

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 706 283**

51 Int. Cl.:

<b>C10G 1/00</b>	(2006.01)
<b>C10B 47/18</b>	(2006.01)
<b>C10G 1/02</b>	(2006.01)
<b>C10G 1/10</b>	(2006.01)
<b>C10G 11/10</b>	(2006.01)
<b>C10L 1/08</b>	(2006.01)
<b>C10G 11/02</b>	(2006.01)
<b>C10G 11/05</b>	(2006.01)

12

### TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.03.2005 PCT/AU2005/000344**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.09.2005 WO05087897**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.03.2005 E 05706363 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2018 EP 1725633**

54 Título: **Proceso y planta para la conversión de material residual en combustible líquido**

30 Prioridad:

**14.03.2004 AU 2004901325**  
**16.03.2004 EP 04006260**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.03.2019**

73 Titular/es:

**FUTURE ENERGY INVESTMENTS PTY LTD**  
**(100.0%)**  
**Level 7, 533 Little Lonsdale Street**  
**Melbourne, Victoria, AU**

72 Inventor/es:

**BAKER, GARRY**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 706 283 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Proceso y planta para la conversión de material residual en combustible líquido

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere al campo del procesamiento de material plástico para conseguir nuevos productos, que tengan propiedades valiosas y útiles. En un aspecto, la presente invención se refiere a un proceso para convertir plásticos en combustibles diésel.

10

**Técnica antecedente**

En el pasado se han realizado muchos intentos que no han tenido éxito para reprocesar eficazmente una materia prima de plástico residual para obtener un producto de hidrocarburo líquido que tenga propiedades valiosas y útiles. Un volumen muy importante de plásticos, o de polímeros, de uso común se eliminan incorrectamente cada año. En años anteriores, se había producido una considerable mejora en la recogida y reciclado de los polímeros plásticos habituales. Sin embargo, el reciclado y utilización de polímeros residuales, tal como se realiza en la actualidad, sin subvenciones, no es rentable, forzando al abandono de muchos esfuerzos de reciclado. El reciclado de los polímeros plásticos para combustibles tampoco se ha demostrado práctico debido a la incapacidad de recoger suficientes cantidades para un funcionamiento continuo de los equipos de reciclado.

15

20

La termolisis se refiere a la disociación o descomposición de compuestos químicos mediante calor y, en particular, es un proceso que se ha descrito ampliamente en donde el material plástico residual se convierte en combustible líquido mediante la degradación térmica (craqueo) en ausencia de oxígeno. De forma típica, el residuo plástico se funde en primer lugar en una cámara de acero inoxidable con purga de gas inerte, tal como nitrógeno. A continuación, esta cámara calienta el material fundido hasta un estado gaseoso que se extrae para llevarlo a un convertidor catalítico donde se craquea para formar longitudes de cadena de carbono de un determinado intervalo deseable.

25

Los gases pirolíticos calientes del intervalo de longitud de la cadena de carbono deseado se condensan a continuación en uno o más condensadores para producir un destilado de hidrocarburos que comprende hidrocarburos alifáticos de cadena lineal y ramificada, hidrocarburos alifáticos cíclicos, e hidrocarburos aromáticos. La mezcla resultante es aproximadamente equivalente al combustible diésel normal tras la introducción de aditivos y la implementación de otras acciones de procesamiento posterior poco importantes.

30

35

El combustible diésel es una mezcla de compuestos de hidrocarburo conocida como destilado que es más pesada que la gasolina pero más ligera que el aceite lubricante. El diésel es una mezcla de alcanos de cadena lineal y ramificada, hidrocarburos saturados cíclicos y aromáticos. El combustible diésel está diseñado para funcionar solamente en motores diésel, donde se inyecta en la cámara de combustión del motor diésel junto con aire comprimido a alta temperatura, y se calcina de manera espontánea.

40

Por el contrario, la gasolina en un motor de gasolina se calcina mediante las bujías. El combustible diésel producido mediante pirólisis y otros métodos debe satisfacer un conjunto de requisitos de composición antes de certificarse para su venta en muchos países.

45

El documento US 2003/199718 se refiere a un proceso continuo para convertir plásticos residuales en aceites lubricantes que comprende las siguientes etapas: alimentar el material plástico a una unidad de calentamiento en la que se produce un fundido a una temperatura comprendida en el intervalo de 150 °C a 350 °C; hacer avanzar continuamente el material fundido a un reactor de pirólisis en flujo pistón mantenido a una temperatura comprendida entre 450 °C y 700 °C (el intervalo preferido es 500 °C-650 °C) y bombear el efluente pirolizado (muy cerúleo) a través de una unidad de eliminación de ceras mediante isomerización catalítica. El producto obtenido a partir de la unidad de eliminación de ceras mediante isomerización se fracciona en una unidad de destilación, y los aceites lubricantes, una base lubricante pesada y una cantidad de diésel se recuperan. Las olefinas más ligeras y las olefinas gaseosas se hacen avanzar desde la unidad de pirólisis a una unidad de oligomerización para su conversión en productos de aceite de lubricación mediante la puesta en contacto de dichos gases con catalizadores. Preferentemente, el efluente pirolizado se bombea a una unidad de hidrotatamiento para eliminar los compuestos que contienen nitrógeno, azufre y oxígeno, que podrían contaminar los productos y envenenar los catalizadores posteriores.

50

55

El documento US 5608136 divulga un proceso de descomposición pirolítica en dos etapas, y un aparato para descomponer pirolíticamente material plásticos. El material plástico se funde en primer lugar a una temperatura inferior a 300 °C y el material fundido se alimenta a un primer recipiente de descomposición, donde se trata térmicamente a una temperatura de 350-600 °C. Se producen un primer producto de descomposición y un residuo de descomposición. El producto de descomposición primario se enfría y se separa en una fracción ligera que contiene los constituyentes ligeros deseados, y una fracción pesada. La fracción pesada se devuelve a un segundo recipiente de descomposición para su descomposición térmica a una temperatura de 350-600 °C en una atmósfera

60

65

presurizada y se obtiene un producto de descomposición secundaria que contiene el constituyente ligero deseado. Este producto obtenido se alimenta a un segundo condensador, donde se enfría y se recoge. La Figura 15 muestra el uso de una pluralidad de unidades de descomposición térmica que tienen una estructura tubular de doble pared y que están provistas de válvulas para permitir la separación de las operaciones individuales de dichos reactores. Las porciones de combustible licuado producidas en cada uno de los reactores se descargan de los reactores de pirólisis mediante las válvulas de salida. El residuo de descomposición se descarga desde el recipiente exterior mediante un conducto de purga y se almacena en el almacén de residuos.

El documento WO 01/70906 se refiere a un método para la preparación continua de gasolina, queroseno y aceite diésel a partir de plásticos residuales, que se funden en dos tanques de fusión calentados a una temperatura de 340 a 360 °C. Los plásticos residuales secundariamente fundidos se alimentan a un tanque de fusión de materia prima, donde las impurezas finas, precipitadas al fondo del tanque, se eliminan mediante un tornillo de descarga. El fundido de plástico residual homogéneo se alimenta a un tanque de precipitación para eliminar las impurezas precipitadas mediante un tornillo de descarga. Posteriormente, el fundido de plástico residual se somete a una reacción catalítica en un primer reactor a una temperatura comprendida entre 350 °C y 370 °C mediante el uso de un impulsor del catalizador (níquel o aleación de níquel). El fundido de plástico residual producido, deshidrogenado y descompuesto, se somete a craqueo catalítico de fluidos en un craqueador a una temperatura comprendida entre 500 °C y 550 °C. El aceite gaseoso desprendido desde la parte superior del primer reactor y el aceite gaseoso craqueado e isomerizado en el reactor catalítico de fluido se someten a un contacto gas-líquido en una columna de fraccionamiento para obtener la fracción deseada de tipo gasolina, la fracción de queroseno, y una fracción de aceite diésel. Por último, la fracción de aceite diésel y la fracción de queroseno se refinan, mientras que la fracción de tipo gasolina se procesa adicionalmente en un reactor catalítico y posteriormente se refina.

Las plantas de sistemas de termolisis existentes están en funcionamiento, pero presentan una serie de inconvenientes y desventajas, que finalmente dan como resultado una producción y rendimiento ineficaces de hidrocarburos líquidos a partir de materiales residuales plásticos. Una desventaja principal es el proceso de cargar manualmente los residuos plásticos, y también que el sistema no puede recibir tamaños variables de alimentaciones de residuos plásticos. Los sistemas existentes que reciben bloques o carretes de plásticos cargados de forma manual tienen un importante inconveniente de exceso de espacio vacío dentro de la cámara de pirólisis, que se debe sellar para permitir la purga del gas atmosférico y el fundido del material. Una vez sellada, no se puede añadir más residuo a la cámara aunque tenga sitio para más material cuando se ha fundido. La incapacidad de rellenar la cámara de pirólisis hasta su máximo reduce la velocidad de todo el proceso y finalmente el rendimiento de estos sistemas de termolisis conocidos.

Normalmente, las plantas de termolisis conocidas tienen dos cámaras de pirólisis, conocidos como sistemas de cámaras gemelas, que funcionan conjuntamente a una velocidad aproximadamente igual. Un problema particular con la configuración de las cámaras de pirólisis existentes es que el combustible solo se puede producir de forma discontinua. Una vez que ambas cámaras han completado la pirólisis del material residual al unísono, es necesario esperar que las dos se enfríen antes de que se pueda eliminar la torta carbonatada indeseada de la base interna de cada cámara. Es por tanto actualmente necesario esperar a que cada cámara se enfríe y se limpie a mano la torta antes de que las cámaras se puedan volver a usar para un segundo y posteriores lotes. Aunque puede ser necesario en un proceso discontinuo de acuerdo con un aspecto de la presente invención vaciar manualmente la torta mediante acceso por el agujero-hombre (puerto de inspección) en la tapa de la cámara, en un proceso continuo preferido de acuerdo con otro aspecto de la invención, este problema se aborda más adelante. Además de esta limitación en la configuración asociada con los procesos discontinuos, el tamaño físico de las cámaras existentes limita en gran medida la capacidad de procesamiento de materiales residuales en cada lote.

