

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 873 523**

51 Int. Cl.:

C10G 1/10	(2006.01) F27D 99/00	(2010.01)
C10B 53/07	(2006.01) F23D 99/00	(2010.01)
C03B 5/00	(2006.01)	
F27B 9/30	(2006.01)	
C03B 5/235	(2006.01)	
C03B 5/237	(2006.01)	
F23L 15/02	(2006.01)	
F27D 7/02	(2006.01)	
F27D 7/04	(2006.01)	
F27D 17/00	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.12.2015 PCT/GB2015/054054**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **23.06.2016 WO16097742**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2015 E 15813548 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.02.2021 EP 3234071**

54 Título: **Horno**

30 Prioridad:

17.12.2014 GB 201422537

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.11.2021

73 Titular/es:

**PILKINGTON GROUP LIMITED (100.0%)
European Technical Centre, Hall Lane, Lathom
Nr. Ormskirk, Lancashire L40 5UF, GB**

72 Inventor/es:

INSKIP, JULIAN

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 873 523 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

Horno

5 La presente invención se refiere a un proceso industrial realizado en un horno, a la producción de combustible y más particularmente a un método de producción de combustible. La invención se refiere además a un método y aparato para producir combustible a partir de residuos plásticos mediante un proceso de despolimerización. Parte del combustible para el horno se produce de esta manera y el calor residual del horno se utiliza para promover el proceso de despolimerización. El horno puede ser un horno regenerativo y, en una modalidad particular de la invención, el horno puede ser un horno de vidrio.

10 El combustible es, por supuesto, un artículo caro y valioso, y los combustibles fósiles también son un recurso finito. En consecuencia, se dedican muchos esfuerzos para que los procesos industriales y los hornos sean más eficientes con el fin de reducir su consumo de combustible. Una estrategia alternativa es buscar fuentes alternativas de combustible que sean más baratas que las fuentes tradicionales, como los combustibles fósiles.

15 En los últimos años, una de las opciones a las que se le ha prestado atención es la producción de combustible a partir de residuos plásticos. Cada año se generan grandes cantidades de residuos plásticos y, aunque una parte se recicla, una gran parte todavía se desecha en los vertederos. Solo ciertos tipos de plástico se reciclan con regularidad, y algunos procesos de reciclaje imponen restricciones a la forma del plástico o al grado de contaminación de los plásticos que se puede tolerar. Esto significa que grandes cantidades de residuos plásticos se eliminan en vertederos y sería ventajoso que estos residuos plásticos, que actualmente no se pueden reciclar, se pudieran utilizar mejor, por ejemplo, para la producción de combustible.

20 En los métodos existentes de producción de combustible a partir de residuos plásticos, parte del combustible producido se utiliza para promover el proceso de despolimerización, es decir, para suplir las necesidades energéticas del proceso de despolimerización. Dado que el combustible es valioso, una desventaja de estos métodos es que ellos mismos consumen una parte de su producción, lo que reduce la cantidad disponible para otros usos. Por tanto, se ha propuesto pirolizar residuos plásticos mediante el uso del calor residual de otro proceso.

25 Por ejemplo, la patente US 6,807,916 describe un método para pirolizar materiales de desecho utilizando el calor residual de un horno de cemento, y describe un sistema para realizarlo. Sin embargo, el sistema de pirólisis está restringido a materiales de desecho que se suministran al sistema en bidones.

30 También se conoce la producción de combustible a partir de materiales de desecho mediante gasificación. La gasificación es un proceso que convierte materiales carbonosos o basados en combustibles fósiles en un gas combustible. Esto se logra haciendo reaccionar el material carbonoso a temperaturas altas o muy altas con una cantidad controlada de oxígeno, pero sin combustión. El oxígeno puede estar en forma de aire o vapor. El gas combustible resultante contiene monóxido de carbono, hidrógeno y dióxido de carbono y puede denominarse "sintegas" (abreviatura de "gas sintético"). El gas productor es una forma de sintegas. Las patentes US 2004/055517 A1 y JP 2000 176934 A describen métodos y dispositivos para el encendido de hornos.

35 La patente US 2011/0107670 describe un proceso para fabricar un gas combustible mediante gasificación de materiales combustibles sólidos o líquidos tales como biomasa y/o productos de desecho. Estos últimos pueden incluir neumáticos usados, plásticos, residuos de trituradoras de automóviles, lodos, materiales combustibles de reemplazo o desechos domésticos. Estos materiales se pueden convertir primero en un aceite mediante una primera operación de pirólisis. Los productos de desecho se gasifican en un baño de silicato fundido.

40 Sin embargo, la gasificación tiene varias desventajas. Por ejemplo, el gas producido tiene un poder calorífico bajo, y debido a que el proceso de gasificación requiere temperaturas muy altas (por ejemplo, más de 1000 °C), el calor residual presente en los gases de escape no se puede utilizar para promover la gasificación.

45 Por lo tanto, es preferible producir combustible a partir de residuos plásticos mediante despolimerización en lugar de gasificación, de manera que el calor residual presente en los gases de escape pueda aprovecharse como fuente de calor. Sin embargo, muchos hornos, en los que se realizan procesos industriales, son hornos regenerativos, es decir, los hornos están equipados con regeneradores como medio de recuperación del calor residual. Esto plantea problemas particulares para el uso del calor residual en la despolimerización y, por supuesto, sería conveniente resolver estos problemas.

50 Ahora se ha encontrado una forma de integrar la producción de combustible mediante la despolimerización de residuos plásticos con el funcionamiento de un horno regenerativo, de modo que el calor residual de los gases de escape del horno pueda aprovecharse para promover la despolimerización. El método de la invención y el dispositivo de la invención se definen en las reivindicaciones adjuntas.

55 La presente invención proporciona un método para encender un horno mediante la quema de combustible, que comprende proporcionar un suministro de combustible al horno, en donde parte del combustible suministrado al

horno y quemado en el horno se produce a partir de residuos plásticos mediante un proceso de despolimerización, y el calor residual del horno se utiliza para promover el proceso de despolimerización, en donde los residuos plásticos se suministran como material suelto, el proceso de despolimerización se realiza en atmósfera inerte, el horno está equipado con regeneradores para la recuperación de calor residual, encender el horno de forma alterna en primera y segunda direcciones opuestas, con inversión periódica de la dirección de encendido entre la primera dirección y la segunda dirección, interrumpir temporalmente el suministro de combustible al horno mientras se invierte la dirección de encendido, con provisión de medios para contener el combustible producido durante la interrupción temporal.

Preferentemente, todo el calor necesario para promover el proceso de despolimerización se suministra sustancialmente desde el horno.

Al utilizar el calor residual del horno para proporcionar los requisitos energéticos del proceso de despolimerización, ya no es necesario utilizar parte del producto del proceso de producción de combustible para impulsar este proceso. En consecuencia, este combustible está disponible para otros fines, como encender el horno. Dado que este combustible es generalmente de alta calidad, es claramente ventajoso utilizar calor residual en lugar de combustible en el proceso de despolimerización, de este modo se ahorra el combustible de alta calidad para otros fines. Por medio de este proceso, se puede recuperar combustible valioso de los residuos plásticos que, de otro modo, se hubieran eliminado en los vertederos. De este modo se crea un bucle en el que el calor residual del horno impulsa el proceso de despolimerización y el combustible producido por la despolimerización se consume en el horno. Este bucle puede generar una alta eficiencia y reducir el costo de operación significativamente.

