el flujo de gases de combustión F23.4 a través de la sección 48 de la línea de gases de combustión, elimina de los gases de combustión las partículas finas liberadas desde la cámara de combustión V.2, reduce la temperatura y realiza la eliminación de ácido clorhídrico debido a la corriente de gases de escape. El flujo de gases de combustión F24 así limpio sale de la planta a través de la chimenea E.6.

En la realización ejemplar mostrada en la Fig. 1b, entre los intercambiadores de calor HE.2 y HE.3, se conecta una bomba de gases de combustión p6 o un ventilador en el tramo 44 de la línea de gases de combustión para favorecer el flujo de gases de combustión. Se pueden conectar bombas de gases de combustión alternativas o adicionales a otras secciones, por ejemplo 32, 46, 48, de la línea de gases de combustión. El conjunto de tramos de línea de gases de combustión, en particular 32, 44, 46, 48, constituye una línea de gases de combustión 92.

La planta general se completa con auxiliares de última generación que se muestran en la sección 300 de la Fig. 1c tales como suministro de agua dulce, suministro de agua de refrigeración, depósitos para los productos de destilación, líneas, válvulas y bombas. Sin embargo, no son parte integral del funcionamiento de la invención y, por lo tanto, no es necesario describirlos aquí en detalle.

Descripción detallada del concepto de reactor de craqueo.

El reactor de craqueo V.1 utilizado en la planta de acuerdo con la Fig. 1a es preferiblemente un reactor de dos zonas donde se garantiza un comportamiento de reactor de tanque agitado continuo (CSTR) en la zona media mientras que se alcanza un comportamiento de flujo laminar (PFR) en la zona superior con esencialmente dos tipos de corrientes de entrada: el tipo principal es dedicado al flujo de entrada de plástico F1, preferentemente en estado fundido como flujo F2, y preferentemente, pero no necesariamente, complementado por el flujo F6 de productos de pirólisis líquidos (pesados) reciclados, empujado por una bomba si es necesario, mientras que el otro está constituido preferentemente por partículas inertes (arena de cuarzo o sílice, esférulas recubiertas de cerámica, etc.) que tengan preferentemente un diámetro medio comprendido entre 50 micras y algunos milímetros y una dureza y capacidad calorífica elevadas. Este flujo de partículas (recicladas) F7 se calienta previamente en otro reactor, concretamente la cámara de combustión V.2, donde se transfiere una entalpía deseada a un flujo másico determinado de partículas de arena (consulte la siguiente sección para obtener más detalles). La topología básica de los flujos de entrada y salida con respecto al reactor de craqueo V.1 también se visualiza en la Fig. 2, que describe la estructura espacial de una realización ventajosa y los principales patrones de flujo de partículas y productos de pirólisis que se producen en el reactor V.1 durante el funcionamiento.

La Fig. 2 muestra también la conexión peculiar entre el reactor de craqueo V.1 y la cámara de combustión V.2. La cámara de combustión V.2 es alimentada por el flujo principal F5/F8 compuesto de carbones y partículas y por el flujo F16 de gas combustible reciclado, si es necesario, y por el flujo FA2 de aire precalentado. Este último tiene la función crucial de garantizar el transporte de partículas a lo largo del tubo ascendente de la cámara de combustión V.2, garantizando así un régimen de transporte. La velocidad del gas depende de las propiedades de las partículas; en el ejemplo, la velocidad de los gases de combustión es de aproximadamente 5 m/s. El puerto de salida de productos y partículas de la combustión 29 de la cámara de combustión V.2 está situado más alto que el puerto de entrada de partículas 23 al reactor de craqueo V.1 y, por lo tanto, el reflujo de partículas al reactor de craqueo V.1 está sostenido por la gravedad.

El calor sensible contenido en el flujo de partículas F7 lleva la temperatura dentro del reactor de craqueo V.1 al rango deseado alrededor de preferiblemente 480 °C. La tasa de intercambio de calor entre las corrientes de entrada entremezcladas dentro del reactor de craqueo V.1 es realmente rápida debido a la multitud de partículas (por ejemplo, > 400 millones para partículas de arena de 350 micrones) que se fusionan con el flujo plástico y al diseño peculiar del reactor que ahora se describirá con más detalle. La relación de masa entre el flujo másico de partículas y el flujo de polímero es aproximadamente 3, pero se puede cambiar con diferentes partículas o polímeros. La Figura 2 muestra el circuito 94 de las partículas y la ruta de transporte del residuo de carbón/coque desde el fondo del reactor V.1 a lo largo del puerto 24, hasta la línea de tornillo de transporte 25, hasta el fondo de la cámara de combustión V.2. Aquí, el flujo de aire FA2 introducido a través de los puertos 28 transporta las partículas y quema el carbón/coque a lo largo de la columna. Puede haber varios puertos de entrada de aire de combustión 28 dispuestos a diferentes alturas del tubo ascendente. A la salida, un separador ciclónico S.2, u otro dispositivo equivalente, separa los productos de la combustión y el flujo de salida de partículas F19 en el flujo de partículas F7 y el flujo de gases de combustión F22.

Por lo tanto, la Fig. 3 muestra un esquema longitudinal de un reactor de craqueo V.1 ventajoso de la planta de producción de plástico y aceite de acuerdo con la Fig. 1 y Fig. 2, en la que la densidad del material interior se indica mediante sombras. El tono oscuro está relacionado con una alta densidad de partículas con un vacío limitado.

El reactor de craqueo V.1 comprende un recipiente de reactor vertical 60 que a su vez comprende, de arriba a abajo,

- una tapa/cubierta 62 esencialmente esférica o de tipo calota en la parte superior,
- 5 • un cuerpo principal esencialmente cilíndrico (sección III),
- una sección cónica, estrechada o doblemente cónica (sección II), y
- 10 • una sección de salida esencialmente cilíndrica en la parte inferior (sección I)

con una cámara circunferencial donde se dirige el polímero fundido para ser inyectado en la sección II desde la zona inferior hasta la zona media. En la sección II, el diámetro del recipiente de reactor 60 aumenta de abajo hacia arriba y, después de una cierta altura o volumen, disminuye hacia arriba, es decir, desde el valor asociado con la sección II hasta el valor (más pequeño) asociado con la sección III. La sección III y la sección II juntas tienen aproximadamente la forma de un embudo invertido.

El espacio interior dentro de la sección III está esencialmente dividido en dos subespacios por una pared divisoria interna 64: en primer lugar, el espacio interior 74 rodeado/encerrado por la pared divisoria 64, y en segundo lugar el espacio intermedio 72 entre la pared divisoria 64 y la pared 70 del recipiente de reactor. La pared divisoria 64 proporciona una barrera de material pero preferiblemente es bien conductora del calor. Más precisamente, la pared divisoria 64 comprende una sección de pared divisoria 66 esencialmente cilíndrica en disposición coaxial con el cuerpo principal cilíndrico del recipiente de reactor 60 y una tapa de pared divisoria 68 esencialmente esférica o de tipo calota que sigue el contorno de la tapa 62 del recipiente de reactor 60. Por lo tanto, el espacio intermedio 72 entre la pared divisoria 64 y la pared del recipiente de reactor 70 comprende una parte circunferencial en forma de anillo/anular (canal de bajada 80) y una parte superior curvada, definiendo en total un espacio intermedio en forma de U interconectado (al revés) 72 o canal alrededor del espacio interior 74 en la vista en sección de la Fig. 2. En el extremo inferior de la pared divisoria 64, que se encuentra aproximadamente a la altura del paso/transición de la sección III a la sección II, el espacio intermedio 72 se abre después de una ampliación al interior del recipiente de reactor 60 a través de aberturas inferiores 76. La distancia de la pared divisoria 64 a la pared del recipiente de reactor 70 se elige de manera que la anchura del espacio intermedio 72 sea pequeña en comparación con el diámetro total del recipiente de reactor 60. En otras palabras, el espacio intermedio 72 define un canal circunferencial estrecho en comparación con el espacio interior 74 relativamente ancho.