Un problema adicional con los sistemas de termolisis existentes son la mayor frecuencia de paradas por motivos de limpieza, mala transferencia de calor dentro de la propia alimentación de residuo, mayor tiempo de proceso por carga de cámara, y también el gasto y el ensuciamiento de los catalizadores consumibles. El problema final es la calidad del producto final de combustible, incluida una medición de la capacidad del combustible diésel para reducir el desgaste de las superficies sólidas en contacto que se encuentran en algunas bombas de combustible e inyectores.

Un problema adicional con los sistemas de termolisis existentes es que el combustible producido frecuentemente es de norma variable y no se puede utilizar en motores y otra maquinaria que carezca de tolerancia para dicha inconsistencia en el combustible. Un problema particular es la propiedad de los combustibles producidos por dichos procesos existentes, que tienen un punto de inflamación generalmente variables entre 25 °C y 45 °C, que son demasiado bajos debido a la elevada presencia de fracciones de combustible líquido. Por tanto, dichos combustibles son inadecuados para el uso esperado en todas las regiones del planeta, y en aplicación diferentes a motores estacionarios. Otros procesos de la técnica anterior producen aceites más pesados que tampoco son adecuados para el funcionamiento de motores diésel.

El anterior análisis y cualquier otro realizado de los documentos ya existentes, dispositivos, actos o conocimiento en la presente memoria descriptiva se ha incluido para explicar el contexto de la invención. No debe tomarse como una admisión de que ninguno de los materiales forme parte de la base de la técnica anterior o sea de conocimiento general en el campo relevante en Australia o en otra parte en o antes de la fecha de prioridad de la divulgación y las

reivindicaciones del presente documento.

A la vista del análisis anterior, un objetivo de la presente invención es proporcionar un proceso de termolisis que tenga un rendimiento mejorado de los hidrocarburos líquidos que tengan una calidad consistente, usando como materia prima plástico residual.

- 5 Un objetivo adicional de la presente invención es aminorar o superar al menos una ventaja asociada con la técnica anterior.

### Sumario de la invención

- 10 La presente invención proporciona un proceso para la conversión de material plástico en combustible diésel de acuerdo con la reivindicación 1.  
El material residual se somete a un procesamiento preliminar en donde el proceso inventivo incluye la etapa preliminar de:

- 15 a) dilacerar el material residual.

La etapa a) puede comprender trabajar mecánicamente cuerpos de material residual, material, tales como láminas, trozos, bloques, grumos, y otras formas, para romper el material en trozos más pequeños o material en forma de partículas tales como copos que tienen una elevada relación entre superficie y volumen. Las ventajas de dilacerar el material plástico residual incluyen:

- 20 i) la alimentación del material residual a la siguiente etapa de proceso se facilita porque el material se puede transportar por diferentes medios incluido el soplado, caída por gravedad, etc., por medios de suministro o la apertura de una ventana de tamaño opcionalmente limitado; y
- 25 ii) la duración de la energía necesaria al medio de fundido se reduce porque las partículas individuales son más fáciles de fundir y mejora la transferencia de calor entre partículas.

- 30 En otro aspecto, la invención proporciona una planta para la conversión de material plástico en combustibles diésel de acuerdo con la reivindicación 3.

La cámara de pirólisis incluye un agitador, que puede eliminar la torta acumulada en la base de la cámara de pirólisis y permitir la alimentación continua de material residual fundido al interior de la cámara de pirólisis y la producción y suministro continuo al convertidor catalítico mediante el material gaseoso residual.

- 35 La fuente de calor necesaria para el medio de fusión puede implicar un horno o un medio de calentamiento eléctrico que tiene una fuente de calor independiente no asociada con otra parte del proceso. Como alternativa, la energía térmica de otra parte del proceso se puede recuperar y/o recircular y utilizar para el medio de fusión. En una forma preferida, la energía térmica originada en el medio de calentamiento de una o más de las cámaras de pirólisis se dirige al medio de fusión. Por ejemplo, cuando la cámara de pirólisis se calienta con un horno, los gases de salida calientes se pueden recuperar y utilizarse para calentar el medio de fusión. Los gases de salida calientes se pueden alimentar directamente a serpentines que rodean una cámara de medio de fusión o pueden transferir energía térmica al medio de fusión mediante un intercambiador de calor. El intercambiador de calor puede utilizar un fluido de intercambio de calor adecuado tal como vapor o, más preferentemente, aceite.

- 45 El medio de condensador puede incluir un condensador selectivo de baja temperatura que actúa para eliminar las fracciones ligeras del material gaseoso craqueado. El medio de condensador puede condensar diferencialmente diferentes fracciones del producto gaseoso procedente del medio de convertidor catalítico para seleccionar una o más fracciones adecuadas para usar como combustible. Por ejemplo, el medio de condensador puede incluir dos condensadores más capaces de condensar fracciones a diferentes temperaturas o intervalos de las mismas. En un aspecto preferido, el medio de condensador incluye un condensador para obtener fracciones adecuadas para combustible diésel y fracciones ligeras para utilizarse o eliminarse.

- 50 Los inventores también divulgan un proceso para la conversión termocatalítica de materiales residuales a combustibles reutilizables, en el que el material residual fundido se dirige al interior de una más cámaras de pirólisis que pueden funcionar de manera independiente.

- 60 Los inventores también divulgan un proceso para la conversión termocatalítica de materiales residuales a combustibles reutilizables, en el que una pluralidad de cámaras de pirólisis funciona de manera independiente para permitir la transferencia cíclica de material gaseoso desde una o más cámaras de pirólisis a un medio de convertidor catalítico.

- 65 Los inventores también divulgan un proceso para la conversión termocatalítica de materiales residuales a combustibles reutilizables, en el que una pluralidad de cámaras de pirólisis se utiliza de forma alternante al menos una de cada vez de forma que una cámara de pirólisis pueda enfriarse mientras que otra cámara de pirólisis pueda transferir el material gaseoso a un medio de convertidor catalítico.

Los inventores también divulgan un proceso para la conversión termocatalítica de materiales residuales a combustibles reutilizables, en el que una o más cámaras de pirólisis se enfrían activamente tras completar la transferencia de materiales residuales gaseosos a un medio de convertidor catalítico.

- 5 Los inventores también divulgan un proceso para la conversión termocatalítica de materiales residuales a combustibles reutilizables, en el que la torta se extrae mecánicamente de una o más cámaras de pirólisis mediante el uso de uno o más tornillos hidráulicos. Este método automatizado para eliminar la torta de la cámara permite un funcionamiento semicontinuo porque se elimina la necesidad de eliminar manualmente la torta de la cámara después de un lote en particular. Aunque la torta pueda seguir acumulándose en la cámara con el tiempo, la velocidad de  
10 acumulación es más lenta debido a la eliminación continua de una parte importante de la torta producida. Por tanto, se necesitará una eliminación manual mucho más frecuente de la torta de la cámara.

- Los inventores también divulgan un proceso para la conversión termocatalítica de materiales residuales a combustibles reutilizables, en el que el proceso tiene al menos un funcionamiento semicontinuo. El sistema de  
15 termolisis en proceso continuo puede funcionar, en principio, de forma similar a un sistema discontinuo. Puede tener, sin embargo, algunos refinamientos distintivos que difieren del sistema discontinuo. Principalmente, el proceso continuo puede incluir un sistema de alimentación continua de las cámaras de pirólisis y/o columnas de destilación en lugar de una serie de condensadores.

- 20 La planta de procesamiento por termolisis continua puede usar la conversión termocatalítica del plástico residual en combustible limpio útil (por ejemplo, combustible diésel, también conocido como destilado intermedio). Este sistema puede usar plásticos contaminados en el proceso. El nivel de contaminación afectará, sin embargo, las velocidades de rendimiento, ya que se procesa menos plástico por unidad de volumen. El proceso degrada térmicamente (craquea) el residuo plástico en un ambiente anóxico en el interior de una cámara de pirólisis, pirolizándolo  
25 (craqueándolo) a un estado gaseoso. Los gases de pirólisis calientes pueden pasar por un convertidor catalítico. El convertidor catalítico puede incluir numerosas superficies catalíticas. Preferentemente, las superficies catalíticas comprenden placas de aleación y, más preferentemente, estas superficies están caracterizadas por no poderse envenenar ni consumir. En el proceso se producen dos reacciones. Se produce una primer reacción que implica craqueo mientras el plástico se calienta, y se produce una segunda reacción cuando los gases de pirólisis calientes entran en contacto con las placas de aleación. A continuación, los gases se craquean y se reforman para dar  
30 longitudes de cadena de carbono de un determinado intervalo deseable.

- Los gases pirolíticos calientes del intervalo de longitud de la cadena de carbono deseada se pueden condensar a continuación en uno o más condensadores o, más preferentemente, en una o más torres de destilación, para  
35 producir un destilado de hidrocarburos que comprende hidrocarburos alifáticos lineales y ramificados, hidrocarburos alifáticos cíclicos, e hidrocarburos aromáticos. La mezcla resultante es, preferentemente, aproximadamente equivalente al combustible diésel normal tras la introducción de aditivos y la implementación de otras acciones de procesamiento posterior poco importantes, tal como la eliminación de fracciones especialmente ligeras. De esta forma, el proceso inventivo puede producir combustible que es prácticamente equivalente al combustible diésel,  
40 habitual en Australia, especificado como AS 3570-1998.