El uso del calor residual del horno, que tiene relativamente otros pocos usos, para promover el proceso de despolimerización es particularmente ventajoso porque significa que prácticamente todo el combustible producido por el proceso de despolimerización está disponible para quemar en el horno. Además, el combustible de grado relativamente alto producido típicamente por la producción de combustible a partir de la despolimerización de residuos plásticos es particularmente adecuado para quemar en un horno, debido a su pureza y a su contenido de carbono relativamente alto, que puede producir llamas muy luminosas si se requiere.

Las denominaciones de combustible de "baja calidad" o "alta calidad" se refieren a su poder calorífico, que es una medida ampliamente aceptada de la calidad de un combustible.

El proceso de despolimerización puede ser un proceso de pirólisis o destilación destructiva, que también puede denominarse "craqueo" en el contexto de la geología de hidrocarburos, plásticos y petróleo. El material sólido que queda después de eliminar todos los hidrocarburos y otros materiales volátiles se conoce como carbón. La producción y eliminación de carbón es en la práctica una consecuencia inevitable del uso de residuos plásticos como materia prima; esto se discutirá con más detalle a continuación.

Los residuos plásticos que se utilizan como materia prima para el proceso son típicamente residuos plásticos recolectados por los servicios de recolección de las autoridades municipales o locales de fuentes domésticas y comerciales, y también residuos plásticos industriales. Los residuos plásticos pueden comprender polietileno (tanto de alta como de baja densidad), polipropileno, poliestireno, nailon, cloruro de polivinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), entre otros, y también diferentes tipos de caucho. Sin embargo, el PET provoca una formación excesiva de carbón y preferentemente se limita a no más del 5 % en peso de la materia prima. Además, el PVC produce cloruro de hidrógeno al descomponerse, lo que aumenta la corrosión de la planta y puede causar contaminación ambiental. Preferentemente, la proporción de PVC en la materia prima se limita a no más del 5 %, con mayor preferencia a menos del 1 %.

Si bien el caucho es una materia prima aceptable, es conveniente que no se incluyan los neumáticos usados debido a los alambres de acero de refuerzo que están comúnmente presentes. Estos neumáticos deben triturarse antes de que puedan introducirse en el proceso, y esta es una operación que consume mucha energía. Además, los alambres pueden dañar la trituradora y pueden enredarse alrededor de los agitadores.

Los residuos plásticos contienen inevitablemente suciedad, humedad y materiales inertes. La suciedad y los materiales inertes reducen el rendimiento del proceso y aumentan la producción de carbón. Elementos como piedras, ladrillos y hormigón pueden bloquear o dañar el equipo. De manera similar, la humedad no solo reduce la eficiencia térmica del proceso de despolimerización, sino que también reduce el poder calorífico de la parte gaseosa del combustible producido. La presencia de agua mantiene la materia prima a 100 °C durante el calentamiento hasta que toda el agua se ha evaporado, por lo que se consume energía extra antes de que pueda comenzar la pirólisis.

Por lo tanto, se prefiere que la proporción de suciedad y materiales inertes en la materia prima sea menos del 10 % en peso, con mayor preferencia menos del 5 %. De manera similar, la proporción de humedad en la materia prima debe ser menos del 10 % en peso, con mayor preferencia menos del 5 %. Sin embargo, dado que el exceso de calor residual está frecuentemente disponible en un horno, es factible incluir una etapa de lavado y secado para limpiar los residuos plásticos sucios o húmedos antes de introducirlos en el proceso de despolimerización. El calor residual del horno se puede utilizar para secar los plásticos.

La materia prima puede contener biomasa, aunque preferentemente está presente como componente minoritario.

5 Un horno regenerativo, es decir, equipado con regeneradores para la recuperación del calor residual, logra un nivel de recuperación de calor superior al de un horno equipado con otros medios de recuperación del calor residual, como el horno recuperativo. Un horno regenerativo puede estar equipado con dos o más regeneradores, cada regenerador contiene un medio de almacenamiento térmico de alta masa térmica, como ladrillos refractarios. En momento dado, los gases de escape pasan a través de un regenerador, ceden calor al medio de almacenamiento térmico y, de este modo calientan este último, y el aire de combustión pasa a través del otro regenerador, con absorción de calor del medio de almacenamiento térmico. Después de un período de tiempo apropiado, la dirección del flujo de gas se invierte, por lo que un horno regenerativo se enciende de forma alterna en dos direcciones opuestas, a saber, la primera y la segunda. Incluso después de pasar por el regenerador, los gases de escape todavía contienen una cantidad significativa de calor residual.

15 Son posibles diferentes diseños de horno regenerativo, por ejemplo, el horno puede ser un horno de puerto lateral o un horno de puerto final. Los puertos son las aberturas en la pared del horno que conducen a los regeneradores. Un horno de puerto lateral tiene puertos colocados en las paredes laterales del horno, y tiene una configuración en línea generalmente alargada con un eje longitudinal paralelo a la línea de producción a la que sirve el horno. Además, un horno de puerto lateral es de combustión cruzada, con un regenerador colocado a cada lado del horno.

20 Un horno de puerto final se enciende al final y típicamente tiene dos puertos que se colocan uno al lado del otro en la pared final del horno. Esto da como resultado que las llamas se curven hacia el otro puerto en una configuración de "herradura", y los regeneradores también se colocan uno al lado del otro detrás de los puertos al final del horno. En cualquier caso, el horno está equipado con quemadores colocados en los puertos de modo que el combustible pueda mezclarse apropiadamente con el aire de combustión precalentado para producir llamas del tipo deseado.

25 Cualquiera de los tipos anteriores de horno regenerativo puede beneficiarse de la invención.

30 En ambos tipos de hornos regenerativos, la dirección de encendido se invierte regularmente para maximizar la recuperación de calor. Durante la inversión, los quemadores se apagan, por lo que el suministro de combustible se interrumpe temporalmente. Por lo tanto, es conveniente proporcionar medios tales como un tanque, cámara o receptor para contener el combustible producido por el proceso de despolimerización durante la interrupción temporal que ocurre en la inversión.

35 El combustible producido por la despolimerización de residuos plásticos puede contener al menos un 70 % de hidrocarburos, preferentemente al menos un 80 %, con mayor preferencia al menos un 90 % de hidrocarburos. El craqueo del polietileno de baja densidad produce proporciones significativas de propano, propeno, butano y 1-buteno, mientras que el craqueo del polipropileno produce propeno, metilpropeno y pentano, entre otros. Otros hidrocarburos producidos pueden incluir típicamente metano, etano, etano y 1-penteno. La composición del combustible producido por la despolimerización de residuos plásticos es, por lo tanto, bastante diferente de la del gas producido por la gasificación de dichos plásticos.

40 Además, el combustible producido por la despolimerización de residuos plásticos puede tener un valor calorífico inferior (LHV), en el intervalo de 10 a 100 MJ/Nm³, preferentemente de 20 a 80 MJ/Nm³, con mayor preferencia de 25 a 70 MJ/Nm³, con la máxima preferencia de 30 a 50 MJ/Nm³. Estos valores son notablemente superiores a los del gas producido por la gasificación de residuos plásticos.

45 Cuando se condensa a un aceite, el combustible puede tener un poder calorífico de 20 a 70 MJ/kg, preferentemente de 30 a 60 MJ/kg, con mayor preferencia de 40 a 50 MJ/kg.