Los deflectores circunferenciales 77 que dentro de la sección II sobresalen de la pared del recipiente de reactor 70 hacia el interior del recipiente de reactor 60 pueden tener diferentes ángulos de inclinación y longitud. Permiten transformar el vector de velocidad vertical del flujo de partículas que se descarga a través de las aberturas 76 en un vector tangencial, permitiendo o apoyando de este modo la mezcla dentro del recipiente de reactor 60. Los deflectores 77 permiten afectar el tiempo de residencia de las partículas y polímeros inyectados desde aberturas/boquillas adyacentes, evitando así que ambos bajen al fondo del recipiente sin un tiempo de reacción adecuado.

La pared divisoria 64 comprende preferiblemente una serie de orificios o aberturas 78 más altos (en comparación con las aberturas 76 inferiores), preferiblemente distribuidos uniformemente sobre el área vertical (en forma de cilindro), definiendo así pequeños pasos de flujo desde el espacio intermedio 72 al espacio interior. 74, evitando el canal bajante circunferencial 80. Dependiendo de la escala, las aberturas 76 pueden estar presentes o no.

Los detalles de la construcción y la geometría pueden variar, pero aquí es importante un espacio intermedio 72 entre una pared externa y una interna (pared doble). Como se describe más adelante, el espacio intermedio 72 proporciona un canal de flujo para el flujo de partículas calientes entrante F7 que está en relación de intercambio de calor con el flujo de producto dentro del espacio interior 74 del recipiente de reactor 60 y que tiene una geometría de salida también bien definida para promover la mezcla de los diferentes flujos.

El flujo de plástico/polímero se envía a través de un tubo de la línea de alimentación 4 bajo una presión preferentemente superior a 50 bar a un volumen o cámara preferentemente circunferencial 82, que está situada en la sección I alrededor de la salida cilíndrica de carbón y partículas y que está conectada a través de una serie de aberturas de distribución u orificios pasantes (distribuidores), en particular toberas 84, en la pared del recipiente de la zona de transición en forma de cono a la sección II. Los distribuidores o boquillas 84 están preferentemente uniformemente distribuidos sobre la circunferencia del área del cono anular, y están situados preferentemente debajo de los deflectores 77. La diferencia de presión entre la cámara 82 y el recipiente 60 crea corrientes de plástico/polímero a alta velocidad dentro de la sección II del reactor. La cámara preferentemente anular 82 o cámara impelente funciona como un anillo de distribución, distribuyendo el flujo de fusión de plástico entrante a los distribuidores o boquillas 84.

La presión de preferentemente más de 50 bar en la cámara anular 82 o pleno se alcanza gracias a la fuerza motriz realizada por el equipo de alimentación y preacondicionamiento E.1, que comprende preferentemente una extrusora, y está correlacionada con la forma y el tamaño de las boquillas 84 (ver Fig. 3 y Fig. 4). El valor depende de la caída de presión de las 84 boquillas. Un número determinado de boquillas 84 que tienen un tamaño y forma dados permite crear una caída de presión superior a 50 bar, promoviendo así un flujo presurizado hacia el recipiente de reactor 60,

de modo que el polímero fundido inyectado esté en un estado similar al líquido (por encima de un valor umbral de densidad correspondiente).

Por lo tanto, la línea de alimentación 4 que transporta el flujo de entrada de flujo de fusión de plástico F2 después del
5
preacondicionamiento del flujo de entrada F1 de desechos plásticos en el equipo de alimentación y
preacondicionamiento E.1 se descarga en el recipiente de reactor 60 a través del puerto de entrada de flujo de fusión
de plástico 5 y las boquillas 84 aproximadamente en la sección II. La línea de recirculación de productos de pirólisis
20 que transporta el flujo F6 de productos de pirólisis líquidos (pesados) reciclados se descarga preferiblemente en el
recipiente de reactor 60 a lo largo de la línea de recirculación 20 y el puerto de entrada 21 que está ubicado
preferiblemente encima de los deflectores 77 en la sección II. Alternativamente, puede haber una abertura de descarga
separada en el recipiente de reactor 60, preferiblemente a la altura de la sección I. La línea de recirculación 20 también
puede estar ausente si la fracción pesada se produce en pequeña cantidad o no se produce en absoluto.

La línea de alimentación de partículas recicladas 22 que transporta el flujo de partículas recicladas F7 de partículas
15
limpias y calentadas provenientes de la cámara de combustión V.2 se descarga en la región superior del recipiente,
preferiblemente en el centro de la cubierta superior 62. Por lo tanto, el flujo de partículas calientes se inyecta en el
espacio intermedio 72 y posiblemente se divide en dos partes: en primer lugar, un flujo descendente en el canal anular
de bajada 80 que ingresa al interior del recipiente de reactor 60 en el extremo inferior de la pared divisoria 64 a través
de aberturas inferiores 76, y en segundo lugar un flujo en forma de pulverización a través de las aberturas laterales 78
20 en la zona superior de la pared divisoria 64, evitando así el canal de bajada circunferencial 80.

La línea de salida de productos de pirólisis 7 que transporta el flujo de salida F4 de productos de pirólisis desde el
reactor de craqueo V.1 está conectada preferiblemente a la parte superior de la sección III del recipiente de reactor 60
a través del puerto de salida de productos de pirólisis 6. La conexión de línea llega a través del espacio intermedio 72.
25 En otras palabras, el puerto de salida de productos de pirólisis 6 o la abertura hacia la línea de salida 7 está ubicado
dentro de la tapa de la pared divisoria 62 de manera que el flujo de salida F4 a través de dicha línea no interfiere con
el flujo de entrada de partículas calientes en el canal de bajada circunferencial 80. Además, la disposición es
preferiblemente tal que el flujo de salida de pirólisis no interfiere con el flujo de entrada de partículas a través de las
aberturas 78.
30

Además, el flujo de salida F5 de carbones y partículas reunidas en el recipiente de reactor 60 como consecuencia del
proceso de pirólisis dentro del recipiente se extrae en el fondo de la sección I y se conduce a través del puerto de
salida de carbones y partículas 24 a la línea de salida de carbones y partículas 25.

El flujo F5 se dirige a un recipiente amortiguador 85, mantenido bajo depresión y posiblemente bajo flujo de nitrógeno
a través de la entrada de nitrógeno 88, para formar una cabeza estática 86. El alimentador 87, que forma parte del
sistema de transporte y dosificación E.2 indicado en la Fig. 1, extrae el flujo de carbones y partículas, dirigiéndolo a la
cámara de combustión V.2. La presión estática y la inertización mediante el uso de nitrógeno permiten evitar el (reflujo)
de gas oxidante desde la cámara de combustión V.2 al pirólizador/reactor de craqueo V.1. Aquí también se ubica una
40
válvula de seguridad v3 para proporcionar un cierre inmediato de la línea (Fig. 1a). Una línea de ventilación 89 unida
al recipiente de compensación permite dirigir el gas de pirólisis hacia la cámara de combustión mediante una bomba
dedicada para evitar la sobrepresión en el alimentador y la combustión no deseada en un volumen limitado del
alimentador en la entrada de la cámara de combustión, donde es posible la difusión de oxígeno.

Como será aún más evidente a partir de la descripción posterior de la hidrodinámica dentro del recipiente de reactor
60 (ver la siguiente sección), el diseño del reactor especificado anteriormente está optimizado para promover un
calentamiento uniforme evitando áreas/puntos calientes y para promover una mezcla perfecta. El espacio intermedio
72 es donde el flujo de partículas intermedias calientes promueve un calentamiento indirecto en la zona superior del
espacio interior 74. Cuando las partículas calientes en el canal de bajada 80 alcanzan la zona media del recipiente de
50
reactor 60 a través de las aberturas inferiores 76, ingresan al interior del reactor mezclándose con la velocidad de
alimentación de polímeros, y luego la reacción ocurre con alta eficiencia. El propósito del posible flujo de partículas a
través de los orificios 78 hacia el interior de la zona superior del recipiente de reactor 60 es equilibrar la pérdida de
calor en la zona superior debido a la finalización de las reacciones (reacciones endotérmicas). Se evita la disminución
de la temperatura para mantener la velocidad cinética en un nivel alto. Sin embargo, las aberturas 78 no son necesarias
55 en todos los casos y pueden evitarse por completo.