- Los inventores también divulgan un proceso para la conversión termocatalítica de materiales residuales a combustibles reutilizables, en el que el proceso usa al menos cuatro cámaras de pirólisis que recibe material residual fundido mediante la operación selectiva de un sistema de colectores que tiene un número correspondiente de rutas  
45 de entrada. El sistema de colectores esté preferentemente precalentado, opcionalmente usando gases de salida calientes procedentes de, por ejemplo, el horno de pirólisis. El colector de 4 vías está preferentemente adaptado para alimentar automáticamente cada una de las cuatro cámaras de pirólisis por turno.

- Los inventores también divulgan un proceso en el que el material residual incluye o consiste en poliolefinas y/u otro material considerado material residual. Los materiales residuales se seleccionan preferentemente entre el grupo que  
50 consiste en polímeros de adición, polímeros de condensación, y combinaciones de los mismos. Los materiales orgánicos residuales seleccionan preferentemente entre el grupo que consiste en plástico residual, aceites y lubricantes usados, y combinaciones de los mismos.

- 55 Los inventores también divulgan un proceso en el que los materiales orgánicos residuales se seleccionan entre el grupo que consiste en especies alifáticas, especies aromáticas, especies que contienen sustituyentes tanto alifáticos como aromáticos, y combinaciones de los mismos.

- Los inventores también divulgan un proceso en el que el medio de fusión un sistema de fusión en caliente durante la  
60 alimentación. El medio de fusión puede estar situado antes de la cámara de pirólisis.

- Los inventores también divulgan un proceso en el que el convertidor catalítico consiste en una serie de placas metálicas internas de elevada superficie específica que son el catalizador. El catalizador de placas se selecciona preferentemente entre el grupo que incluye cerámicas, zeolitas, los silicatos de hierro Fe<sup>3+</sup>, cobalto Co<sup>2+</sup>, níquel  
65 Ni<sup>2+</sup>, níquel Raney, manganeso Mn<sup>2+</sup>, cromo Cr<sup>3+</sup>, cobre Cu<sup>2+</sup> y/o sus mezclas o el catalizador MCM-41.

Los inventores también divulgan un producto de combustible basado sustancialmente en carbono producido mediante el proceso de la invención, incluyendo el combustible cadenas de carbono en el intervalo de C6 a C25. El producto de combustible basado sustancialmente en carbono preferentemente incluye cadenas de carbono en un intervalo que tiene el máximo en la longitud C16. Preferentemente, un producto de combustible basado sustancialmente en carbono que es prácticamente equivalente al combustible diésel habitual en Australia, especificado como AS 3570-1998. Los hidrocarburos reutilizables y los combustibles reutilizables incluyen hidrocarburos líquidos. El producto de combustible se puede almacenar en un recipiente de almacenamiento. El recipiente de almacenamiento, es preferentemente un tanque de almacenamiento.

En el proceso de la invención, lo que se indica a continuación son opciones adicionales preferidas. La extracción se puede realizar mediante un sistema accionado por tornillo. Un medio de tubería puede ser una tubería aislada. Un colector puede ser un colector de 4 vías calentado. El colector puede dirigir el residuo fundido a una de las cuatro cámaras de pirólisis. La atmósfera oxidante en cámara de pirólisis se debe neutralizar, por ejemplo, purgando el oxígeno y otros oxidantes arrastrados por el aire de la cámara mediante la introducción de un gas. El gas de purga se selecciona preferentemente entre el grupo que consiste en nitrógeno, helio, u otros gases inertes o combinaciones de los mismos.

Los inventores también divulgan un proceso en el que el intervalo de calentamiento de la cámara de pirólisis es 390 °C - 410 °C. El intervalo de calentamiento de la cámara de pirólisis, sin embargo, puede tener un intervalo más amplio de 350 °C-425 °C. Las cámaras de pirólisis se presurizan preferentemente a una presión de 1,08 bar.

Los inventores también divulgan un proceso en el que el convertidor catalítico usa un catalizador no consumible. El material gaseoso se piroliza preferentemente para formar moléculas de hidrocarburo. El exceso de gases no condensables (muy ligeros) se puede hacer pasar por un lavado cáustico para eliminar los ácidos, después a una cámara de gas desprendido, donde se pueden destruir. El convertidor catalítico está preferentemente adaptado para modificar las cadenas de carbono de longitud superior a C25 y reformar las cadenas más cortas. El convertidor catalítico se calienta preferentemente a 220 °C o más. El catalizador metálico preferentemente 'craqueará' las cadenas parafínicas de longitud superior a C25. El catalizador preferentemente garantiza que el combustible final tiene una distribución de la cadena de carbono en el intervalo C8-C25 y con máximo en C16 (cetano). El convertidor catalítico se calienta preferentemente mediante los gases de salida procedentes del horno de una o más de las cámaras pirolíticas. De manera similar, la cámara de fundido en caliente se puede calentar mediante los gases de salida procedentes del horno de una o más de las cámaras pirolíticas. Los gases no condensables se pueden dirigir al horno para su incineración.

Los inventores también divulgan un proceso en el que la temperatura de condensación no es consistente en todos los elementos del sistema de condensación.

El serpentín de condensación superior se hace funcionar preferentemente a una temperatura inferior que la del serpentín de condensación inferior, por ejemplo, para separar las fracciones ligeras de las fracciones remanentes más adecuadas para una composición de destilado intermedio. La separación de la fracción ligera se puede conseguir durante el proceso de termolisis.

Ventajosamente, la invención proporciona un nuevo proceso que tiene la capacidad, en comparación con la técnica anterior, de aumentar en gran medida el rendimiento de la alimentación de material plástico para producir combustible diésel de calidad consistente. Este rendimiento se consigue principalmente según el método por el cual la alimentación de residuo se prepara y suministra a una cámara de pirólisis. Los avances realizados por el proceso de la invención incluyen material residual en fusión (plástico) antes de suministrarlo a cualquiera de las cámaras de pirólisis principales, por ejemplo, mediante el uso de un sistema de fusión en caliente durante la alimentación para conseguir un llenado mayor y por tanto la eficacia de cada cámara de pirólisis. Se realizaron otros avances realizando el movimiento del material al interior de la torre catalítica en un funcionamiento semicontinuo. Este funcionamiento semicontinuo se consigue en parte mediante:

- Dirigir el material residual fundido al interior de al mínimo una cámara de pirólisis, pero preferentemente dos o más, y lo más preferentemente cuatro cámaras de pirólisis, siendo capaz preferentemente cada cámara del funcionamiento independiente.
- El uso opcional de un sistema de colectores de cuatro vías precalentado que tiene el correspondiente número de rutas de entrada que se puede ajustar para dirigir el material residual fundido al interior de una o más de las cámaras de pirólisis.
- Cuando se utiliza más de una cámara de pirólisis, el acoplamiento de una cámara de pirólisis con otra cámara de pirólisis puede mantener la operación para continuar la transferencia de material gaseoso hasta un medio de convertidor catalítico.
- Eliminar mecánicamente la torta residual de una o más cámaras de pirólisis mediante el uso de uno o más tornillos hidráulicos internos u otros medios adecuados.

Otros aspectos de la invención se refieren a diferentes mejoras en la eficacia del proceso global que se divulga en el presente documento.

5 Se ha descubierto que el proceso y el aparato asociado de la presente invención dan como resultado una o más de las ventajas siguientes:

- reducción o eliminación de la manipulación manual de la corriente de alimentación de plástico;
- 10 • acortamiento del tiempo que tarda la primera cámara de pirólisis para llegar a la temperatura de funcionamiento final;
- conseguir una capacidad del 100 % de la corriente de alimentación de plástico antes de iniciar el funcionamiento de la primera cámara -esto maximiza el volumen de material de cada cámara antes de iniciar el tratamiento;
- 15 • uniformidad mejorada de la temperatura, transferencia de calor a los materiales y la pirólisis;
- mejora en la consistencia del combustible; y
- reducción en el esfuerzo y el tiempo necesarios para la eliminación del arrastre y la limpieza del sistema.

20 Las ventajas anteriores dan como resultado la expansión del rendimiento y de la capacidad de producción (en comparación con los sistemas de la técnica anterior) hasta los 9.500 litros por día a partir de 10 toneladas de plásticos residuales. El enfriamiento activo aumenta el ciclo de tiempo de cada cámara al día desde el actual ciclo diario a aproximadamente 2,5 ciclos en un período de 48 horas (por cámara) aumentando la capacidad del sistema para procesar hasta 12,5 toneladas en un periodo de 24 horas, produciendo aproximadamente 11.750 litros de fueloil y aproximadamente 750 litros de ligeros por periodo de 24 horas, (siendo los "ligeros" un tipo de aguarrás mineral (hidrocarburos ligeros)).

### 30 Breve descripción de los dibujos

El alcance adicional de la aplicabilidad de la presente invención será evidente a partir de la descripción detallada proporcionada en el presente documento. Sin embargo, se deberá entender que la descripción detallada y los ejemplos específicos, si bien indican realizaciones preferidas de la invención, se proporcionan solamente a modo de ilustración, ya que serán evidentes para los expertos en la materia varios cambios y modificaciones dentro del espíritu y alcance de la invención a partir de esta descripción detallada.

35 Otras divulgaciones, objetivos, ventajas y aspectos de la presente solicitud se comprenderán mejor por los expertos en el campo relevante por referencia a los siguientes dibujos de las realizaciones preferidas, que se proporcionan solamente a modo de ilustración, y que por tanto no son limitativos de la presente invención, y en los que:

40 la Fig. 1 ilustra una vista en forma de diagrama de un sistema de termolisis con características principales de acuerdo con una primera realización preferida de la presente invención;

45 la Fig. 2 ilustra una vista en planta de una distribución en planta de un sistema de termolisis de acuerdo con la primera realización preferida de la presente invención;

la Fig. 3 ilustra una vista en elevación o vista lateral de la distribución en planta mostrada en la Fig. 2;

50 la Fig. 4 ilustra un diagrama de un gráfico de un cromatograma cromatográfico que indica la proporción relativa de las longitudes de cadena de carbono dentro del combustible diésel normal. El eje Y de este gráfico indica la cantidad;

55 la Fig. 5 ilustra un diagrama de un gráfico de un cromatograma cromatográfico que indica la proporción relativa de las longitudes de cadena de carbono dentro del combustible diésel producido mediante el sistema de termolisis de la primera realización preferida de la presente invención. El eje Y de este gráfico indica la cantidad;

la Fig. 6 ilustra una vista en forma de diagrama de un sistema de termolisis con características principales de acuerdo con una segunda realización preferida de la presente invención; y

60 la Fig. 7 ilustra una vista en forma de diagrama de un sistema de desulfuración.