50 La despolimerización de residuos plásticos también se puede realizar a una temperatura significativamente más baja que la gasificación. Típicamente, la despolimerización se realiza entre 350 °C y 650 °C, preferentemente entre 400 °C y 450 °C.

55 El combustible puede almacenarse antes de suministrarse al horno, o puede suministrarse directamente al horno, es decir, sin almacenar el combustible. El almacenamiento del combustible puede producir su condensación, si parte del mismo o todo está en estado gaseoso.

60 El suministro directo de combustible al horno es ventajoso porque en muchos hornos es necesario calentar el combustible a la temperatura de ignición antes de que pueda ocurrir la combustión. Sin embargo, el combustible del proceso de despolimerización puede estar ya a una temperatura óptima para su uso en el horno, y al suministrar el combustible directamente al horno, el proceso se simplifica y se logra una mayor eficiencia, ya que se evita la condensación y el recalentamiento del combustible.

65 Opcionalmente, el combustible puede modificarse mediante fraccionamiento o acción catalítica para hacerlo más adecuado para el horno. Por ejemplo, se puede seleccionar una fracción con un peso molecular particular. Además, es conveniente el control de la relación carbono a hidrógeno, favoreciéndose generalmente las relaciones más altas.

5 La relación carbono a hidrógeno del combustible puede variar de 65 % en peso y el 95 % en peso. Con respecto a los hidrocarburos alifáticos, la combustión de un combustible con una relación carbono a hidrógeno de alrededor del 85 % produce llamas de alta luminosidad, que tienen buenas características de transferencia de calor. Además, los gases de escape producidos por las llamas contienen menos agua, por lo que se pierde menos calor en forma de calor latente del agua en los gases de escape.

El proceso de despolimerización puede tener lugar en un aparato tal como un reactor que tenga un medio de intercambio de calor entre los gases de escape del horno y los residuos plásticos.

10 Los gases de escape que contienen calor residual del horno pueden suministrarse directa o indirectamente al reactor. Cuando esté permitido, y cuando los gases de escape estén suficientemente limpios para no afectar negativamente al reactor, por ejemplo, cuando hayan pasado por una planta de control de contaminación, los gases de escape podrán suministrarse directamente a un intercambiador de calor en el reactor. Sin embargo, cuando los gases de escape no estén suficientemente limpios para hacer esto, o cuando la legislación local lo prohíba, por ejemplo, por razones de seguridad, o que las consideraciones prácticas o de seguridad aconsejen no suministrar los gases de escape directamente al reactor, puede incluirse un circuito de intercambio de calor secundario (indirecto).
15 En este caso, los gases de escape se suministran a un intercambiador de calor adicional, que extrae calor de los gases de escape y suministra ese calor al reactor a través de un circuito secundario. Por ejemplo, un fluido secundario puede circular entre el intercambiador de calor de gases de escape y el intercambiador de calor del reactor. Se puede utilizar una variedad de fluidos para este propósito. Preferentemente, el fluido no contiene oxígeno libre; son especialmente adecuados los gases inertes como el nitrógeno.

25 Es preferible comprimir el residuo plástico antes del proceso de despolimerización. El residuo plástico, que inicialmente comprende artículos de plástico de diferentes formas y tamaños, estará naturalmente empaquetado de forma suelta y contendrá una gran cantidad de aire. Por lo tanto, es conveniente triturar el residuo plástico hasta obtener un tamaño uniforme. Si el combustible producido a partir del plástico contiene cantidades importantes de aire, su poder calorífico se reduce. La dilución del combustible con gases residuales también puede aumentar la contaminación del aire cuando se consume el combustible.

30 Por lo tanto, es conveniente expulsar la mayor cantidad de aire posible de los residuos plásticos. Esto se puede lograr en parte mediante la compresión de los residuos plásticos y en parte durante las etapas iniciales de fusión de los residuos plásticos. Los medios de compresión incluyen el uso del vacío o los medios mecánicos, como un alimentador de tornillo o un ariete hidráulico.

35 El proceso de despolimerización se realiza en atmósfera inerte. Por ejemplo, se puede proporcionar un sistema de purga de nitrógeno. La presencia de oxígeno durante la despolimerización no es conveniente, ya que provoca la oxidación de los hidrocarburos producidos durante la despolimerización, que produce monóxido o dióxido de carbono y vapor, y de este modo se reduce el poder calorífico del combustible producido. Por supuesto, habría riesgo de explosión si hubiera un alto nivel de oxígeno.

40 El horno puede ser un horno para producir vidrio, es decir, un horno de vidrio, como se usa en la industria del vidrio. La industria del vidrio se puede dividir en ramas tales como la producción de recipientes, por ejemplo, botellas y frascos, de vajillas, de fibra de vidrio (para aislamiento o refuerzo), artículos de iluminación (incluidos tubos), vidrio prensado y vidrio plano. Cualquiera de estos procesos industriales puede beneficiarse de la invención.

45 Un horno regenerativo puede alcanzar una temperatura de precalentamiento del aire de combustión de 1250 °C o más. Esto contribuye a una temperatura máxima en el horno de alrededor de 1600 °C o más. Estas altas temperaturas, junto con el tiempo de residencia de los productos de combustión de al menos 1 segundo a alta temperatura, contribuyen a que se logre un grado muy alto de completitud de combustión del combustible. Esto a su vez reduce el riesgo de contaminantes por combustión incompleta en los gases de escape, por lo que es particularmente ventajoso integrar el proceso de despolimerización de residuos plásticos con un horno regenerativo. Se considera que el tiempo de residencia de los productos de combustión es el tiempo desde que el combustible y el aire se mezclan por primera vez, para formar la raíz de la llama, hasta que la temperatura de los productos de combustión desciende por debajo de los 1000 °C.
50

55 En la mayoría de los procesos industriales que consumen mucha energía, es importante la transferencia efectiva de calor de las llamas al material a calentar. La transferencia de calor por radiación es el mecanismo más eficiente, y las llamas muy luminosas son convenientes para mejorar la transferencia de calor radiante. Se puede mejorar la luminosidad de la llama mediante la alteración del procesamiento del combustible o la mezcla de residuos plásticos alimentados al reactor. Por ejemplo, el residuo plástico puede calentarse durante más tiempo en el reactor, o puede usarse un catalizador, o el residuo plástico puede realizar múltiples pasadas a través del reactor, o el combustible desprendido puede someterse a fraccionamiento o destilación. También se puede utilizar una combinación de estos enfoques.
60

Los hidrocarburos alifáticos producen llamas más luminosas que los compuestos aromáticos y, como se mencionó anteriormente, una relación carbono a hidrógeno de la fracción alifática de alrededor del 85 % en peso es particularmente adecuada para producir llamas muy luminosas.

5 De acuerdo con otro aspecto, la invención también proporciona un horno que se enciende al quemar combustible y una planta para producir combustible a partir de residuos plásticos mediante un proceso de despolimerización, en donde la planta comprende un sistema de purga de gas inerte, un alimentador de tornillo conectado a un recipiente de secado y de cloración térmico que contiene plástico fundido, un reactor de craqueo térmico y un conducto por medio del cual el plástico fundido sale del recipiente de secado y de cloración y entra en el reactor de craqueo, y la
10 planta suministra combustible al horno, y el calor residual del horno se utiliza para promover el proceso de despolimerización, y el horno está equipado con regeneradores para la recuperación de calor residual, en donde el horno se enciende de forma alterna en la primera y segunda direcciones opuestas, con inversión periódica de la dirección de encendido entre la primera dirección y la segunda dirección, con provisión de medios para contener el combustible producido durante la inversión de la dirección del encendido.