El reactor de craqueo V.1 está diseñado para tener un diámetro interno capaz de promover una velocidad superficial
del gas de los productos de pirólisis mucho mayor (aproximadamente 3 veces) que la "velocidad mínima de
fluidización" de la arena. Esto significa que:

$$U_g = \frac{W_{materia_reacción} / \rho_{materia_reacción}}{S_{zona\ media}} \gg U_{mf} [m/s]$$

Dónde: U_g es la velocidad superficial del gas; U_{mf} es la velocidad mínima de fluidización en función de las propiedades
de las partículas y la temperatura del reactor; $W_{materia_reacción}$ es la tasa de masa de los productos de pirólisis; $S_{zona\ media}$

es la sección transversal del reactor calculada teniendo en cuenta el vacío del lecho, función del diámetro interno del reactor, en relación con la sección II.

5 La mezcla en el reactor es entonces promovida por el flujo de partículas calientes alimentadas a diferentes niveles del recipiente de reactor 60 como se explicó anteriormente.

10 Como se describió anteriormente con referencia a la Fig. 1 y 2, en el fondo (sección I) del recipiente de reactor 60, las partículas se acumulan junto con productos más pesados producidos por las reacciones químicas, incluidos los subproductos carbonosos (carbón). Desde esta zona un sistema de transporte y dosificación (alimentador) E.2 transporta las partículas y el carbón adherido a ellas hasta una cámara de combustión arrastrada V.2 donde se queman el carbón, los residuos plásticos y los alquitranes, por lo tanto las partículas se limpian y también se calientan a la temperatura de la cámara de combustión, que está preferiblemente entre 750 y 1000 °C. El separador ciclónico S.2 posterior está montado preferiblemente en la parte superior de la cámara de combustión V.2 y preferiblemente está equipado en el lado aguas abajo con una válvula rotativa v1 que distribuye de manera controlada las partículas regeneradas y calentadas en el reactor de craqueo V.1.

15 Este circuito se puede reproducir infinitamente, evitando así métodos costosos de producir y proporcionar calefacción, así como el uso de piezas mecánicas dentro de los reactores para mezclar, para mantener los costos de eliminación de carbono y residuos.

20 Además, permite controlar el nivel de temperatura en el reactor de craqueo V.1 simplemente aumentando el contenido de energía de las partículas calientes. Como se describió anteriormente, se puede alimentar una entrada adicional de gas combustible (reciclado) dentro de la cámara de combustión V.2 a través de la línea 38 de retorno de gas combustible reciclado para manipular el balance de energía en el caso de que el flujo extraído por el reactor de craqueo V.1 no contenga suficiente calor de combustión para la cámara de combustión V.2 (preferiblemente, tanto el flujo másico de partículas como la temperatura en la cámara de combustión V.2 pueden regularse).

25 Una variante de la realización de acuerdo con la Fig. 3 se muestra en la Fig. 4. En este caso, una serie de tubos verticales 95 están dispuestos dentro de la Sección III del recipiente de reactor 60. En el extremo superior, el respectivo tubo vertical 95 está conectado de forma fluida con la región superior del espacio intermedio 72. Es decir, el tubo vertical 95 comprende una abertura de entrada 96 que está dispuesta en la tapa de la pared divisoria 68. En el extremo inferior, el respectivo tubo vertical 95 comprende una abertura de salida 97, que sopla hacia el interior del recipiente de reactor 60. Preferiblemente, la respectiva abertura de salida 97 está dispuesta en una zona inferior de la sección III, justo encima de la transición a la sección II. Por lo tanto, una fracción de la corriente de partículas que entra a través del puerto de entrada de partículas 23 al espacio intermedio 72 se conduce directamente a los tubos verticales 95, dejándolos en las aberturas de salida inferiores 97 y, por lo tanto, evitando el canal bajante 80. Esto se prefiere, especialmente para reactores más grandes, para promover una distribución uniforme de partículas desde arriba hacia abajo. Por lo demás, el diseño del reactor es como en la Fig. 3.

40 Hidrodinámica

El reactor de craqueo V.1 descrito anteriormente con referencia a la Fig. 3 y Fig. 4 se puede dividir prácticamente en tres zonas:

- 45 • La zona del fondo (sección I) donde está presente una alta densidad de partículas y sólidos y se forma un lecho fijo.
- La zona media (sección II) donde el flujo de plástico entrante ingresa al recipiente de reactor a través de las boquillas 84 y se mezcla con partículas, ocurriendo así el craqueo. Aquí las partículas quedan suspendidas en la mezcla líquido-vapor creando una especie de comportamiento de fluidización autogenerado ayudado por el impulso de las partículas cuya dirección es modificada por los deflectores 77.
- 50 • Finalmente, la zona superior (sección III) está más diluida y ocupada en gran medida por vapores. En esta zona el régimen hidrodinámico es cercano a laminar y el coeficiente de transferencia de calor es mucho menor con respecto a la zona media.

55 Para aumentar la tasa de transferencia de calor entre el espacio intermedio 72 y el interior de la sección III se utiliza un diámetro reducido de esta última sección. En el caso de un reactor muy grande, una parte del flujo F7 de partículas calientes debería dirigirse aquí a través de las aberturas 78 para equilibrar la caída de temperatura, o debería añadirse una serie de tubos verticales para crear una superficie de intercambio más grande. Desde el punto de vista químico, la zona media es donde se produce el craqueo, mientras que la zona superior es donde se completan las reacciones secundarias y terciarias, incluidas la ciclación y la isomerización, junto con el craqueo de las ceras. Las densidades de mezcla en la zona media y en la parte superior tienen valores diferentes variando de 500 kg/m³ a 2 kg/m³.

60 El valor de velocidad superficial del gas alcanzado en la zona media del reactor hace que el número de Reynolds sea muy alto y, como consecuencia, el régimen hidrodinámico sea turbulento. Este alto valor del número de Reynolds permite alcanzar un coeficiente convectivo de transferencia de calor muy grande. El cálculo de este coeficiente de

5 convección (h) debe hacer referencia a la teoría del intercambio de calor en lechos fluidizados, considerando la zona media del reactor como una especie de lecho fluidizado sin ninguna adición de gas fluidizante externo. La aplicación de ecuaciones y el conjunto de propiedades físico químicas de la mezcla a la temperatura del reactor, llevaron a evaluar el número de Nusselt y, a partir de este último, el calor de convección (h). El valor de "h" depende del espesor virtual del polímero alrededor de cada partícula. El valor h oscila entre 2000 W/m² °C (mejor caso) y 449 W/m² °C (peor caso). Cualquiera que sea el valor de h, el tiempo de calentamiento necesario para alcanzar la temperatura de reacción es inferior a unos pocos segundos.

10 Luego, el proceso de reacción está controlado por la tasa cinética de conversión química. Luego se obtiene el volumen del reactor utilizando la ecuación cinética. La cinética de primer orden permite obtener el tiempo de residencia (t_R) fijando el grado de conversión (x_R), la temperatura del reactor (T_R) y los parámetros cinéticos (E, k₀). A partir de: x_R=1-exp(-k t_R) donde k=k₀·exp(-E/RT)=2,4·10⁹·exp[-156000/8,31/(273T_R)] = 3.7·10⁻²s⁻¹ (a 480 °C), el tiempo de residencia es: t_R=160s.

15 El volumen requerido de reactor necesario para convertir poliolefinas en aceite con la invención es de unos pocos litros para cada velocidad de alimentación de polímero (por ejemplo, de 3 a 6 litros/(kg/h) para una alimentación y una temperatura de reactor determinadas), mucho menor que otras tecnologías en las que el reciclaje masivo de productos de pirólisis al reactor, utilizados para promover la mezcla y el intercambio de calor, requiere un volumen muy grande.