### Descripción detallada

65 A menos que se especifique de otro modo en la presente memoria descriptiva, todos los términos técnicos se utilizan en el presente documento de acuerdo con sus definiciones habituales, ya que se utilizan normalmente y son entendidas por los expertos en la materia.

En referencia a las figuras donde números de referencia similares designan piezas similares o correspondientes en las diferentes vistas, y haciendo especialmente referencia a las Figs. 1, 2 y 3, se muestra un proceso global 6 y la configuración de la planta para convertir plástico residual en combustible diésel usando un procesamiento discontinuo de acuerdo con la invención.

5

### Operación de procesamiento inicial

Los plásticos residuales en su forma original de láminas de plástico, tambores, carretes, bloques y piezas planas se colocan en una pila 11 y se desplazan mediante un transportador de cesta 13 subterráneo de velocidad variable, hasta un granulador 12 para reducir el tamaño de los objetos más grandes de plástico residual. Un separador magnético 15 y un recipiente para metales (14) está situado por encima del transportador 13 para retirar los posibles metales antes de la su entrada al granulador 12. Desde el granulador 12, los plásticos reducidos se suministran (por ejemplo, mediante un transportador, tornillo hidráulico o soplante) hasta un silo 17 de mantenimiento fluidizado. Aunque se pueden utilizar diferentes mecanismos para transferir el plástico de un sitio a otro, en este método preferido, el suministro se realiza mediante una soplante 16. Un colector de polvo 18 asociado al silo de mantenimiento 17 recoge el exceso de polvo creado por acción de la soplante 16. Todas las operaciones descritas hasta este momento son preparaciones preliminares y se pueden completar o no fuera de los tiempos de funcionamiento normales del sistema de termolisis general analizado a continuación.

### 20 PROCESO DE TERMOLISIS DISCONTINUO

Para comenzar el proceso de termolisis, los plásticos residuales granulados se retiran del silo de mantenimiento 17 mediante una segunda soplante 19 y alimentador forzado 20, a un sistema 21 de fusión en caliente durante la alimentación que incluye una extrusora, que funde los plásticos residuales a una temperatura adecuada para conseguir un flujo licuado adecuado que se introduce en un colector de distribución 22 de fundido calentado mediante tuberías calentadas que mantienen caudales adecuados. El colector de distribución 22 es un sistema operado por válvulas que permite la distribución del residuo líquido a través de cuatro tuberías de salida diferentes, que conducen a una cámara de pirólisis 26a, 26b, 26c o 26d independiente. Aunque la descripción se hace en referencia a las cuatro cámaras, se entenderá que la presente invención es de aplicación a cualquier número de cámaras, que se designan con el número 26 en el presente documento. La cámara que recibe el residuo líquido se llena preferentemente hasta un 80 % de su capacidad con el residuo líquido, y después se precinta y los gases ambientales atmosféricos se purgan sustancialmente mediante la introducción de una manta preferentemente de nitrógeno gaseoso. El nitrógeno procede del generador de nitrógeno 25, a través de un recipiente 24 de almacenamiento de nitrógeno, de acuerdo con un dispositivo 23 de control de nitrógeno. El gas usado para purgar el gas atmosférico puede seleccionarse por otra parte entre el grupo que consiste en helio, u otros gases inertes o combinaciones de los mismos.

Cada cámara de pirólisis está situada dentro de una unidad de calentamiento, tal como un horno 28 con un quemador 27 de gas natural. El calor del horno se aplica para llevar la temperatura interna de la cámara de pirólisis principal hasta una temperatura comprendida entre 375 °C y 420 °C. Agitadores rotatorios 42 internos convencionales garantizan una transferencia de calor uniforme u una mezcla plástica homogénea. Los materiales no de alimentación o los contaminantes caen al fondo de la cámara 26 para formar un material de torta carbonatada que se debe eliminar regularmente antes de que se acumule en las paredes de la cámara de pirólisis, donde actúa como aislante térmico y disminuye la transferencia de calor hacia el material residual plástico. Por tanto, la torta se elimina por medios adecuados, tal como un rascado continuo mediante cuchillas rotatorias de forma que la torta liberada se acumula como un fino polvo negro friable en la parte inferior de la cámara de pirólisis, desde donde se aspira manualmente después de cada lote. Sin embargo, como se explicará más adelante en referencia un proceso continuo alternativo, un tornillo hidráulico situado en la base de la cámara se puede usar para eliminar periódicamente la torta acumulada.

Para conseguir una salida y entrada más rápida del material residual, el enfriamiento activo se consigue enfriando el interior de cada cámara con N<sub>2</sub> de la línea de N<sub>2</sub>, y el enfriamiento externo de la cámara mediante el ventilador del quemador que sopla aire alrededor de la cámara en el interior del horno, que se usa en cada una de las cámaras principales 26 para reducir el tiempo de enfriamiento desde las 12 horas habituales (técnica anterior) hasta un máximo (para la planta y el proceso de la invención) de 7 horas, permitiendo un paso más rápido entre un ciclo de proceso y el siguiente. El enfriamiento se puede implementar mediante un ventilador o cualquier otro medio de enfriamiento conocido en la técnica.

Con un sistema de al menos cuatro cámaras de pirólisis disponibles para el funcionamiento, una o dos cámaras se pueden configurar para funcionar y suministrar gases pirolíticos al convertidor catalítico 29. Mientras una o dos cámaras suministran estos gases según necesidad, las cámaras restantes se pueden preparar para un lote siguiente de entrada de plástico fundido desde el sistema de fundido en caliente, permitiendo de esta forma un funcionamiento semicontinuo y una salida de combustible como resultado de la distribución en etapas del funcionamiento de las cámaras. El colector de distribución 22 caliente controlado por válvulas se puede usar para dirigir el material plástico fundido a cualquiera de las cámaras según necesidad para permitir que el sistema funcione de forma semicontinua.

65



La siguiente cámara en la secuencia de operaciones se precalienta a entre 170 °C-220 °C mientras la corriente de alimentación líquida llena la cámara hasta un 80 % de su capacidad. Tras completar el llenado, la temperatura de la cámara principal seleccionada se aumenta hasta entre 375 °C y 420 °C y el plástico residual líquido de la cámara sellada se gasifica mediante pirólisis a esta temperatura, produciendo al menos la rotura parcial de las longitudes de cadena de carbono aleatoriamente en varias longitudes.

Los gases pirolizados se impulsan a continuación al interior de la torre de reacción 29 de un convertidor catalítico donde los componentes del gas se craquean termolíticamente. La torre 29 de reacción catalítica contiene un sistema de placas hechas de una aleación metálica catalítica especial. Las placas metálicas están colocadas de tal forma que los gases pirolíticos deben seguir un camino tortuoso para maximizar el área y el tiempo de contacto con las placas metálicas. La cámara 29 del catalizador se calienta a 220 °C o más usando los gases de salida del horno de la cámara de pirólisis 26 seleccionada. El catalizador metálico craquea las cadenas parafínicas de carbono de longitud superior a C25 y reforma las cadenas más cortas de C6. Hay conversión de las cadenas de alfa-olefina (1-alquenos) a alcanos saturados. El catalizador garantiza que el combustible final tiene una distribución de la cadena de carbono en el intervalo C8-C25 y con máximo en C16 (cetano). Los catalizadores metálicos están hechos de metales que incluyen Ni y Cu, o materiales cerámicos o zeolitas en forma de placa perforada y malla de alambre. El resto de catalizadores incluyen MCM-41 y los silicatos de hierro Fe<sup>3+</sup>, cobalto Co<sup>2+</sup>, níquel Ni<sup>2+</sup>, níquel Raney, manganeso Mn<sup>2+</sup>, cromo Cr<sup>3+</sup>, cobre Cu<sup>2+</sup> y/o sus mezclas. Las placas catalíticas pueden estar hechas con uno cualquiera de estos metales, o una combinación de los mismos. Preferentemente, el catalizador ni se consume ni queda envenenado. La torre catalítica 29 usa tecnología conocida en la industria petroquímica, y todos los detalles relacionados con los procesos de la torre de reacción están públicamente disponibles en el documento JP 3344952.

A continuación, los gases térmicamente craqueados se llevan desde la torre de reacción 29 a uno o más condensadores 30 y/o 30a, donde los gases se destilan en fracciones separadas. El condensador 30 enfría y destila los gases, produciendo líquidos condensados por contacto con un serpentín de condensación a una temperatura interna de 60 °C. El condensador 30a enfría y destila gases usando dos serpentines con temperatura interna de 20 °C y un serpentín de condensación superior que tiene una temperatura de entrada de 8 °C para las fracciones ligeras. Hay tres serpentines de enfriamiento en el segundo condensador 30a y estos se enfrían con agua de la torre de refrigeración o unidades 31 de enfriamiento de agua. El agua fluye a través de preferentemente tres serpentines que van en corriente paralela en la dirección del flujo del gas de pirólisis. En cada posición del serpentín hay una bandeja trampa y un tapón de burbujeo para que los vapores de pirólisis calientes tengan que fluir a través de los serpentines de condensación. Esto permite una condensación eficaz de los condensados de pirólisis. El agua de la torre de refrigeración o del enfriador de agua también fluye por algunas de las juntas a lo largo de la línea para mantenerlos fríos. En particular, las juntas que se enfrían más ventajosamente incluyen la junta del agitador en el eje 42 del agitador y la junta del puerto de inspección (agujero-hombre) de la cámara 26 en la tapa de la cámara.