15 Preferentemente, la planta de producción de combustible comprende un medio para suministrar calor residual desde el horno al reactor de craqueo.

20 Con mayor preferencia, la planta comprende un medio para suministrar el combustible producido en el reactor de craqueo desde el reactor de craqueo al horno.

Debido a la gran cantidad de calor residual típicamente disponible en los gases de escape (también conocidos como gases de combustión) de un horno regenerativo, es posible realizar una operación de múltiples etapas para aprovechar el calor residual de la mejor manera. En su punto más caliente, los gases de escape se pueden utilizar
25 para promover la despolimerización de los residuos plásticos. Sin embargo, después de salir de este proceso, los gases de escape todavía contienen cantidades sustanciales de calor residual, que se puede utilizar para otros fines, por ejemplo, para generar vapor, para ablandar y compactar los residuos plásticos antes o durante el proceso, o para secar o lavar los residuos plásticos.

30 El carbón se elimina preferentemente mediante calentamiento en condiciones subestequiométricas en un horno de cúpula. El humo producido se dirige al lado del aire de combustión del horno regenerativo, donde se oxida y finalmente pasa a través de la planta de control de contaminación del horno. El metal fundido del carbón se libera en el orificio de roscado del horno de cúpula y queda una escoria mineral inerte que se puede utilizar como agregado, por ejemplo, para la construcción de carreteras.

35 La invención se describirá ahora mediante las siguientes modalidades específicas y no limitantes, con referencias a los dibujos adjuntos en los que:

40 La Figura 1 es un diagrama esquemático que muestra un aparato que comprende un horno conectado a una planta para producir combustible a partir de residuos plásticos mediante un proceso de despolimerización, y

La Figura 2 es un diagrama esquemático que muestra una modalidad alternativa de la planta para producir combustible a partir de residuos plásticos mediante un proceso de despolimerización.

45 Con referencia a la Figura 1, el dibujo muestra un aparato que comprende un horno y una planta para producir combustible a partir de residuos plásticos mediante un proceso de despolimerización que utiliza el calor residual del horno. El horno es un horno regenerativo y puede ser un horno de vidrio, más específicamente un horno de vidrio flotado.

50 La planta 11 para producir combustible a partir de residuos plásticos se describirá en primer lugar. Puede denominarse, más brevemente, planta de pirólisis. Los residuos plásticos que se van a pirolizar pueden someterse a un procesamiento inicial, como puede ser triturarlos hasta obtener un tamaño uniforme. En dependencia de la fuente del residuo plástico y de la sensibilidad a los contaminantes del reactor de pirólisis en el que se produce el combustible, el residuo plástico también puede lavarse, secarse y clasificarse. Sin embargo, esto naturalmente
55 aumenta los costos y, por lo tanto, solo se realiza si es necesario o beneficioso.

La despolimerización por pirólisis se realiza mejor con cero gases residuales, como el aire, que diluyen el combustible desprendido. La dilución del combustible con gases residuales reduce el poder calorífico del combustible y también aumenta la contaminación del aire cuando el combustible se quema en el horno. En el caso
60 del oxígeno, si hay suficiente cantidad de oxígeno en el reactor, la mezcla podría provocar un incendio o una explosión. Por lo tanto, la planta de pirólisis 11 está provista de un sistema de purga de gas inerte 13, que también actúa como un sistema supresor de incendios.

65 El aparato 10 comprende una tolva de bloqueo 12 que recibe el residuo plástico que sirve como materia prima para el proceso de despolimerización. La tolva de bloqueo se puede sellar para evitar la entrada de aire, y se proporciona una salida 13 de la purga de gas inerte (por ejemplo, nitrógeno) para purgar el oxígeno de la tolva, por ejemplo, del

aire atrapado dentro del residuo plástico. El residuo plástico se suministra desde la tolva de bloqueo 12 a la entrada de un dispositivo de alimentación, tal como un dispositivo de compactación térmico, que toma la forma de un alimentador de tornillo 14 accionado por un motor eléctrico 16.

5 A diferencia de la descripción en la patente US 6,807,916, los residuos plásticos no necesitan estar en bidones, ni en ningún otro tipo de recipiente. Más bien, el residuo plástico se suministra como un material suelto, ya sea en un flujo continuo o intermitente, por ejemplo, a través de una cinta transportadora (no se muestra). La velocidad de suministro se ajusta para mantener un nivel apropiado de residuos plásticos en la tolva de bloqueo 12.

10 Los polímeros en los residuos plásticos comienzan a ablandarse por encima de 65 °C, aproximadamente, en dependencia de la composición. Esto conduce a una compactación natural que se produce con la desgasificación del aire intersticial, que se extrae del plástico para mejorar el poder calorífico del combustible producido. El alimentador de tornillo 14 ayuda en este proceso mediante la expulsión del aire intersticial adicional de entre los fragmentos de los residuos plásticos.

15 La compactación también se puede lograr mediante un rodillo, placa de presión, extrusora, transportador de vacío, transportador vibratorio, ariete hidráulico o simplemente por gravedad. Cualquiera que sea el aparato o método que se utilice, se aplica una fuerza de compresión para reducir el aire intersticial entre las partículas de plástico triturado. La reducción de tamaño se produce por gravedad cuando el polímero alcanza aproximadamente 65 °C y, por lo tanto, es posible ordenar el proceso de pirólisis en una serie de etapas, idealmente dos por eficiencia económica, pero se puede adoptar un ordenamiento en cascada.

20 La salida del alimentador de tornillo está conectada a un recipiente de secado y decloración térmico 18, lo que permite que una carga de residuo plástico compactado se suministre a ese recipiente mediante el alimentador de tornillo. En el recipiente 18, el residuo plástico se calienta a una temperatura en el intervalo de 180 °C a 280 °C, lo que hace que se derrita. Por lo tanto, el recipiente contiene plástico fundido y en el dibujo se muestra una superficie líquida teórica.

25 El aire y la humedad atrapados se eliminan del plástico fundido, al igual que otras sustancias volátiles en dependencia del tipo y grado de contaminación del residuo plástico. Además, cualquier PVC u otros plásticos que contengan cloro o bromo comienzan a descomponerse, lo que libera gases que contienen cloro o bromo. Por ejemplo, se puede formar ácido clorhídrico en el espacio de vapor del recipiente 18, que, por lo tanto, debería estar construido con aceros resistentes a la corrosión y a altas temperaturas, posiblemente recubiertos con materiales resistentes a la corrosión. Todos los gases desprendidos se conducen a través de un tubo 20 y un oxidante térmico 25 a un conducto de escape que conduce a la planta de control de contaminación, que se describe a continuación.

30 La mezcla de residuo plástico fundido y aún sin fundir se agita para aumentar la velocidad de transferencia de calor a la mezcla de plástico. Además, dada la calidad extremadamente variable y diversa de los residuos plásticos, la agitación ayuda a mejorar la homogeneidad de la mezcla. Por lo tanto, se proporciona un agitador 22 que se introduce en el plástico fundido para realizar la agitación; se prefiere agitar suficientemente la mezcla para lograr turbulencias.