20 Balance de masa y energía.

El balance de masa y energía de los procesos principales en una planta de acuerdo con la invención para un caso típico con valores dados de las tasas de alimentación de masa de polímeros y partículas se muestra en la Fig. 5 y en la Tabla 1 asociada (leyenda).

25 Con referencia a los flujos de energía, la flecha correspondiente dentro de los reactores representa: el calor de las reacciones endotérmicas (flecha de interno a externo), es decir el calor que deben proporcionar al sistema fuentes externas; y el calor de las reacciones exotérmicas (flecha de externo a interno), es decir el calor generado por el sistema.

30 El balance energético se proporciona para mostrar que la energía química del carbono descargado desde el fondo del reactor de craqueo V.1, una vez convertida en energía sensible en la cámara de combustión V.2, es suficiente para garantizar que el reactor alcance la temperatura de reacción deseada. En caso de que la fracción de carbón/coque sea inferior a la esperada por el modelo cinético, una parte del gas combustible, de acuerdo con la Fig. 1b está dirigida a la cámara de combustión para proporcionar la energía química necesaria.

Resumen

40 Las características principales preferidas de la planta de acuerdo con la invención se pueden resumir en forma de tabla como sigue:

Estado físico de la alimentación plástica	Líquido de baja viscosidad
Tipo de reactor	Continuo
Régimen hidrodinámico	Turbulento (durante más del 80 % del tiempo de reacción)
Método de calentamiento	Interno directo (intercambio con partículas calientes)
Velocidad de calentamiento	Muy rápido
Residuos (como alimentación fraccionada)	0 %

45 Entre otras, el sistema de reactores gemelos descrito anteriormente (reactor de craqueo V.1 y cámara de combustión separada V.2) obtiene las siguientes ventajas:

- a) Ningún sólido carbonoso para eliminar como residuo.
- b) Limpieza intrínseca de partículas que pueden reintroducirse en el reactor de craqueo sin necesidad de descarga o reposición.
- 50 c) Calentamiento del flujo de partículas a recircular en el reactor de craqueo hasta una temperatura en un amplio rango de temperaturas (preferiblemente entre 750 y 950 °C).
- d) Fácil regulación de la temperatura del flujo de partículas cambiando las condiciones de combustión (exceso de aire, precalentamiento del aire, combustible adicional).
- 55 e) Cambio de partículas retenidas en el sistema afectando así la temperatura de las partículas recirculadas manipulando el flujo F5.

f) El cambio de tamaño y densidad de las partículas induce el cambio de hidrodinámica en las zonas inferior y superior del reactor.

Lista de símbolos de referencia

5	1	intercambiador de calor
	2	línea de descarga de gas de preacondicionamiento
10	4	línea de alimentación de flujo de fusión de plástico
	5	puerto de entrada de flujo de fusión de plástico
	6	puerto de salida de productos de pirólisis.
15	7	línea de salida de productos de pirólisis.
	10	línea de suministro de medio de enfriamiento
20	12	línea de descarga del medio de enfriamiento
	14	línea de conexión
	16	separador gas-liquido
25	18	línea de escape de gas de pirólisis.
	20	línea de recirculación de productos de pirólisis.
30	21	puerto de entrada de productos de pirólisis reciclados
	22	línea de alimentación de partículas (recicladas)
	23	puerto de entrada de partículas (recicladas)
35	24	puerto de salida de carbón y partículas
	25	línea de salida de carbón y partículas.
40	26	puerto de entrada de carbón y partículas
	27	línea de suministro de aire de combustión
	28	puerto de entrada de aire de combustión
45	29	puerto de salida de productos y partículas de combustión.
	30	línea de salida de productos de combustión y partículas.
50	31	cruce de línea
	32	sección de la línea de gases de combustión
	34	línea de entrada de gas de fraccionamiento
55	35	línea de gas no condensable
	38	línea de retorno de gas combustible reciclado
60	39	puerto de entrada de gas combustible reciclado
	40	línea de gas combustible reciclado
	42	línea de gases de combustión
65	44	sección de la línea de gases de combustión

	46	sección de la línea de gases de combustión
5	48	sección de la línea de gases de combustión
	60	recipiente de reactor
	62	tapa / cubierta
10	64	pared divisoria
	66	sección de pared divisoria cilíndrica
15	68	tapa de pared divisoria
	70	pared del recipiente de reactor
	72	espacio
20	74	espacio interior
	76	apertura inferior
25	77	deflector
	78	apertura más alta
	80	canal bajante
30	82	cámara (plenum)
	84	boquilla
35	85	recipiente de amortiguamiento
	86	cabeza estática
	87	alimentador
40	88	entrada de nitrógeno
	89	línea de ventilación
45	90	separador de fluidos/partículas
	92	línea de gases de combustión
	94	circuito de partículas
50	95	tubo vertical
	96	apertura de entrada
55	97	apertura de salida
	E.1	Equipos de alimentación y preacondicionamiento
	E.2	sistema de transporte y medición
60	E.3	motor de combustión
	E.4	unidad de depuración
65	E.5	amortiguador de succión
	E.6	unidad y chimenea de limpieza de gases de combustión

ES 2 972 407 T3

	F1	flujo de entrada de residuos plásticos
5	F2	flujo de fusión de plástico de entrada
	F3	preacondicionamiento del flujo de gases de escape
	F4	flujo de salida de productos de pirólisis
10	F5	flujo de carbón y partículas
	F6	Flujo de productos de pirólisis líquidos (reciclados)
15	F7	flujo de partículas (recicladas)
	F10	flujo de productos de pirólisis gaseosos
	F11	flujo de productos de pirólisis condensados
20	F12	flujo resultante de mezclar los flujos F11 y F14
	F14	flujo de fase líquida
25	F15	flujo de gas no condensable
	F16	flujo de retorno de gas combustible reciclado
	F17	flujo de gas combustible reciclado
30	F19	Flujo de salida de productos (y partículas) de combustión
	F21	purga/flujo de gas combustible
	F22	flujo de gases de combustión
35	F23	flujo de gases de combustión
	F24	flujo de gases de combustión
40	FA1	flujo de aire de combustión (frío)
	FA2	flujo de aire de combustión (calentado)
45	HE.1	intercambiador de calor
	HE.2	intercambiador de calor/refrigerador
	HE.3	intercambiador de calor
50	HE.4	intercambiador de calor/refrigerador
	HE.5	intercambiador de calor
55	HE.6	intercambiador de calor
	HE.7	intercambiador de calor
	p2	bomba de succión
60	p3	bomba de succión
	p4	bomba
65	p6	bomba de gases de combustión
	p7	soplador de aire

	p8	bomba
5	S.2	separador ciclónico
	S.3	tampón de partículas
	S.5	condensador
10	S.6	condensador
	T.1	tanque de aceite
15	v1	válvula rotatoria
	v3	válvula de seguridad
	v6	válvula mezcladora
20	v8	válvula de tres vías
	V.1	reactor de craqueo
25	V.2	cámara de combustión