El resto de los gases no condensables (NCG) no condensados en el serpentín de condensación de 8 °C se transportan hasta un lavador de gases 34 que suministra agua levemente básica para neutralizar el ácido, neutralizar los NGC remanentes y convertir los gases en adecuados para la incineración mediante el quemador 40 de gas residual. Como alternativa, el gas se puede recircular a un quemador del horno, según necesidad. Un tanque 36 de sosa cáustica suministra agua alcalina que se dosifica regularmente con álcali procedente de un tanque (35) de fabricación de álcali mediante una bomba dosificadora para mantener el valor correcto del pH en el tanque 36 de agua cáustica.

Desde los condensadores, la parte principal del combustible fraccionado que no es el componente ligero se transporta mediante una tubería hasta el tanque 33 de recuperación de aceite diseñado para el almacenamiento de combustible líquido, en esta realización, los tanques intermedios 32. Los combustibles fraccionados se conducen por tubería hasta una centrífuga 38, resaltando que puede ser necesaria más de una centrífuga dependiendo de los volúmenes de producción. La centrífuga elimina partículas de carbono, agua, hidróxido de amonio, y otros contaminantes que pueden estar presentes en el combustible. A continuación, el combustible se bombea a tanques 39 de aseguramiento de la calidad (QA), desde donde se envía al tanque 41 de almacenamiento de masa.

#### Distribución de longitudes de cadena de carbono

El combustible líquido resultante no es un compuesto 'puro', sino una mezcla de alcanos de cadena lineal y ramificada, hidrocarburos saturados cíclicos y aromáticos consistente con una composición de combustible diésel premium. Los combustibles limpios terminados se transportan mediante tubería a un tanque de almacenamiento 41, para su distribución posterior, por varios medios consistentes con los requisitos de manipulación del combustible diésel.

Con referencia particular a las Figs. 4 y 5, el diésel de termolisis fabricado mediante el proceso que se ha descrito anteriormente y el diésel normal (convencional) se analizaron mediante cromatografía de gases (CG). Los cromatogramas resultantes proporcionan una 'huella dactilar' del diésel con respecto a la proporción de cadenas de hidrocarburo de diferentes longitudes de cadena de carbono. Para comportarse como combustible diésel, los inventores han descubierto que el combustible debe ser sustancialmente rico en cadenas con una longitud de la cadena de carbono que tiene un máximo en aproximadamente C16 (es decir, cetano). Con referencia a las Figuras 4

y 5, la curva de distribución de las longitudes de cadena de carbono para el diésel normal y el diésel de termolisis producido de acuerdo con la presente invención se muestran respectivamente. Es importante señalar que una proporción más alta de la fracción ligera (especialmente C8, C9, C11 y C13) está presente de forma demostrable en el combustible producido por termolisis mostrado en la Fig. 5 en comparación con el diésel normal mostrado en la Fig. 4.

#### Modificación del punto de inflamación

Para cumplir las normas básicas del combustible diésel para transporte (por ejemplo, la norma AS3570-1998), es necesario aumentar el punto de inflamación del diésel de termolisis hasta por encima de 45 °C - 53 °C, preferentemente hasta al menos 61,5 °C o una especificación mínima relevante de la norma. Esto se puede conseguir eliminando una proporción de la fracción ligera del combustible (aprox. 5-7 % en peso). En consecuencia, es necesario eliminar la fracción ligera por arrastre de gases del diésel de termolisis. Esto se puede conseguir eliminando la fracción ligera con puntos de ebullición inferiores a 160 °C, lo que representa aproximadamente un 5-7 % del combustible de termolisis (véase la tabla siguiente).

Las fracciones ligeras condensadas en el serpentín de condensación superior a 8 °C del segundo condensador 30a se tratan por separado de las fracciones más pesadas. La corriente de líquidos ligeros se transporta por conducción a un tanque 37 de ligeros donde se almacena. Las fracciones ligeras se separan de las más pesadas para garantizar que las fracciones más pesadas (combustible diésel) quedan con los puntos de inflamación especificados, no por debajo de 61,5 °C.

La Tabla 1 divulga los datos del intervalo de destilación completo [según la norma ASTM D86, de la American Society for Testing and Materials] para el diésel fabricado de acuerdo con el proceso discontinuo anteriormente descrito (y el combustible diésel normal entre paréntesis):

Punto de ebullición inicial	141,5 °C	(190 °C)
5 % de recuperación	154,5 °C	(210 °C)
10 % de recuperación	172,5 °C	(240 °C)
20 % de recuperación	209,5 °C	(250 °C)
30 % de recuperación	245,5 °C	(265 °C)
40 % de recuperación	270,5 °C	(270 °C)
50 % de recuperación	282,5 °C	(285 °C)
60 % de recuperación	290,5 °C	(295 °C)
70 % de recuperación	297,5 °C	(310 °C)
80 % de recuperación	307,5 °C	(330 °C)
90 % de recuperación	321,5 °C	(345 °C)
95 % de recuperación	332,5 °C	(360 °C)
Punto de ebullición final	348,5 °C	(380 °C)
Recuperación 98 % (98,5 %)		
Pérdida 1 % (0,5 %)		
Lectura barométrica 102,5 kPa		

Para desplazar el intervalo de punto de ebullición hasta una temperatura más elevada y el correspondiente aumento en el punto de inflamación del combustible, se puede utilizar una cualquiera o más de numerosas estrategias incorporadas como parte del proceso de termolisis de la invención:

(i) Operar los serpentines del condensador (no se muestra) a una temperatura de funcionamiento más alta, evitando de esta forma la condensación de las fracciones más ligeras y dejando que estas se arrastren con la corriente de gas hacia el lavador ácido 34 y posteriormente al quemador 40 de gases residuales.

(ii) Calentar el combustible en el tanque principal 33 de recuperación de aceite primario haciendo circular fluido de calentamiento a través de los serpentines del intercambiador de calor. De esta forma, la fracción ligera se puede desprender mientras el proceso está en funcionamiento. Los serpentines de calentamiento utilizan agua caliente para prevenir la formación de ceras en la parte inferior de los tanques, pero se puede utilizar un fluido térmico caliente (aceite de transferencia de calor) para mantener los tanques a aproximadamente 80-100 °C. En estas condiciones, los vapores se evaporan suavemente. Puesto que el venteo de hidrocarburos inflamables hacia la atmósfera no está permitido en muchos países, es preferible y obligatorio en algunos países enviar esto gases ligeros al quemador 40 de gases residuales o capturarlos de cualquier otra forma para su eliminación, recirculación o uso como combustible ligero.

(iii) Aunque no se permite procesar líquidos inflamables en centrifugas por motivos de salud y seguridad en muchos países, es técnicamente posible hacerlo siempre que se sigan prácticas de salud y seguridad adecuadas.

Cada una de las técnicas anteriores para eliminar la fracción ligera indeseada se puede usar de forma individual o en cualquier combinación de las mismas.

**Balance de materia del proceso de termolisis**

Como ejemplo del uso de la presente invención, se proporcionan los siguientes datos solamente como ejemplo, y la invención no debe considerarse limitada a lo siguiente:

5 BALANCE DE MATERIA DE LA PLANTA DE TERMOLISIS - POR 1000 kg de corriente de alimentación limpia procesada obtenido en el proceso discontinuo de acuerdo con un aspecto de la invención

1. ENTRADA DE MATERIAL

10 10.000 kg de residuo postindustrial, compuesto por 55 % de polietileno (PE), 28 % de polipropileno (PP) y 17 % de poliestireno (PS)\*

- Gas natural para quemador de horno = 75 GJ o 2100 m<sup>3</sup>
- Nitrógeno gaseoso = 1,7 m<sup>3</sup> x 4 = 6,8 m<sup>3</sup>

15

2. SALIDAS

- 10-15 % Gases no condensables ‡ por kg de peso ‡‡
- 3-5 % (p) residuo de torta
- 20 • Fracción residual de la centrífuga = 10 kg (carbono, torta y agua)
- Resto, aproximadamente 8.250 kg de combustible líquido / 0,81 SG produce un rendimiento de 10.185 litros
- Eliminación del 6 % de fracciones ligeras en el proceso produce combustible diésel "según las especificaciones" con un neto de 9.574 litros.
- Agua amoniacal de la centrífuga = 88 l x 0,9 (densidad) = 79,5 kg
- 25 • Corriente de residuos del lavador = < 3,3 kg (neutralizada con NaOH)

Notas:

30 \* El balance de materia anterior es para la corriente de alimentación PE/PP/PS limpia. Si la corriente de alimentación es un PE postconsumo que contiene contaminantes, se esperaría que la porción de residuos sólidos de la corriente de alimentación fuera al menos un 5 % en peso de la corriente de alimentación. También se esperaría que la porción residual de la centrífuga aumente según el contenido esperado de contaminantes en el agua, que se procesaría dentro de la cámara.

35 ‡ La composición de los gases residuales es principalmente hidrocarburos saturados de cadena corta, incluidos metano, etileno, etano, propileno, propano, n-butano e iso-butano.

‡‡ La composición del gas de la pluma del incinerador de los gases residuales es:

Nox	198 ppm
SOx	< 5 ppm
Temp.	438 °C
Contenido en H2O	13 %
densidad del polvo	0,06 g/m3

40

**PROCESO DE TERMOLISIS SEMICONTINUO**

Se describirá ahora una segunda realización de la invención con referencia a la Fig. 6. La cámara de termolisis y el tren posterior se purgan con un gas inerte, como nitrógeno, mediante la conducción 109. El nitrógeno se puede suministrar desde un generador de nitrógeno o desde bombonas de gas. El nitrógeno se gestiona mediante un dispositivo de control situado en el armario PLC de control principal y el sistema informático, así como controladores discretos.