35 Con respecto al funcionamiento seguro del recipiente 18, se proporciona una válvula de escape 24, que funciona en caso de una acumulación excesiva de presión en el recipiente. También se proporciona un medio de extinción de incendios 26, que puede ser parte del sistema de purga de nitrógeno, y un desempañador 27 evita el arrastre de líquido a las salidas destinadas a los gases.

40 Puede haber contaminantes sólidos entre los residuos plásticos, como metal, tierra, piedras, etc., y otros materiales que no se derriten a las temperaturas del recipiente. Se proporciona una trampa y salida 28 para residuos sólidos en la base del recipiente 18.

45 El plástico fundido sale del recipiente 18 a través de un conducto 30 y entra en un reactor de craqueo térmico 32 que, al igual que el recipiente 18, está parcialmente lleno de plástico fundido. Puede instalarse un indicador de presión 34 en el conducto térmico 30. En el reactor de craqueo 32, el plástico fundido se calienta a una temperatura en el intervalo de 300 °C a 650 °C, preferentemente de 400 °C a 450 °C, que provoca de este modo que el plástico se despolimerice y se descomponga en hidrocarburos, para producir combustible a partir del residuo plástico. La temperatura real alcanzada depende de la temperatura de los gases de combustión y del rendimiento de los residuos plásticos.

50 El combustible desprendido en el reactor de craqueo está compuesto por una fase gaseosa no condensable y una fase condensable. La fase gaseosa no condensable comprende hidrocarburos y otras especies que se encuentran en fase gaseosa a temperatura ambiente, como nitrógeno u otros contaminantes. Aunque en teoría estos gases podrían condensarse si se enfrían lo suficiente como para reducir su temperatura por debajo de sus puntos de ebullición, para muchos hidrocarburos y otras especies el punto de ebullición está muy por debajo de 0 °C. Por tanto, no es práctico condensar estos gases, por lo que se consideran una fase gaseosa no condensable. En dependencia de la naturaleza del residuo plástico en pirólisis, entre el 5 % y el 40 % de la salida del reactor de craqueo puede

estar en la fase gaseosa no condensable. Esta proporción puede modificarse mediante el uso de un catalizador de craqueo, si se desea. Por ejemplo, se puede utilizar cromito de cobre para promover la formación de gas etileno.

5 El reactor de craqueo 32 también está provisto de un agitador 22 para aumentar la velocidad de transferencia de calor, distribuir el calor a través de la carga y mezclar el plástico fundido. La agitación es conveniente para asegurar que la pirólisis sea lo más completa posible y también para asegurar una mayor velocidad de pirólisis. De hecho, la velocidad de pirólisis puede estar parcialmente controlada por la velocidad de agitación. La velocidad de pirólisis depende de la temperatura y composición del residuo plástico, de la velocidad de transferencia de calor al residuo plástico y de la catálisis (si se usa). El tiempo de residencia del residuo plástico en el reactor de craqueo puede ser de aproximadamente cinco minutos a 1,5 horas, en dependencia del tamaño del reactor y del nivel de llenado. Naturalmente, cuanto mayor sea el tiempo de residencia o cuanto mayor sea la velocidad de producción de combustible deseada, mayor será el reactor de craqueo requerido.

15 El reactor de craqueo está provisto además de una válvula de seguridad 24, un supresor de incendios 26, un desempañador 27 y una trampa y salida 28 para residuos sólidos tales como el carbón y los contaminantes. Las válvulas de seguridad 24 conducen a un oxidante térmico 25 por medio del cual el gas puede oxidarse y desecharse si es necesario.

20 La fuerza impulsora habitual para mover material a través del proceso de despolimerización es la gravedad, además del alimentador de tornillo motorizado inicial; sin embargo, las bombas o los tornillos son un medio alternativo para mover el material.

25 Un conducto de humos principal 36 lleva los gases de escape desde el horno a una chimenea 38, lo que crea un tiro de chimenea y permite que los gases de escape se dispersen en las alturas. El conducto de humos principal 36 también puede estar provisto de un ventilador de tiro inducido 39 para su uso en caso de que el tiro de la chimenea por sí solo no sea suficiente para extraer los gases de escape a través de la planta de control de contaminación (descrito a continuación). Por tanto, el ventilador de tiro inducido 39 compensa las caídas de presión resultantes de la planta de control de contaminación.

30 El alimentador de tornillo 14, el recipiente de secado y de cloración 18 y el reactor de craqueo 32 se calientan mediante el calor residual contenido en los gases de escape del horno. El alimentador de tornillo 14, el recipiente de secado y de cloración 18 y el reactor de craqueo 32 están provistos de un intercambiador de calor para extraer el calor de los gases de escape.

35 Los intercambiadores de calor mostrados esquemáticamente en el dibujo son camisas calefactoras 40, 42, 44, y los gases de escape circulan alrededor de las camisas 40, 42, 44 por medio de tubos con válvulas 46. Los tubos 46 para el alimentador de tornillo 14, el recipiente de secado y de cloración 18 y el reactor de craqueo 32 están conectados al conducto de humo principal 36 en orden inverso, de modo que los gases de escape circulen primero alrededor de la camisa del reactor de craqueo 32, después por el recipiente de secado y de cloración 18 y finalmente por el alimentador de tornillo 14. De esta manera, los gases de escape están más calientes y, por lo tanto, imparten más calor al reactor de craqueo 32, cuando circulan alrededor de la camisa de este último, que cuando circulan alrededor de la camisa del recipiente de secado y de cloración 18. De manera similar, los gases de escape son relativamente más fríos cuando circulan alrededor de la camisa del alimentador de tornillo 14.

45 Pueden emplearse intercambiadores de calor más sofisticados, por ejemplo, los que emplean placas o tubos para aumentar el área superficial sobre la que se puede intercambiar calor. Las flechas mostradas en el conducto de humos principal 36 y en los conductos 46 indican la dirección de flujo de los gases.

50 El reactor de craqueo 32 está provisto de un tubo de salida 48 a través del cual los productos volátiles de la pirólisis, es decir, combustible, producidos en el reactor de craqueo 32 salen del reactor en forma gaseosa. El tubo de salida 48 está equipado con otro medidor de flujo 50, y conduce a una unión de combustible caliente 52 desde la cual se puede suministrar combustible caliente al horno por el tubo de suministro de combustible caliente 54, o pasar a través de un condensador 56 a través de un tubo condensador 58 para condensar el combustible en líquido. El tubo condensador 58 continúa luego a través de un tanque auxiliar 59 hasta un tanque de almacenamiento de combustible frío 60 pasando por una válvula de control 62, que lleva el combustible líquido al tanque 60. El tubo 54 de suministro de combustible caliente está equipado con una válvula de control y aislamiento 64.

60 El combustible gaseoso caliente producido por el reactor de craqueo contiene fracciones condensables y no condensables. La fracción no condensable comprende hidrocarburos y otras especies que se encuentran en fase gaseosa a temperatura ambiente. Aunque estas especies podrían, por supuesto, condensarse si se enfrían lo suficiente, para muchas de ellas el punto de ebullición es inferior a 0 °C, por lo que la condensación no es práctica. En consecuencia, la fracción no condensable no se puede condensar en un líquido y no se puede almacenar en el tanque de almacenamiento de combustible frío 60. Puede proporcionarse, si se requiere, un receptor de almacenamiento de gas (no se muestra) para el almacenamiento de la fracción no condensable. Alternativamente, durante una interrupción temporal del flujo de combustible caliente (por ejemplo, durante la inversión del horno regenerativo), el combustible caliente puede simplemente almacenarse en el reactor de craqueo al permitir que la

presión en el reactor aumente temporalmente. Como último recurso, el combustible puede quemarse mediante un oxidante térmico 25.