REIVINDICACIONES

1. Planta para convertir plásticos en productos petroquímicos, que comprende un reactor de craqueo (V.1) para una reacción de pirólisis o proceso termoquímico, en el que los plásticos se convierten en al menos productos de pirólisis gasificados y carbón vegetal, y que comprende además una cámara de combustión separada (V.2),
- 5 el reactor de craqueo (V.1) comprende un recipiente (60) de reactor con una sección inferior (Sección I), una sección intermedia (Sección II) y una sección superior (Sección III), además el recipiente (60) de reactor comprende un puerto de entrada de plásticos, un puerto (23) de entrada de partículas, un puerto (6) de salida de productos de pirólisis que se descarga desde la sección superior (Sección III), y un puerto (24) de salida de carbón y partículas que se descarga desde la sección inferior (Sección I),
- 10 la cámara de combustión (V.2) comprende un puerto (26) de entrada de carbón y partículas, un puerto (28) de entrada de aire de combustión y un puerto (29) de salida de productos de combustión y partículas,
- 15 el puerto (24) de salida de carbón y partículas del reactor de craqueo (V.1) está conectado al puerto (26) de entrada de carbón y partículas de la cámara de combustión (V.2), y el puerto (29) de salida de productos de combustión y partículas de la cámara de combustión (V.2) está conectado al puerto (23) de entrada de partículas del reactor de craqueo (V.1),
- 20 siendo por tanto el reactor de craqueo (V.1) y la cámara de combustión (V.2) parte de un circuito (94) de partículas que contiene una multitud de partículas sólidas, de modo que durante el funcionamiento las partículas se ciclan desde el reactor de craqueo (V.1) a la cámara de combustión (V.2) y viceversa,
- 25 en el que el reactor de craqueo (V.1) está diseñado de manera que la mezcla en el reactor de craqueo (V.1) se promueve principalmente mediante un flujo de dichas partículas alimentadas desde la parte superior del reactor de craqueo (V.1) esencialmente en contracorriente con un flujo de productos de pirólisis, sin necesidad de dispositivos mecánicos de mezcla,
- 30 caracterizado porque el puerto de entrada de plástico es un puerto (5) de entrada de flujo de fusión de plástico que se abre hacia la sección inferior (Sección I),
- 35 en el que el puerto (5) de entrada del flujo de fusión de plástico alimenta un flujo de fusión de plástico a una cámara (82) anular que se abre hacia la sección media (Sección II) del recipiente (60) de reactor a través de una serie de boquillas (84), que son capaces de inyectar masa fundida de plástico de alta viscosidad con alta presión en el cuerpo del recipiente, en el que la presión está en el intervalo de 50 a 80 bar o incluso más,
- 40 en el que el puerto (23) de entrada de partículas conduce a un canal que al menos en parte se abre hacia la sección media (Sección II), y en el que dicho canal está realizado como un espacio (72) intermedio entre una pared (70) externa del recipiente de reactor y una pared (64) divisoria interna conductora de calor.
2. Planta de acuerdo con la reivindicación 1, en la que un separador (90) de fluido/partículas, que comprende preferentemente un separador ciclónico (S.2), está dispuesto en la conexión entre los productos de la combustión y el puerto (29) de salida de partículas de la cámara de combustión (V.2) y el puerto (23) de entrada de partículas del reactor de craqueo (V.1), de modo que entran principalmente partículas en el puerto (23) de entrada de partículas, pero no productos de combustión fluidicos.
- 45 3. Planta de acuerdo con la reivindicación 2, en la que una línea (92) de gases de combustión conduce los productos fluidicos de la combustión desde el separador (90) de fluido/partículas a una planta de tratamiento de gases de combustión que comprende una unidad de depuración (E.4) o un aparato de tratamiento equivalente.
- 50 4. Planta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el puerto (6) de salida de productos de pirólisis del reactor de craqueo (V.1) está conectado a través de una línea (18) de escape de gas de pirólisis a una sección de fraccionamiento (S.5, S.6) y/o columna de destilación.
- 55 5. Planta de acuerdo con la reivindicación 4 en conexión con la reivindicación 3, en la que un sistema de transferencia de calor está configurado para transferir calor desde un flujo de gas de combustión (F23) dentro de la línea (92) de gas de combustión a un flujo de productos de pirólisis gaseosos (F10) dentro de la línea (18) de escape de gas de pirólisis que conduce a la sección de fraccionamiento (S.5, S.6) y/o columna de destilación.
- 60 6. Planta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que una línea (20) de recirculación de productos de pirólisis está conectada al reactor de craqueo (V.1) de manera que durante el funcionamiento los productos de pirólisis condensados se recirculan al menos parcialmente al reactor de craqueo (V.1).
- 65

- 5 7. Planta de acuerdo con la reivindicación 3, en la que en la línea (92) de gases de combustión está dispuesto un intercambiador de calor (HE.3) de tal manera que el intercambiador de calor (HE.3) transfiere el calor de un flujo de gases de combustión (F23) dentro de la línea (92) de gases de combustión a un flujo de aire de combustión (FA1, FA2) dentro de una línea (27) de suministro de aire de combustión que conduce al puerto (28) de entrada de aire de combustión de la cámara de combustión (V.2).
8. Planta de acuerdo con la reivindicación 4, en la que una línea (38) de retorno de gas combustible reciclado conduce desde la sección de fraccionamiento (S.5, S.6) o la columna de destilación hasta la cámara de combustión (V.2).
- 10 9. Planta de acuerdo con la reivindicación 4 u 8, en la que una línea (40) de gas combustible reciclado conduce desde la sección de fraccionamiento (S.5, S.6) o columna de destilación hasta un motor de combustión (E.3) que está acoplado a un generador eléctrico.
- 15 10. Planta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la cámara de combustión (V.2) comprende un tubo ascendente de flujo arrastrado.