50 El copo de plástico (< 15 mm<sup>2</sup>) se suministra por cualquier medio al interior del silo 101 fluidizado. A continuación, el copo de plástico se captura mediante un transportador o tornillo hidráulico 102 o por soplado, hacia la prensa 103. A continuación, el plástico se comprime en la prensa y se suministra a un cilindro 104 de extrusora precalentado (cilindro de acero calentado con tornillo). El cilindro 104 está encamisado 132 y calentado con un medio de calentamiento que se transfiere desde el recipiente 130 de medio de calentamiento. El recipiente 130 de medio de calentamiento contiene un medio, como aceite, que se suministra a la camisa de calentamiento 132 del cilindro mediante el medio de conducción 131. El recipiente 130 de medio de calentamiento se calienta con los gases de la pluma caliente que sale del horno 110 mediante la pluma 115 de salida. El plástico se funde dentro del cilindro a entre 120-280 °C. El plástico fundido se fuerza a su través mediante la rotación del tornillo en el interior del cilindro que dirige el plástico fundido a través de la línea 105 de masa fundida. La línea se precalienta de forma eléctrica o por otros medios en el caso de un arranque en frío partiendo desde una válvulas de dos vías 106 (esta válvula no existirá en un sistema de una sola cámara) que dirige el plástico fundido caliente al interior de las cámaras de pirólisis o única cámara 107. La cámara de pirólisis está situada dentro del horno 110 de la cámara de pirólisis. La

60

cámara de pirólisis, habitualmente fabricada de acero inoxidable, se precalienta a 200-270 °C mediante el quemador 111. Cuando el plástico fundido comienza a fluir al interior de la cámara, el agitador 108 se activa. El agitador 108 rota dentro de la cámara de pirólisis 107, teniendo las palas del agitador 108 una separación de baja tolerancia entre las paredes 107a de la cámara 107 y el borde de las palas 108a. Las palas 108a cubren sustancialmente el diámetro interno de la cámara y se extienden hasta las paredes 107a de la cámara 107 sobresaliendo ligeramente del nivel de líquido que está fundido en la cámara 107. El funcionamiento del agitador 108 ayuda a distribuir uniformemente el calor por el plástico fundido.

Cuando una carga inicial de aproximadamente 1000 kg-2000 kg o aproximadamente el 50 % de la capacidad de plástico fundido ha entrado en la cámara 107, se hace que la temperatura del horno 110 aumente hasta 500-650 °C, transfiriendo de esta forma más calor al interior de la cámara de pirólisis 107, aumentándola a entre 370-425 °C. A esta temperatura, el plástico se vuelve gaseoso. La reacción del plástico a dicha temperatura hace que las longitudes de la cadena de carbono del plástico se rompan aleatoriamente en diferentes longitudes. Una posterior reacción se produce en el convertidor catalítico 118, las longitudes de cadena de carbono se reforman y se produce la rotura adicional de las longitudes de cadena más largas, de forma que la distribución queda en el intervalo de C8 a C25 y con un máximo en C16 (cetano).

La presión en el interior de la cámara 107 aumenta marginalmente por encima de la atmosférica hasta 1,08 bares. El gas de pirólisis posteriormente se fuerza para que salga de la cámara 107 por el camino de menos resistencia, que el la conducción 128 de gas de pirólisis hacia la torre de catalizador 118. El catalizador ni se consume ni queda envenenado. La torre del catalizador 118 contiene una serie de placas 118a seleccionadas entre el grupo que incluye cerámicas, zeolitas, los silicatos de hierro  $Fe^{3+}$ , cobalto  $Co^{2+}$ , níquel  $Ni^{2+}$ , níquel Raney, manganeso  $Mn^{2+}$ , cromo  $Cr^{3+}$ , cobre  $Cu^{2+}$ , níquel renio, y/o sus mezclas o el catalizador MCM-41. MCM-41 (material cristalino móvil) es un silicato obtenido por un mecanismo de templado<sup>1,2,3</sup>. Está ordenado en cierto grado, por tanto, hay matrices de canales hexagonales no intersecantes, que se pueden identificar mediante TEM, XRD, y adsorción de vapor. Al cambiar la longitud de la molécula de molde, la anchura de los canales se puede controlar para que esté comprendida entre 2 y 10 nm. Las paredes de los canales son  $SiO_2$  amorfo. Esta característica, junto con su excepcional porosidad (hasta el 80 %), convierte a MCM-41 en el menos estable mecánicamente comparado con, *por ejemplo*, otras sílices porosas, geles de sílice o zeolitas<sup>4</sup>. Están en investigación intentos de sintetizar MCM-41 cristalino.

La torre del catalizador 118 está alojada en una camisa 117, (habitualmente fabricada de acero inoxidable), mediante la cual los gases de salida del horno 110 se desvían mediante una conducción 116 para calentar las placas 118a del catalizador a 220 °C o más. Las placas metálicas 118a están colocadas de tal forma que los gases pirolíticos deben seguir un camino tortuoso para maximizar el área y el tiempo de contacto con las placas metálicas 118a. Los gases de pirólisis calientes reaccionan con las placas catalíticas 118a. El catalizador metálico de las placas 118a craquea las cadenas parafínicas de carbono de longitud superior a C25 y reforma las cadenas más cortas de C6. Hay conversión de las cadenas de alfa-olefina (1-alquenos) a alcanos saturados. El catalizador de las placas 118a garantiza que el combustible final tiene una distribución de la cadena de carbono en el intervalo C8-C25 y con máximo en C16 (cetano).

Los gases de pirólisis reformados pasan del convertidor catalítico 118 a la torre de destilación 119, donde los gases se condensan en sus diferentes fracciones. La torre de destilación 119 funciona en su forma conocida. Las diferentes fracciones de líquido salen de la torre de destilación 119 mediante las líneas de proceso 120 y entran en los tanques 121 de recuperación de aceite. El fueloil líquido se bombea adicionalmente a uno o más tanques intermedios 129 de operación. Los tanques intermedios 129 pueden almacenar la producción de un día. Una centrífuga 125, específica para el funcionamiento con aceite diésel, se sitúa después de los tanques intermedios 129. La centrífuga 125 procesa el aceite y elimina todos o prácticamente todos los sólidos y el agua contenidos en el aceite. Sin embargo, como se describirá a continuación, la desulfuración, un proceso deseable para eliminar la contaminación por azufre del fueloil, requiere un proceso químico en lugar del tratamiento físico anteriormente descrito. La centrífuga 125 suministra este aceite al tanque 126 de aseguramiento de la calidad donde se pueden añadir los posibles aditivos según sea necesario, y tomar muestras para su análisis. El fueloil se puede enviar al almacenamiento a granel o distribuirse según sea necesario.

Otros productos que salen de una o varias torres de destilación o condensador(es), son gases e hidrocarburos ligeros no condensables, denominados habitualmente como aguarrás mineral, que es la fracción más ligera de las cadenas de carbono, que tienen de forma típica las longitudes de cadena menores de C6. Este producto se suministra al tanque de ligeros 124 mediante la conducción 120 de proceso, donde se almacena para distribución.

Los gases no condensables continúan en el tren de proceso y se dirigen al lavador de gases 122 donde los tanques se lavan con agua. El agua del lavador de gases 122 se dosifica según sea necesario, de forma periódica y automática, con un agente cáustico para neutralizar los ácidos que se añaden durante el proceso de lavado. Los gases que no se condensan durante el proceso de lavado se recirculan al horno 110 para usarse para calentamiento.

El residuo de torta permanece suspendido en el plástico fundido durante el proceso de pirólisis. El sistema

- semicontinuo está diseñado para albergar aproximadamente 400-600 kg de torta en cada cámara. Cuando este límite se alcanza, esto se indica mediante un indicador de nivel 114 que indica al alimentador de masa fundida que cese la alimentación de plástico fundido a la cámara 107. El proceso de pirólisis continúa funcionando hasta que todo el plástico existente se ha pirolizado y la cámara 107 está vacía de plástico. El sistema de control activa el
- 5 tornillo hidráulico 112 que está incorporado dentro de la cámara de pirólisis 107. El tornillo 112 extrae la torta de la cámara 107 y la vacía en un vagoneta 113 para su eliminación posterior. El agitador 108 sigue funcionando para garantizar que toda la torta se extrae de la cámara 107. Cuando esto se ha completado, el proceso semicontinuo comienza de nuevo desde el principio.
- 10 Se resalta que el funcionamiento del condensador 119 es prácticamente el mismo que el del condensador 30 incluido en el sistema discontinuo, como se describe en referencia a las Figs. 1 a 3.

#### **Balance de materia de termolisis**

- 15 Los valores del rendimiento dependen de los tipos de plástico, ya que los diferentes plásticos tienen estructuras moleculares inherentes que alteran las tasas de rendimiento.

Por ejemplo, 1000 kg de plástico mixto (película impresa, residuos de envasado, etc.). Proporciona la siguiente salida:

- 20
- 50 kg de torta
  - 125 de gases residuales
  - 825 kg de combustible líquido / peso específico 0,82 = 1006 litros de combustible líquido.
- 25
- 60 litros de ligeros
  - 946 litros de fueloil diésel

#### **Energía**

- 30
- 250 kW/h de electricidad
  - 30 GJ de gas natural para calentamiento.

#### **PROCESO DE DESULFURACIÓN DEL DIÉSEL**

##### **35 Sumario**

En referencia a la Figura 7, un proceso de desulfuración elimina el azufre inorgánicos mediante lavado con agua y separación mediante ciclón, y el azufre orgánico mediante oxidación y adsorción.