5 Por razones de seguridad y para evitar la contaminación, la planta de pirólisis está cubierta con una campana de ventilación 66 para el control de olores y para atrapar gases en caso de escape, la campana está provista de una válvula de emergencia 67 y un sistema supresor de incendios 68.

10 Pasando al horno 70, éste está construido de material refractario y puede ser un horno de vidrio, en particular un horno de vidrio flotado, como se mencionó anteriormente. En este caso, el horno comprende un fundidor 72 y un extremo de trabajo 74 conectado al fundidor por una cintura 76. Las materias primas se funden en el fundidor 72 para producir vidrio fundido que fluye hacia el extremo de trabajo 74 a través de la cintura 76 en la dirección de la flecha A. El vidrio fundido se acondiciona en el extremo de trabajo 74 y luego sale del extremo de trabajo 74 por medio de un canal 78 que conduce a un medio de formación de vidrio (no se muestra) tal como un baño flotante o una máquina de laminación.

15 El horno 70 es un horno regenerativo y comprende dos regeneradores, un regenerador 80 a la izquierda y un regenerador 82 a la derecha, indicándose la izquierda y la derecha con respecto a la dirección del flujo de vidrio como lo indica la flecha A. El regenerador 80 se coloca en el lado izquierdo del horno, y el regenerador de la derecha en correspondencia, quedando el horno simétrico con respecto a una línea central paralela a la flecha A.

20 Puede haber múltiples regeneradores y/o los regeneradores pueden estar divididos o compartimentados internamente. Cualquiera que sea el formato, los regeneradores se conectan al fundidor 72 a través de los cuellos de los puertos 84. Los cuellos de los puertos conducen a puertos en la superestructura del fundidor, el término "superestructura" se refiere a la parte de la estructura refractaria que está por encima del nivel del vidrio fundido. Cada puerto está provisto de un quemador (no se muestra) adecuado para el combustible que se va a quemar, por ejemplo, gas natural, gasóleo pesado o combustible de residuos plásticos. Como resultado del encuentro del combustible con el aire de combustión precalentado, los quemadores producen llamas 86 que se extienden desde los quemadores en el lado del horno que se enciende hacia el lado opuesto, es decir, el lado de escape.

25 Los regeneradores están conectados a los conductos de humo izquierdo y derecho del horno 88 y 89, por los cuales los gases de escape salen de los regeneradores y el aire de combustión entra en ellos. Más específicamente, en cualquier momento dado, según la dirección de encendido, un regenerador precalienta el aire de combustión y el otro regenerador absorbe calor de los gases de escape, y una válvula de inversión 90 dirige el flujo de aire de combustión y de los gases de escape de manera apropiada. Un ventilador de aire de combustión 92 proporciona un suministro de aire de combustión a través de un conducto de aire de combustión 96, que también está provisto de una entrada de aire de combustión de emergencia 94.

30 El período de tiempo durante el cual se enciende un horno en particular en una dirección, antes de que se invierta la dirección de encendido, está determinado por la masa térmica de los regeneradores, la calidad de los refractarios y la temperatura y la velocidad de flujo de los gases de escape a través de ellos. Cuanto más tiempo se enciende un horno en una dirección, más calientes se vuelven los refractarios en el regenerador de escape, y esto limita el tiempo de encendido en una dirección. Este período de tiempo está típicamente entre 15 y 30 minutos para la mayoría de los hornos de vidrio. Durante una inversión, la válvula de inversión 90 se acciona para dirigir el aire de combustión por el conducto de humos del horno 88 hacia el regenerador opuesto al anterior. La válvula de inversión 90 cambia de manera similar la dirección del flujo de los gases de escape.

35 Durante una inversión, las llamas 86 se extinguen y no se quema combustible. El llamado tiempo de "apagado" puede durar entre 25 segundos y 1 minuto 30 segundos. Dado que la planta de pirólisis produce combustible de forma continua, se requieren medidas para ocuparse del combustible producido durante el tiempo de "apagado", cuando se interrumpe temporalmente el suministro de combustible al horno.

40 Por ejemplo, para reducir la velocidad de producción de combustible, es posible detener la agitación del reactor de pirólisis y desviar el gas desprendido a un depósito de almacenamiento (no se muestra) donde se permite que aumente la presión. Además, el combustible gaseoso puede eliminarse de la fracción condensable al hacerlo pasar a través del condensador 56 durante el período de "apagado" para reducir la cantidad de gas enviado al receptor de almacenamiento. El combustible en fase líquida condensado puede enviarse de vuelta al reactor de pirólisis 32 o enviarse al tanque de almacenamiento de combustible líquido 60.

45 El receptor de almacenamiento de combustible gaseoso de alta temperatura puede aumentarse mediante un soplador para aumentar la presión de trabajo del combustible a ambos lados de la inversión del regenerador y, de este modo, aumentar la funcionalidad del sistema. El receptor de almacenamiento debería ser de un tamaño apropiado y estar equipado con trampas de condensación para permitir que el condensado se elimine de forma segura y se envíe al tanque de almacenamiento de combustible líquido frío 60. Una medida final implementada, cuando hay mal funcionamiento de la planta o alta presión en el receptor de gas de alta temperatura, es la antorcha de proceso 25, donde el exceso de combustible puede quemarse de manera segura.

Una proporción de 0 a 100 % de la fracción condensable del producto de pirólisis puede enfriarse, condensarse y enviarse al tanque de almacenamiento de combustible líquido 60. La ventaja de poder llenar el tanque de almacenamiento de combustible líquido directamente es que el combustible producido en exceso, de acuerdo a los requisitos del horno, puede almacenarse a largo plazo durante períodos en los que la planta de pirólisis no está disponible, por ejemplo, cuando la planta de control de contaminación del horno está apagada o después de una falla del equipo. Además, se pueden instalar medios de agitación tales como impulsores dentro del tanque de almacenamiento de líquido 60 para homogeneizar el combustible y evitar que las acumulaciones de cera se depositen en el fondo del tanque de almacenamiento. Alternativamente, se puede emplear un tanque giratorio para agitar el combustible.

Después de pasar a través de la válvula de inversión 90, los gases de escape fluyen a lo largo del conducto de escape principal 98, que está provisto de una válvula de control de presión del horno (no se muestra) para regular la presión dentro del horno. El conducto de escape principal 98 conduce a una unión de conductos 100 en la que los gases de escape pueden dirigirse a una planta de control de contaminación o a un conducto de derivación de la planta de control de contaminación 102. Los gases de combustión producidos por la antorcha 25 también se unen a los gases de escape en esta unión.

La planta de control de contaminación comprende típicamente un lavador de gases ácidos 104, un precipitador electrostático 106 y un reactor catalítico selectivo 108, y los gases de escape pasan a través de cada uno de estos dispositivos. En el lavador de gases ácidos 104, se inyecta álcali a través del inyector 110 para neutralizar los gases de escape. Los gases de escape pasan luego al precipitador electrostático 106 donde se aplica un voltaje para precipitar el polvo y eliminarlo de los gases de escape. A continuación, los gases de escape pasan al reactor catalítico selectivo 108 que está provisto de un lecho catalizador 112 y un atomizador de amoníaco 114 para reducir los gases de óxido de nitrógeno NO y NO₂ a nitrógeno y agua.