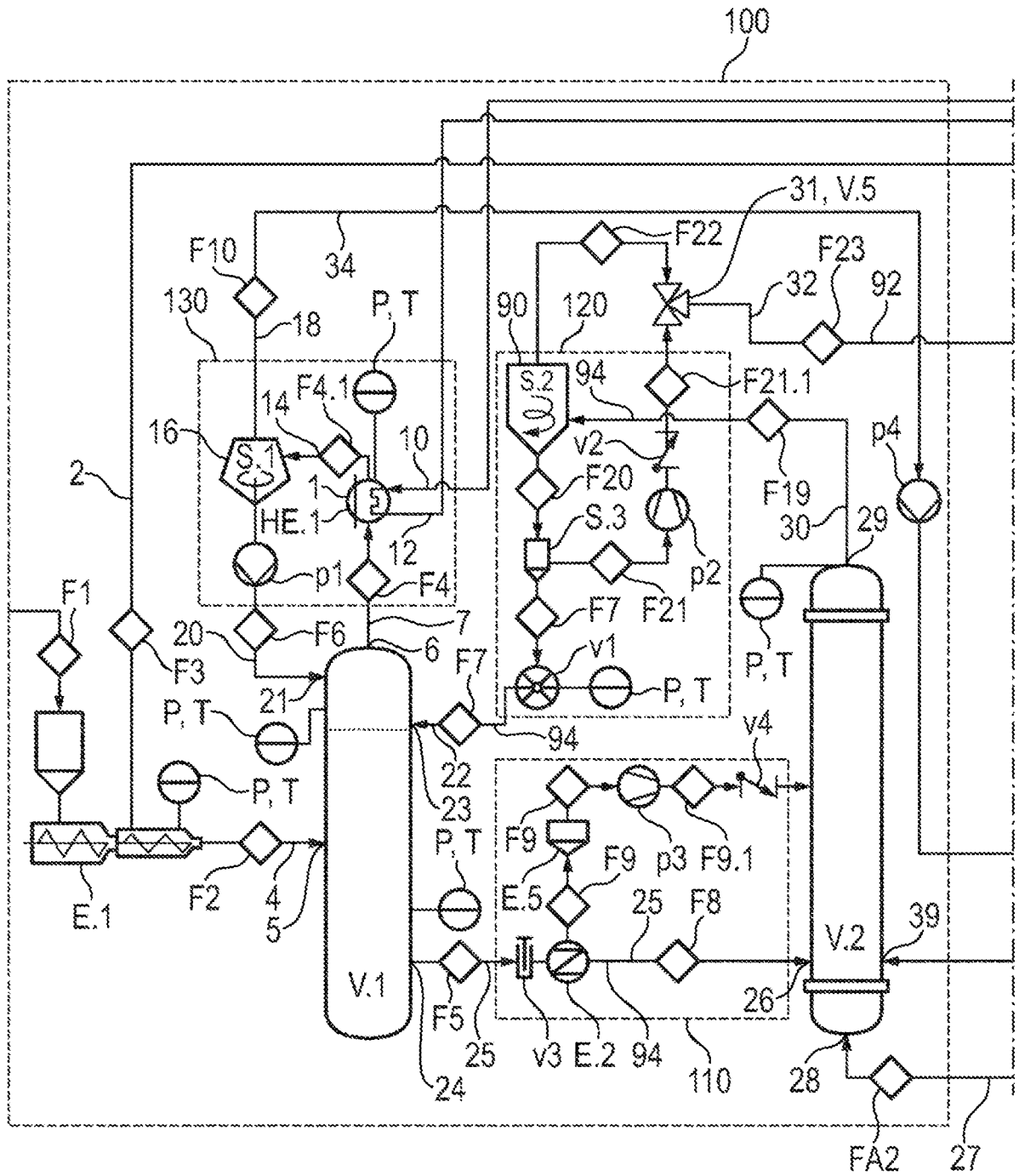


Fig. 1A

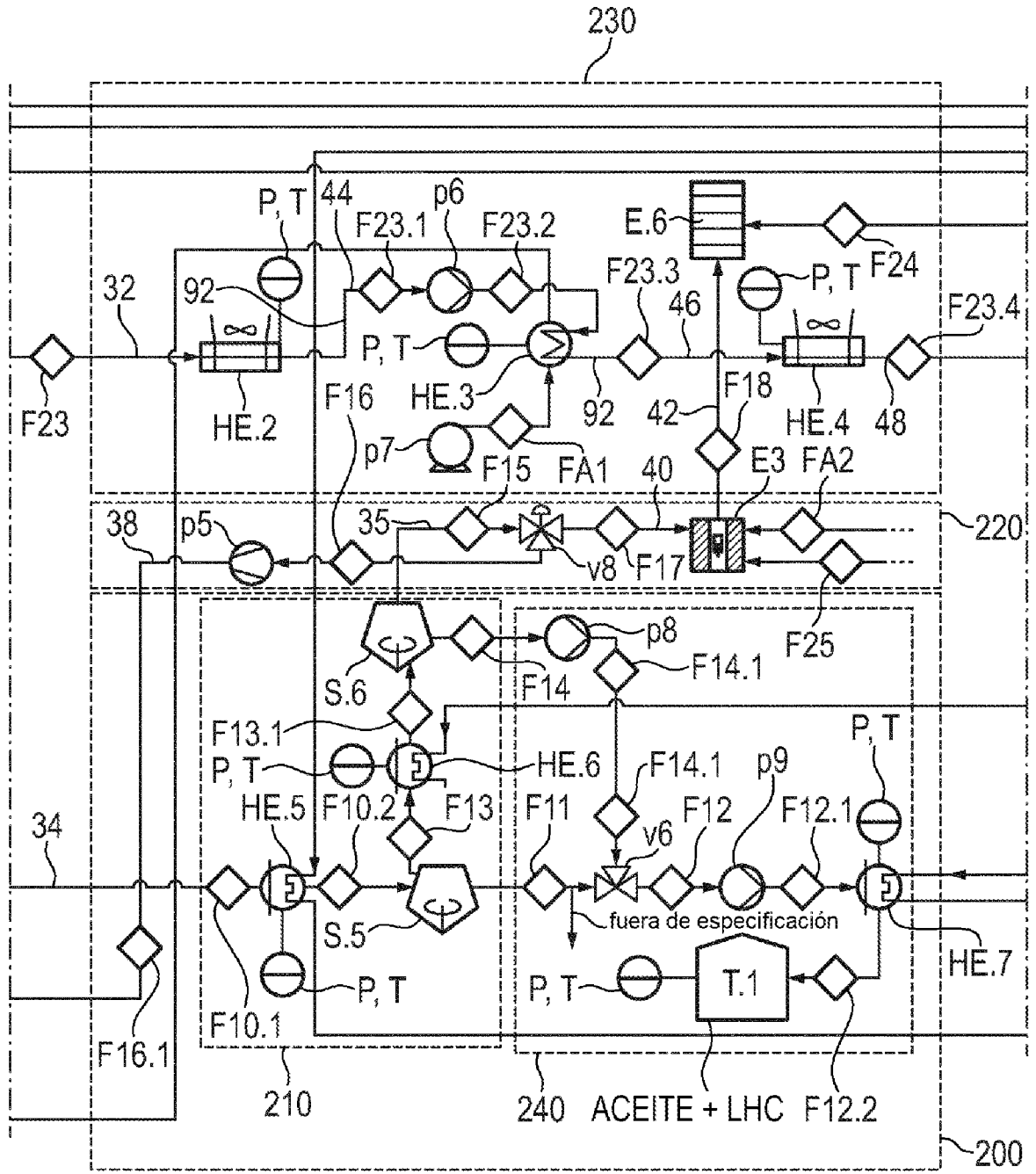


Fig. 1B

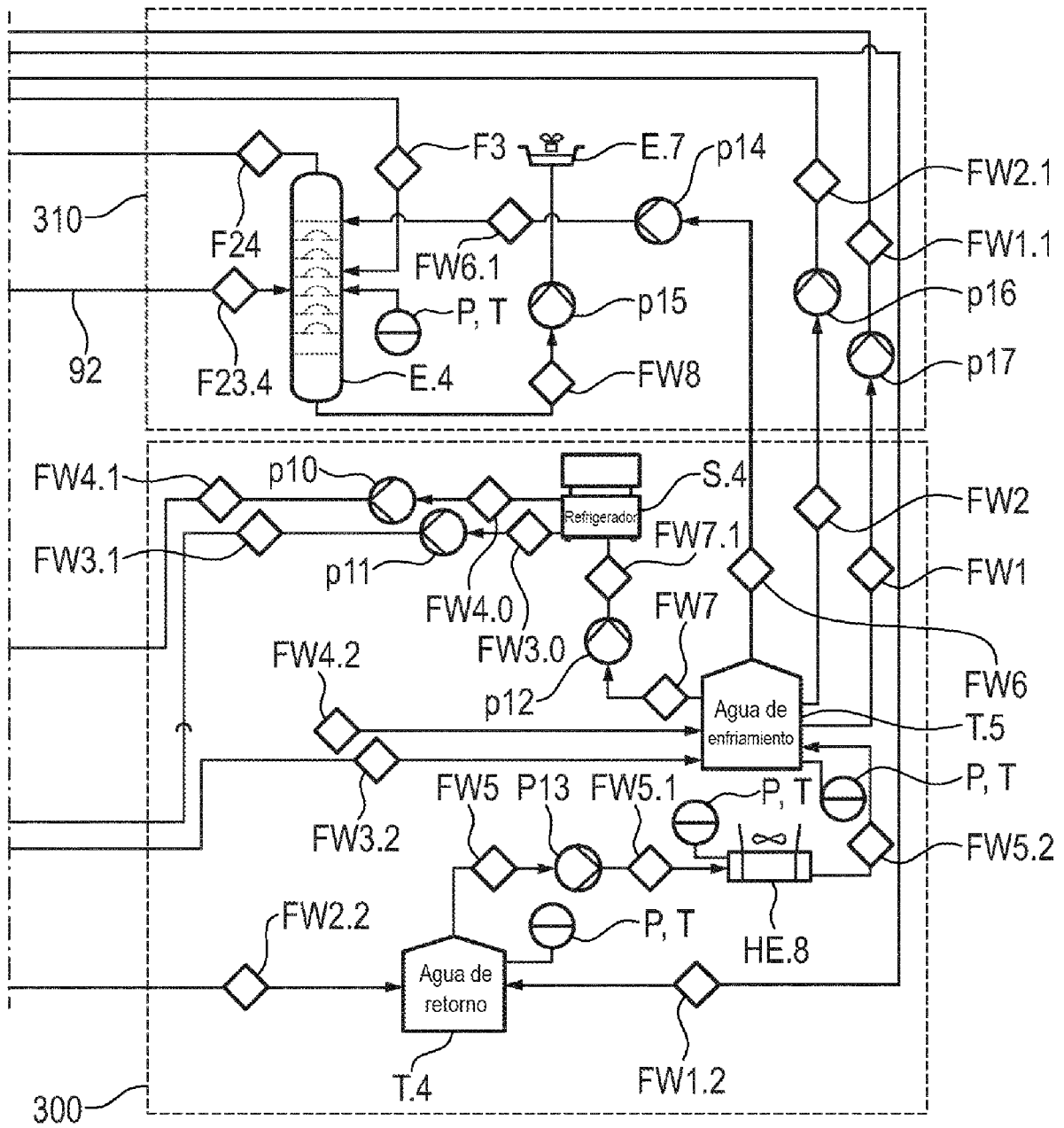


Fig. 1C

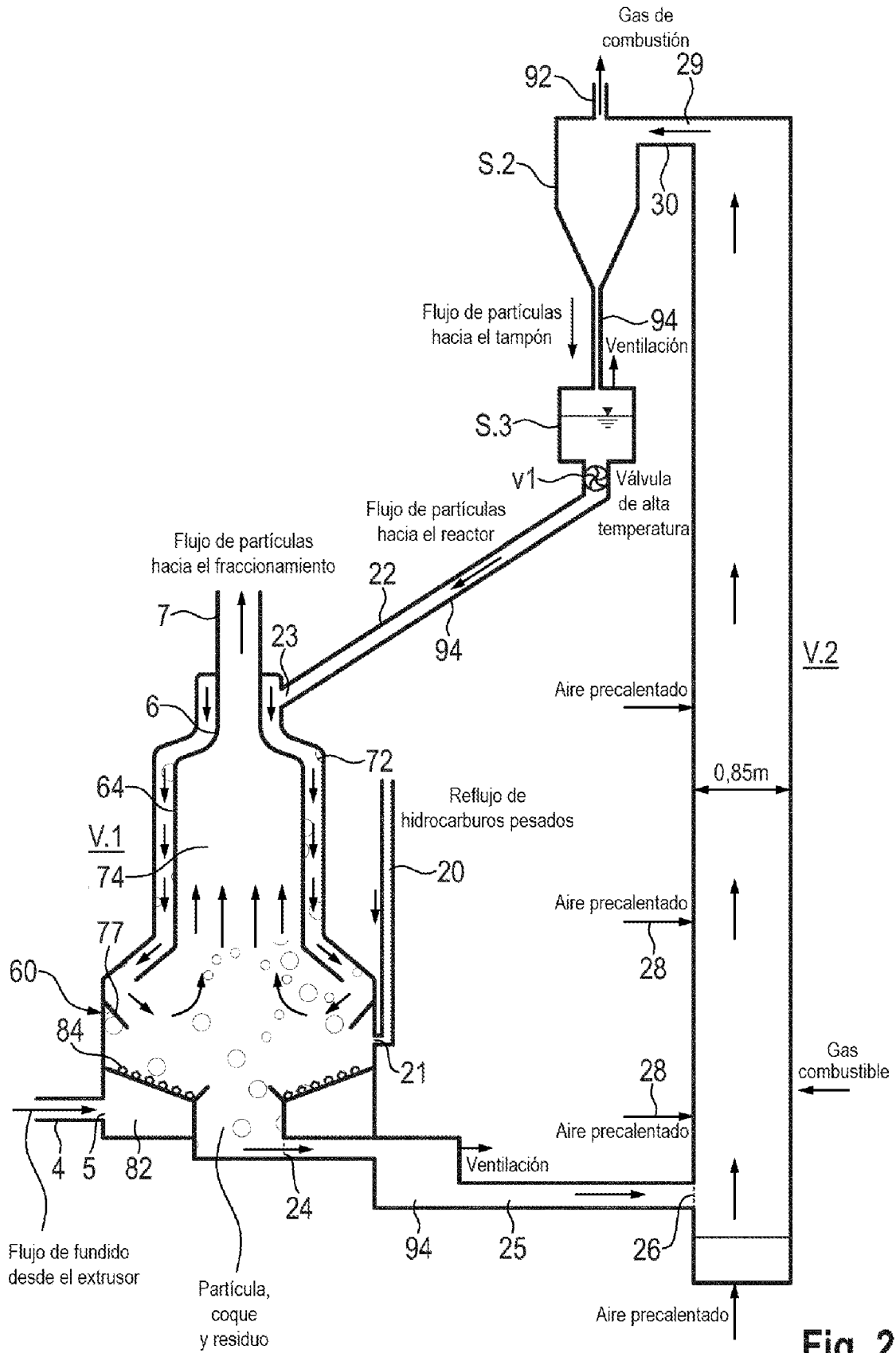


Fig. 2