##### **40 Detalle**

- El diésel del tanque de almacenamiento (200) se mezcla con agua, y se bombea a un separador hidrociclónico (201). La bomba es de tipo de alta cizalla para proporcionar un alto grado de mezclado entre el agua y el diésel. Los compuestos inorgánicos del diésel están presentes en microgotículas de agua, y de esta forma pasan a la fase acuosa voluminosa. El hidrociclón elimina prácticamente todo el agua, y por tanto, el azufre inorgánico.
- 45

- La eliminación de los compuestos de azufre orgánico se lleva a cabo oxidándolos a compuestos polares, que luego son susceptibles de adsorción sobre perlas de zeolita. Se proponen dos agentes oxidantes gaseosos opcionales - ozono y oxígeno. En la opción del ozono, el gas se suministra mediante un generador de ozono convencional y se mezcla con la corriente diésel. En la opción del oxígeno, el oxígeno se mezcla con la corriente diésel, después de lo cual, se generan radicales de oxígeno libre en la corriente mediante ondas de ultrasonidos. En ambas opciones, se proporciona una longitud de tubería (202) posterior para que las reacciones de oxidación continúen hasta la finalización.
- 50

- A continuación, la corriente pasa a un lecho de protección (203) de gel de sílice, que sirve para prolongar la vida de los lechos de zeolita, más caros. Se proporcionan dos recipientes de adsorción de zeolita (204 A/B), compuesto cada uno por un lecho de perlas de zeolita. El diésel pasa a través de un recipiente mientras que el otro se regenera usando etanol. Los compuestos organosulfurados polares se adsorben en las perlas de zeolita, y de esta forma se eliminan de la corriente diésel, que va al almacenamiento. El etanol empobrecido del tanque 207 se bombea a través del lecho en regeneración, desorbiendo los compuestos de azufre polar antes de la recogida en el tanque de etanol enriquecido (205). Los compuestos ricos en azufre se eliminan de la corriente de etanol por destilación en una torre de etanol (206). Se produce una corriente de hidrocarburos rica en azufre del fondo de la corriente, que se puede reutilizar en el proceso como combustible.
- 60

##### **65 Leyenda del equipamiento de la Fig. 7:**

- 200. Tanque de almacenamiento de diésel
- 201. Separador hidrociclónico
- 202. Cámara de ultrasonidos
- 203. Conducto de reacción
- 204. Lecho de protección de gel de sílice
- 205. Recipiente de adsorción de zeolita A/B
- 206. Tanque de etanol enriquecido
- 207. Torre de etanol
- 208. Tanque de etanol empobrecido

5 Puesto que la presente invención se puede llevar a la práctica de varias formas sin alejarse del alcance de la invención, se deberá entender que las realizaciones anteriormente descritas no van a limitar la presente invención, salvo que se especifique otra cosa, sino en su lugar, debe tomarse ampliamente dentro del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. Varias modificaciones y disposiciones equivalentes están previstas para su inclusión dentro del espíritu y el alcance de la invención y de las realizaciones adjuntas. Por lo tanto, debe entenderse que las realizaciones específicas son ilustrativas de las muchas formas en que se pueden llevar a la práctica los principios de la presente invención. En las siguientes reivindicaciones, las cláusulas de medios más función están previstas para cubrir las estructuras que realizan la función definida y no solamente los equivalentes estructurales, sino también las estructuras equivalentes. Por ejemplo, aunque un clavo y un tornillo puede que no sean equivalentes estructurales puesto que un clavo utiliza una superficie cilíndrica para fijar piezas de madera entre sí, mientras que un tornillo utiliza una superficie helicoidal para fijar piezas de madera entre sí, en el entorno de sujetar piezas de madera, un clavo y un tornillo son estructuras equivalentes.

15 "Que comprende/comprendiendo" cuando se utilizan en la presente memoria descriptiva, llevan a especificar la presencia de las características, números enteros, etapas o componentes definidos, pero no impide la presencia o la adición de una o más características adicionales, números enteros, etapas o componentes adicionales, o grupos de los mismos.

20 Listado de elementos de la planta discontinua 10TPD descrita en referencia a las Figs. 1 a 3.

- 11 Pila de material plástico
- 12 Transportador
- 13 Granulador
- 14 Recipiente de metales
- 15 Imán
- 16 Soplante
- 17 Silo fluidizado
- 18 Colector de polvo
- 19 Soplante
- 20 Alimentador forzado
- 21 Alimentación de masa fundida
- 22 Colector de masa fundida
- 23 Dispositivo de control de nitrógeno
- 24 Recipiente de almacenamiento de nitrógeno
- 25 Generador de nitrógeno
- 26 a,b,c,d, Cámara de pirólisis
- 27 Quemador
- 28 Horno
- 29 Convertidor catalítico, (reactor catalítico)
- 30 a, Condensador
- 31 Unidad de refrigeración (torre de agua)
- 32 Tanque intermedio (tanques de funcionamiento)
- 33 Tanque de recuperación de aceite
- 34 Lavador de gases
- 35 Tanque de elaboración de cáustico
- 36 Tanque de agua cáustica
- 37 Tanque de ligeros
- 38 Centrífuga

- 39 Tanque de aseguramiento de calidad (QA)
- 40 Quemador de gases residuales
- 41 Tanque de almacenamiento
- 42 Agitador

Lista de elementos en la Fig. 6.

- 101 Tolva fluidizada
- 102 Sistema de suministro de escamas
- 103 Prensa
- 104 Extrusora de masa fundida
- 105 Línea de masa fundida
- 106 Válvula de dos vías
- 107 Cámara de pirólisis
- 107a Pared de la cámara
- 108 Agitador
- 108a Palas del agitador
- 109 Línea de nitrógeno
- 110 Horno
- 111 Quemador de gas
- 112 Tornillo hidráulico de eliminación de torta
- 113 Recipiente para torta
- 114 Detector de altura
- 115 Pluma de salida del horno
- 116 Pluma de salida a la torre catalítica
- 117 Camisa de calentamiento
- 118 Torre catalítica
- 118a Placas de catalizador
- 119 Columna de destilación
- 120 Conducciones de proceso
- 121 Tanques de recuperación de aceite
- 122 Lavador de gases
- 123 Línea de gas no condensable al horno
- 124 Tanque de ligeros
- 125 Centrifuga
- 126 Tanque QA
- 127 Almacenamiento masivo
- 128 Conducción de gas de pirólisis
- 129 Tanque intermedio
- 130 Recipiente de medio de calentamiento
- 131 Conducción de medio de calentamiento
- 132 Camisa de calentamiento

**REIVINDICACIONES**

1. Un proceso para la conversión de material plástico en combustible diésel, que comprende las etapas de:

- 5 a) fundir material plástico triturado para formar un material fundido y alimentar el material fundido a una cámara de pirólisis;
- b) calentar adicionalmente dicho material fundido en la cámara de pirólisis hasta una temperatura comprendida en el intervalo de 390 °C a 410 °C para realizar la pirólisis del material fundido para formar gases en un entorno de presión controlada y exento de oxígeno;
- 10 c) eliminar mecánicamente la torta de las paredes internas de cada cámara de pirólisis durante el proceso de pirólisis mediante el uso de un agitador;
- d) transferir los gases resultantes a un medio de convertidor catalítico que comprende placas de aleación en las que la estructura molecular del material gaseoso se altera y en el que el catalizador ni se consume ni queda envenenado;
- 15 e) transferir los gases desde el medio de convertidor catalítico a uno o más condensadores para enfriar los gases en fracciones para formar un combustible diésel.

2. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho agitador tiene una o más palas adaptadas para remover continuamente la torta de la superficie de la pared de la cámara o de cada cámara durante el proceso de pirólisis.

20

3. Una planta configurada para convertir materiales plásticos en combustible diésel, incluyendo dicha planta:

- 25 a) medios de trituración para romper dicho material plástico dando materia en forma de partículas;
- b) medios de fusión para recibir y fundir dicho material plástico en forma de partículas;
- c) una cámara de pirólisis para recibir el material fundido, configurada dicha cámara de pirólisis para:
- i) sellar la cámara del entorno y purgar los oxidantes transportados por aire de dicha cámara de pirólisis mediante la introducción de un gas no oxidante; y
- 30 ii) calentar adicionalmente dicho material fundido hasta una temperatura comprendida en el intervalo de 390 °C a 410 °C para realizar la pirólisis del material fundido en un entorno de presión controlada y exento de oxidantes transportados por aire; y
- iii) eliminar mecánicamente la torta de las paredes internas de cada cámara de pirólisis durante el proceso de pirólisis mediante el uso de un agitador;
- 35 d) medios de convertidor catalítico que comprenden placas de aleación que funcionan para recibir y craquear dicho material plástico gaseoso en donde la estructura molecular de dicho material gaseoso se altera y en donde el catalizador ni se consume ni queda envenenado; y
- e) medios de condensador operativos para recibir, enfriar y separar dicho material gaseoso craqueado del medio de convertidor catalítico en fracciones para formar una mayoría en peso del producto combustible diésel convertido.
- 40