Al salir del reactor catalítico selectivo 108, los gases de escape limpios pasan al conducto 36 de la chimenea principal. El conducto de derivación de la planta de control de contaminación 102 se proporciona de modo que si por alguna razón los gases de escape no pueden pasar a través de la planta de control de contaminación, estos gases de escape puedan evitarla.

Ya se ha descrito cómo la integración de una planta de pirólisis con un horno permite que el calor residual del horno se utilice para promover la pirólisis de los residuos plásticos. Una ventaja adicional de tal integración es que el combustible producido por la planta de pirólisis puede usarse para encender el horno. Preferentemente, el combustible caliente fluye desde el reactor de craqueo 32 directamente a los quemadores del horno a través del tubo de suministro de combustible caliente 54, que está aislado y provisto de calefactores de conductos 116. La calidad del combustible se controla en el punto de análisis de la calidad del combustible 118 y el flujo del combustible se regula mediante el sistema de control del flujo de combustible 120. Un sistema de tuberías de suministro de combustible 122 entrega el combustible a los quemadores del horno 70. Por razones de claridad, los conductos de suministro de combustible se muestran solo para los quemadores del lado derecho. El uso directo de combustible caliente del reactor de craqueo 32 evita la necesidad de enfriar y almacenar el combustible, y ahorra el calor sensible necesario para calentarlo de nuevo a la temperatura de combustión.

Dado el hecho de que a veces la velocidad de producción de combustible de la planta de pirólisis puede exceder la velocidad de consumo de combustible por el horno, también se proporciona un sistema de almacenamiento de combustible. Este comprende el depósito de almacenamiento de combustible frío 60, la bomba de combustible frío 124 y los conductos de suministro de combustible frío 126. También se proporcionan un punto de análisis de la calidad del combustible 118 y un sistema de control del flujo de combustible 120, para el combustible que se ha almacenado en el tanque de almacenamiento de combustible frío 60. Puede ser necesario recalentar el combustible almacenado antes de que se pueda quemar, por lo que el sistema de control de flujo de combustible 120 puede incorporar un calentador de combustible. La viscosidad cinemática deseada del combustible para una buena atomización y combustión en el horno es de 18,5 centistokes ($18,5 \text{ cSt} = 1,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$), y, para lograrlo, la temperatura del combustible se modula. Si es necesario, también se puede proporcionar un calentador de combustible en la salida del tanque de almacenamiento de combustible frío 60 para reducir la viscosidad lo suficiente como para permitir que se bombee el combustible.

Es prudente proporcionar un sistema de suministro de combustible de tuberías, etc., para el combustible caliente del residuo plástico, que esté separado del sistema de suministro de combustible para el combustible convencional, de modo que se disponga de un respaldo.

Una faceta adicional de la invención propuesta es que es posible suministrar combustible caliente directamente al horno evitando una etapa de condensación en el proceso de producción. La primera etapa de cualquier proceso de combustión es elevar la temperatura del combustible a la temperatura de ignición; este calor sensible debe tenerse en cuenta al medir la eficiencia térmica de un proceso, ya que parte de la energía térmica del combustible puede usarse para elevar el combustible a su temperatura de autoignición. Como la etapa final del reactor de pirólisis 32 funciona entre 300 °C y 450 °C, es posible retirar y suministrar el combustible gaseoso directamente a las boquillas

de los quemadores, con reducción de la temperatura del combustible solo debido a pérdidas del trabajo de la tubería de suministro revestida y, donde sea necesario, con calefactores de conductos.

5 El suministro de combustible caliente a los quemadores primarios del horno a 400 °C puede resultar en un ahorro neto de combustible de ~3 %. Las placas de orificio de alta temperatura, que se corrigen por presión y temperatura, se pueden usar para medir el caudal de combustible y se puede usar un cromatógrafo de gases para determinar la calidad del combustible y, por lo tanto, la energía suministrada al horno por unidad de tiempo. Un típico horno regenerativo grande de vidrio flotado puede consumir 5000 m³/h de gas natural equivalente de combustible.

10 El combustible derivado del reactor de pirólisis 32 puede modificarse mediante fraccionamiento o acción catalítica para mejorar la producción de combustible craqueado según lo requiera el horno. La salida de combustible craqueado del reactor puede estar equipada con un condensador de reflujo para devolver el combustible líquido al reactor para una segunda pasada, lo que mejora de este modo la eficiencia de los combustibles de menor peso molecular. Además, el sistema puede estar equipado con catalizadores de craqueo fluidos para favorecer tanto una
15 fracción líquida como una fracción gaseosa, en dependencia de si el combustible de pirólisis se envía al almacenamiento o se consume inmediatamente en el horno.

La Figura 2 muestra una versión simplificada de la planta para producir combustible a partir de residuos plásticos. La principal diferencia en esta planta 211 en comparación con la que se muestra en la Figura 1 es que no hay un
20 recipiente de secado/decloración separado y tampoco un reactor de craqueo separado. En cambio, las etapas de secado y decloración y pirólisis o craqueo tienen lugar en el dispositivo de suministro del residuo plástico, es decir, en el alimentador de tornillo. El alimentador de tornillo debe tener una longitud adecuada en relación con el rendimiento planificado para proporcionar tiempo y espacio para que tengan lugar todas estas etapas. Claramente, el alimentador de tornillo también debe fabricarse con materiales apropiados que puedan resistir las condiciones
25 agresivas que probablemente se encontrarán, por ejemplo, el HC1 caliente del PVC en los residuos plásticos, y las temperaturas relativamente altas (hasta alrededor de 650 °C más un margen de seguridad) que pueden prevalecer durante la etapa de pirólisis. Sin embargo, como se señaló anteriormente, estas temperaturas son significativamente más bajas que las requeridas para la gasificación.

30 Como en la modalidad de la Figura 1, el residuo plástico se suministra a una tolva de bloqueo 212, desde la cual el plástico pasa a un alimentador de tornillo 214. El alimentador de tornillo es accionado por un motor eléctrico 216, que está provisto de medios para medir la corriente que consume y su velocidad de rotación. El alimentador de tornillo se calienta por los gases de escape del horno (no se muestra en la Figura 2), es decir, por los gases de combustión. La forma más sencilla de calentar el alimentador de tornillo con los gases de combustión es colocar el
35 alimentador de tornillo 214 en un conducto de gases de escape, por ejemplo, el conducto principal de la chimenea 236. Una diferencia adicional en comparación con la modalidad de la Figura 1 resulta de esto, a saber, que se prescinde de las camisas calefactoras para el alimentador de tornillo y las tuberías asociadas.

Los medios de medición de temperatura 218, designados como "TI" en el dibujo, se proporcionan a lo largo del
40 alimentador de tornillo. El residuo plástico se compacta, se seca, se declora y se piroliza con el alimentador de tornillo. El combustible que contiene los productos volátiles de la pirólisis sale del alimentador de tornillo a través de la salida 248 y pasa a un recipiente de eliminación 220. La salida 248 está provista de indicador de temperatura TI e indicador de presión PI.