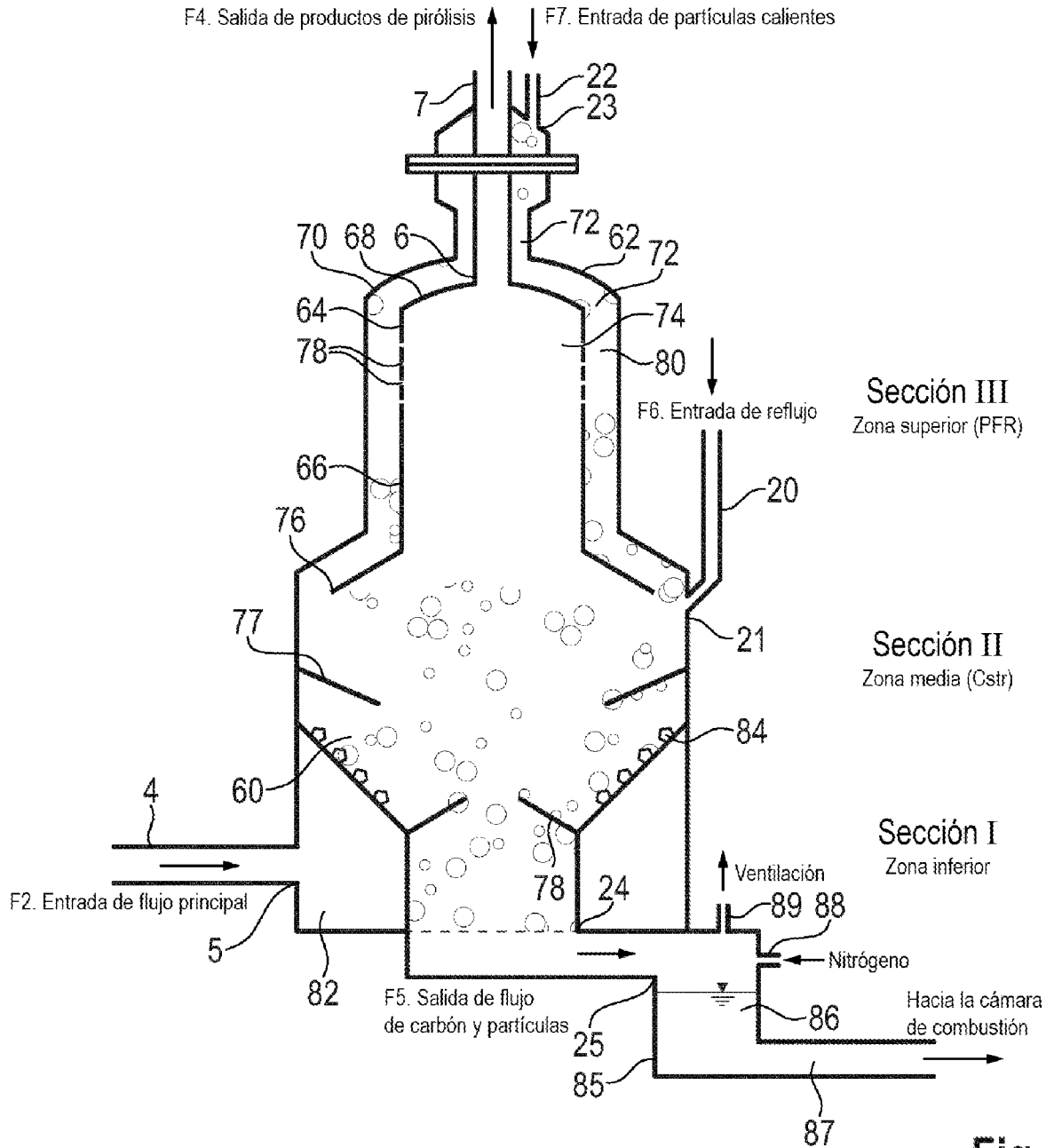


Fig. 3

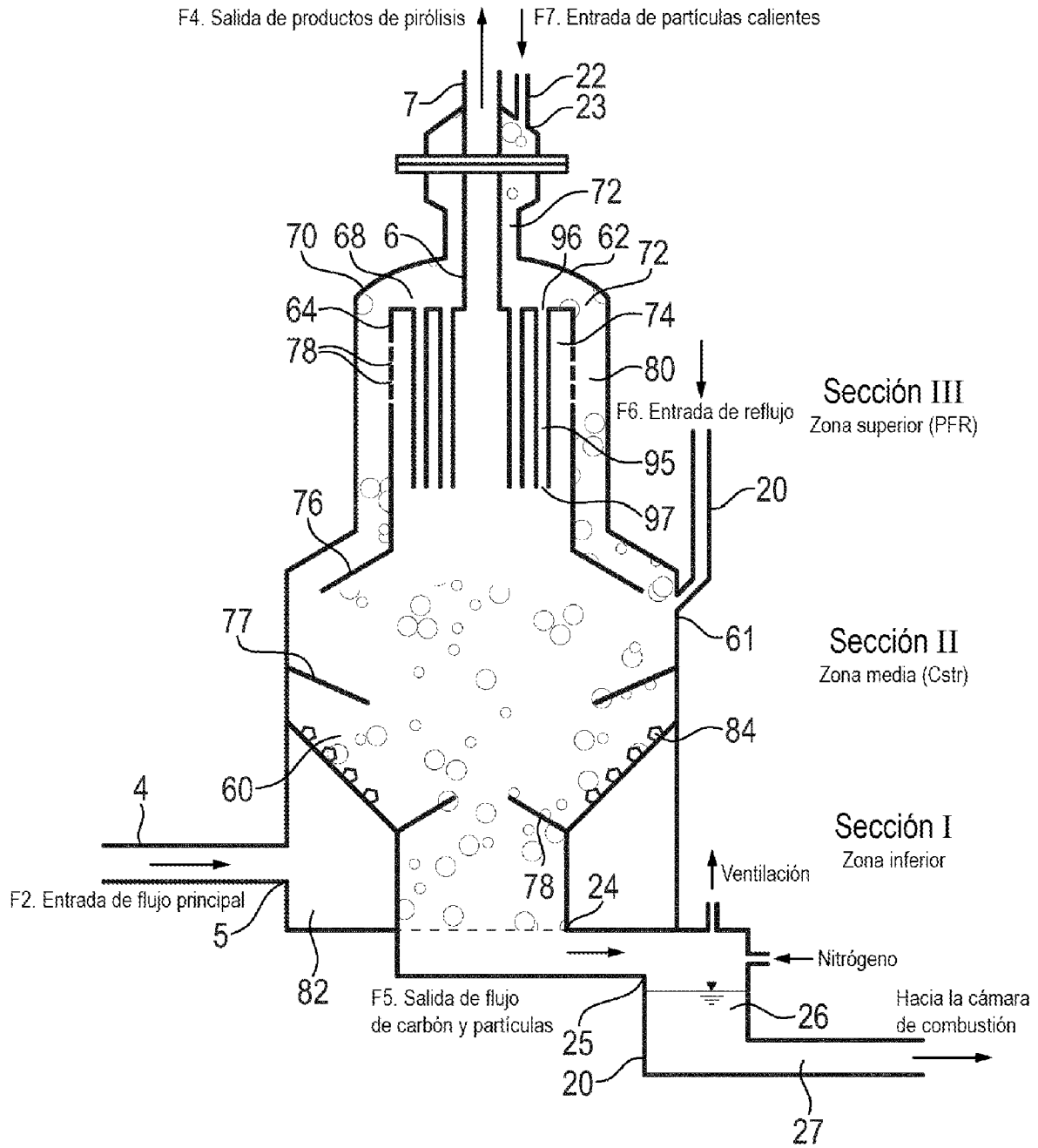


Fig. 4

	Rango T, °C	# de flujo	Flujo másico, t/h	Flujo de calor, MW
ENTRADA	350-400	0	1,77	0,436
SALIDA	na	1	-	0,123
ENTRADA	250-280	2	0	0
SALIDA	450-530	3	1,55	0,559
ENTRADA	700-900	4	5,5	0,782
SALIDA	400-500	5	5,7	0,536
ENTRADA	na	6	-	1,61
ENTRADA	200-350	7	7,52	0,489
SALIDA	700-900	8	7,75	1,86

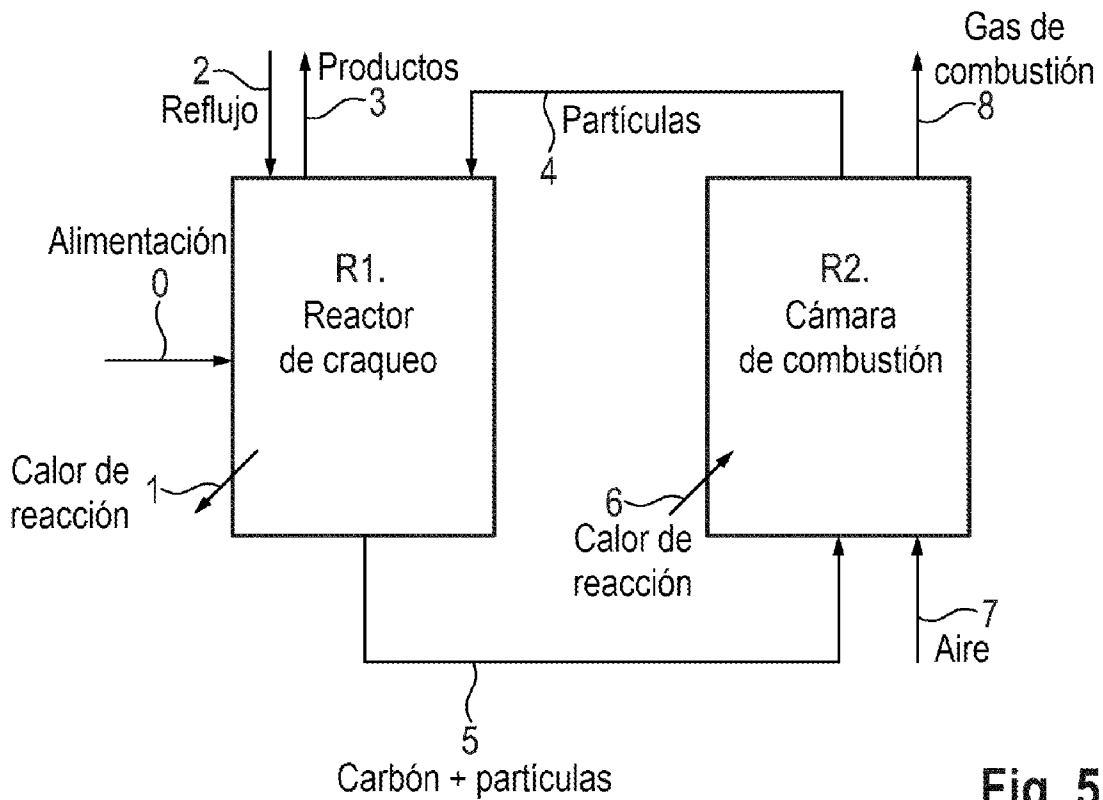


Fig. 5