45 Algo de condensación inicial de las fracciones más pesadas del combustible se produce inmediatamente después de la llegada del combustible al recipiente de eliminación 220, y el líquido resultante pasa a un tanque de almacenamiento de combustible frío 260. Las fracciones que permanecen gaseosas pasan hacia arriba a los condensadores 256 y 257, que se enfrían con agua de refrigeración procedente de un sistema de agua de refrigeración 222. El combustible condensado fluye hacia abajo a través del recipiente de extracción 220 al tanque
50 de almacenamiento de combustible 260. Tanto el tanque de almacenamiento de combustible 260 como el tanque de recolección de carbón 230 se ventilan a un área segura, designada 226.

El sistema de agua de refrigeración 222 es convencional y solo se muestra la parte relevante, que se extiende desde
55 la alimentación de agua de refrigeración 223 hasta el retorno de agua de refrigeración 224. Se proporcionan medios convencionales de control como indicadores de temperatura TI, medidores de flujo y válvulas.

Después de la condensación de las fracciones condensables del combustible, los gases no condensables pasan a un recipiente de almacenamiento 232, que también está provisto de un sistema supresor de incendios 233. La salida
60 del recipiente 232 transporta los gases a los quemadores del horno a través de la tubería 234 para la combustión en el horno. La salida del recipiente 232 está provista de puntos de muestreo para comprobar el contenido de oxígeno y analizar la composición de los gases por medio de un cromatógrafo de gases GC.

Por razones de seguridad, y también para asegurar que el poder calorífico del combustible producido no se degrade por oxidación no deseada, la planta 211 está provista de un sistema de purga de gas inerte 213, que también sirve
65 como sistema supresor de incendios. Esto es de naturaleza convencional, pero se describirá brevemente para completar.

5 Una fuente de nitrógeno 238, por ejemplo un cilindro, proporciona nitrógeno a través de válvulas apropiadas y un indicador de presión PI a un colector 239, desde el cual se distribuye a una serie de tuberías 240 que transportan el nitrógeno a los lugares en los que se requiere. Estos lugares incluyen ambos extremos de la tolva de bloqueo 212, el alimentador de tornillo 214 y el tanque de recogida de carbón 230. Las tuberías 240 están provistas de válvulas e indicadores de flujo FI de manera convencional.

10 La capacidad de procesamiento del alimentador de tornillo en términos de rendimiento de residuos plásticos se rige por su tamaño, principalmente su diámetro. Sin embargo, hay una consideración adicional importante, la de la transferencia de calor desde el gas de combustión, a través de la pared del alimentador de tornillo, al residuo plástico en el interior. El residuo plástico mezclado tiene mala conductividad térmica, incluso cuando está compactado, y esto limita el diámetro del alimentador de tornillo que puede emplearse. Por lo tanto, para aumentar la capacidad de procesamiento de la planta, se emplean múltiples alimentadores de tornillo en paralelo.

REIVINDICACIONES

1. Un método para encender un horno (70) mediante la quema de combustible, que comprende:
- 5 - proporcionar un suministro de combustible al horno (70), en donde parte del combustible suministrado al horno y quemado en el horno se produce a partir de residuos plásticos mediante un proceso de despolimerización, donde el calor residual del horno (70) se usa para promover la proceso de despolimerización,
- 10 **caracterizado porque**
- los residuos plásticos se suministran como material suelto,
 - el proceso de despolimerización se realiza en atmósfera inerte,
 - el horno (70) está equipado con regeneradores (80, 82) para la recuperación del calor residual,
15 - encender el horno (70) de forma alterna en la primera y segunda direcciones opuestas, con inversión periódica de la dirección de encendido entre la primera dirección y la segunda dirección,
 - interrumpir temporalmente el suministro de combustible al horno (70) mientras se invierte la dirección de encendido, con provisión de medios para contener el combustible producido durante la interrupción temporal.
- 20 2. Un método como se reivindicó en la reivindicación 1, en donde sustancialmente todo el calor necesario para promover el proceso de despolimerización se suministra desde el horno (70).
3. Un método como se reivindicó en la reivindicación 1 o a la reivindicación 2, en donde el combustible producido a partir de residuos plásticos contiene al menos 70 % de hidrocarburos, preferentemente 80 %, con mayor
25 preferencia 90 %.
4. Un método como se reivindicó en cualquier reivindicación anterior, en donde la relación carbono a hidrógeno del combustible varía de 65 % a 95 % en peso.
- 30 5. Un método como se reivindicó en cualquier reivindicación anterior, en donde el combustible producido a partir de residuos plásticos tiene un valor calorífico inferior (LHV) de 10 a 100 MJ/Nm³, preferentemente de 20 a 80 MJ/Nm³, con mayor preferencia de 25 a 70 MJ/Nm³, con la máxima preferencia de 30 a 50 MJ/Nm³.
- 35 6. Un método como se reivindicó en cualquier reivindicación anterior, en donde el combustible se produce a partir de residuos plásticos mediante despolimerización en 350 °C a 650 °C, preferentemente en 400 °C a 450 °C.
7. Un método como se reivindicó en cualquier reivindicación anterior, en donde el combustible producido por el proceso de despolimerización se almacena antes de suministrarlo al horno (70).
- 40 8. Un método como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde el combustible producido por el proceso de despolimerización se suministra directamente al horno (70), es decir, sin almacenar el combustible.
9. Un método como se reivindicó en cualquier reivindicación anterior, en donde la quema de combustible en el horno (70) produce gases de escape que contienen calor residual que se utiliza para promover el proceso de
45 despolimerización, y el proceso de despolimerización tiene lugar en un reactor (32), que comprende medios (44, 46) para intercambiar calor residual entre los gases de escape del horno y los residuos plásticos.
- 50 10. Un método como se reivindicó en la reivindicación 9, en donde los gases de escape se suministran directamente al reactor (32).
11. Un método como se reivindicó en la reivindicación 9, en donde el calor residual se suministra al reactor (32) a través de un circuito secundario, los gases de escape se suministran a un intercambiador de calor en el circuito secundario, el intercambiador de calor extrae calor de los gases de escape y suministra el calor al reactor a través del circuito secundario.
- 55 12. Un método como se reivindicó en cualquier reivindicación anterior, en donde los residuos plásticos se comprimen antes del proceso de despolimerización.
- 60 13. Un dispositivo que comprende un horno (70) que se enciende al quemar combustible y una planta (11) para producir combustible a partir de residuos plásticos mediante un proceso de despolimerización, en donde la planta (11) comprende un sistema de purga de gas inerte (13), un alimentador de tornillo (14) conectado a un recipiente de secado y de cloración térmico (18) que contiene plástico fundido, un reactor de craqueo térmico (32) y un conducto (30) por medio del cual el plástico fundido sale del recipiente de secado y de cloración (18) y entra en el reactor de craqueo (32), y
65 la planta (11) suministra combustible al horno (70), y el calor residual del horno se utiliza para promover el proceso de despolimerización,

el horno (70) está equipado con regeneradores (80, 82) para la recuperación de calor residual, en donde el horno (70) comprende medios para encenderse de forma alterna en primera y segunda direcciones opuestas, con inversión periódica de la dirección de encendido entre la primera dirección y la segunda dirección, con provisión de medios para contener el combustible producido durante la inversión de la dirección de encendido.

- 5
14. Un horno (70) como se reivindicó en la reivindicación 13, que comprende un medio para suministrar calor residual desde el horno al reactor de craqueo.
- 10
15. Un horno (70) como se reivindicó en la reivindicación 14, que comprende un medio para suministrar el combustible producido en el reactor de craqueo (32) desde el reactor de craqueo al horno.