FIG 2

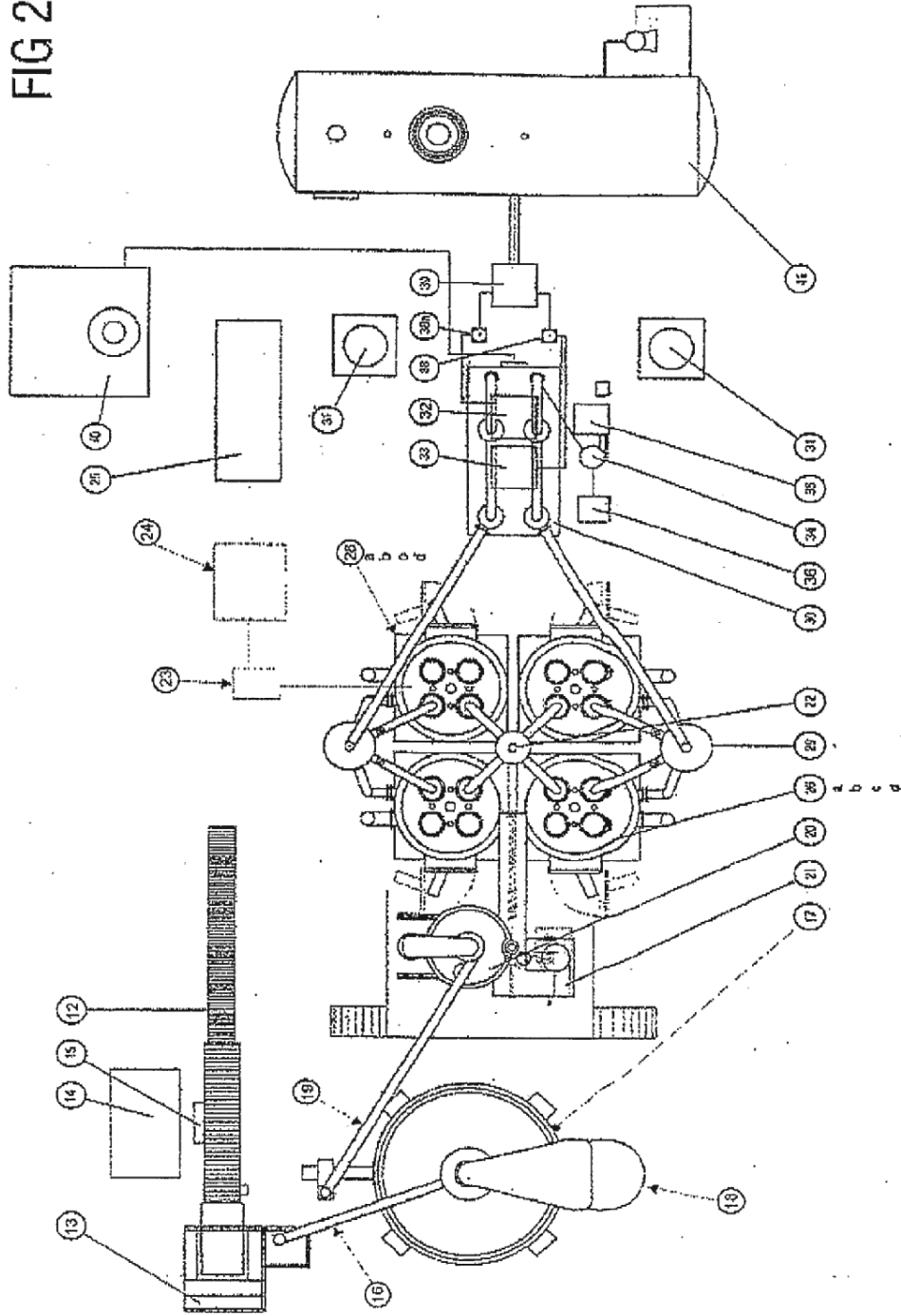
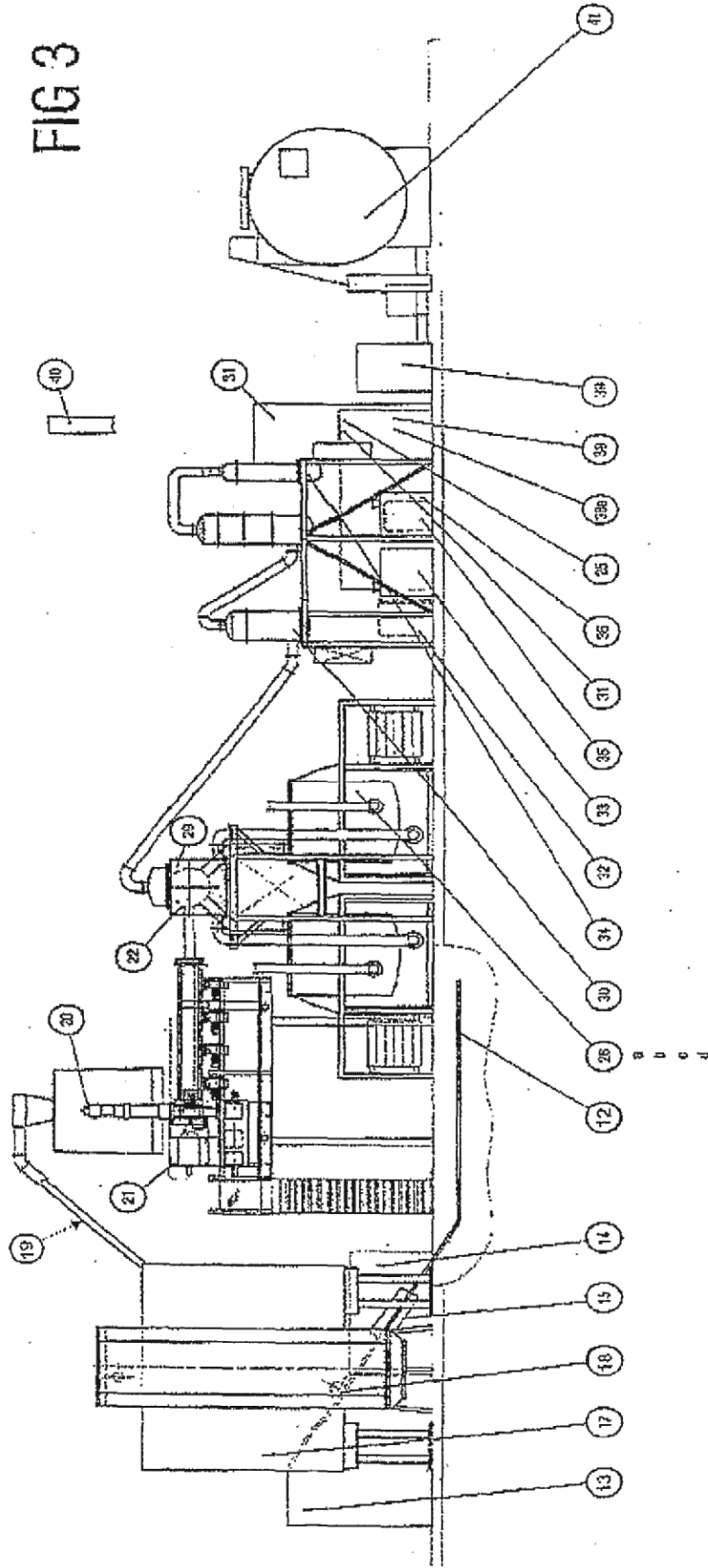
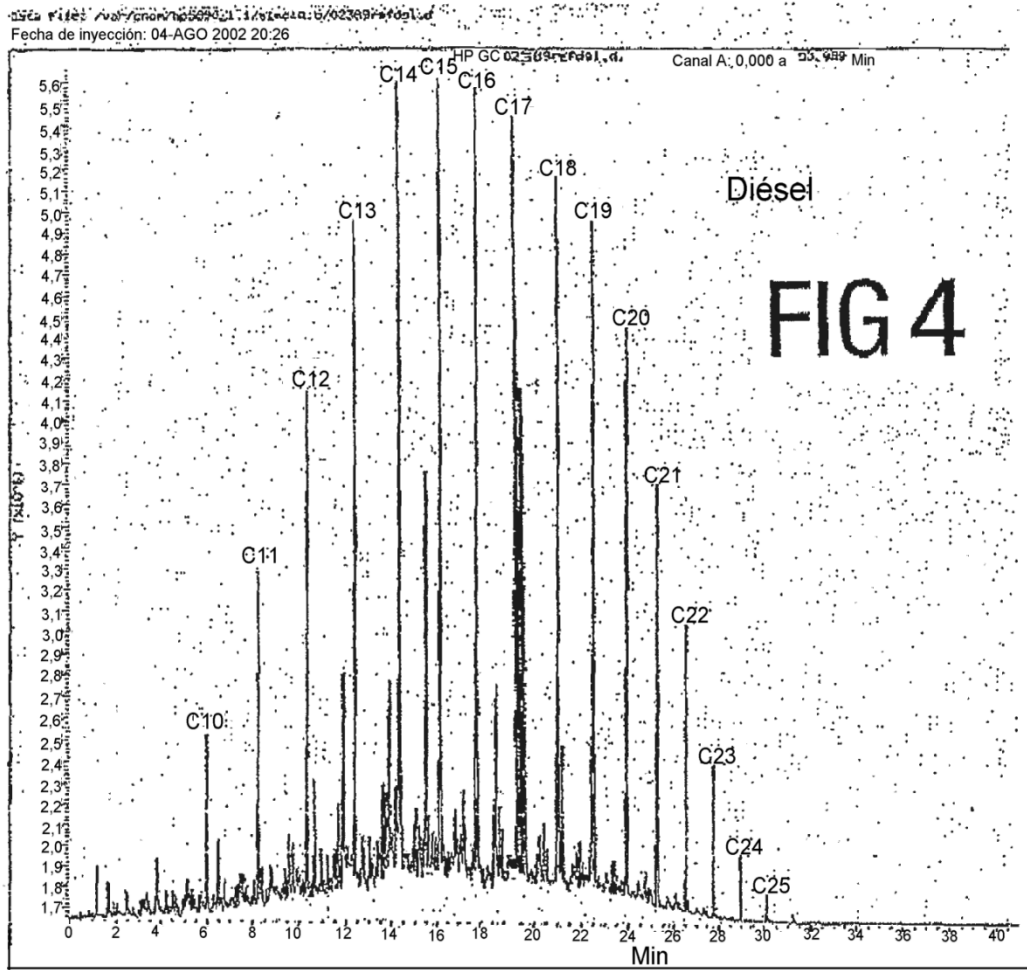
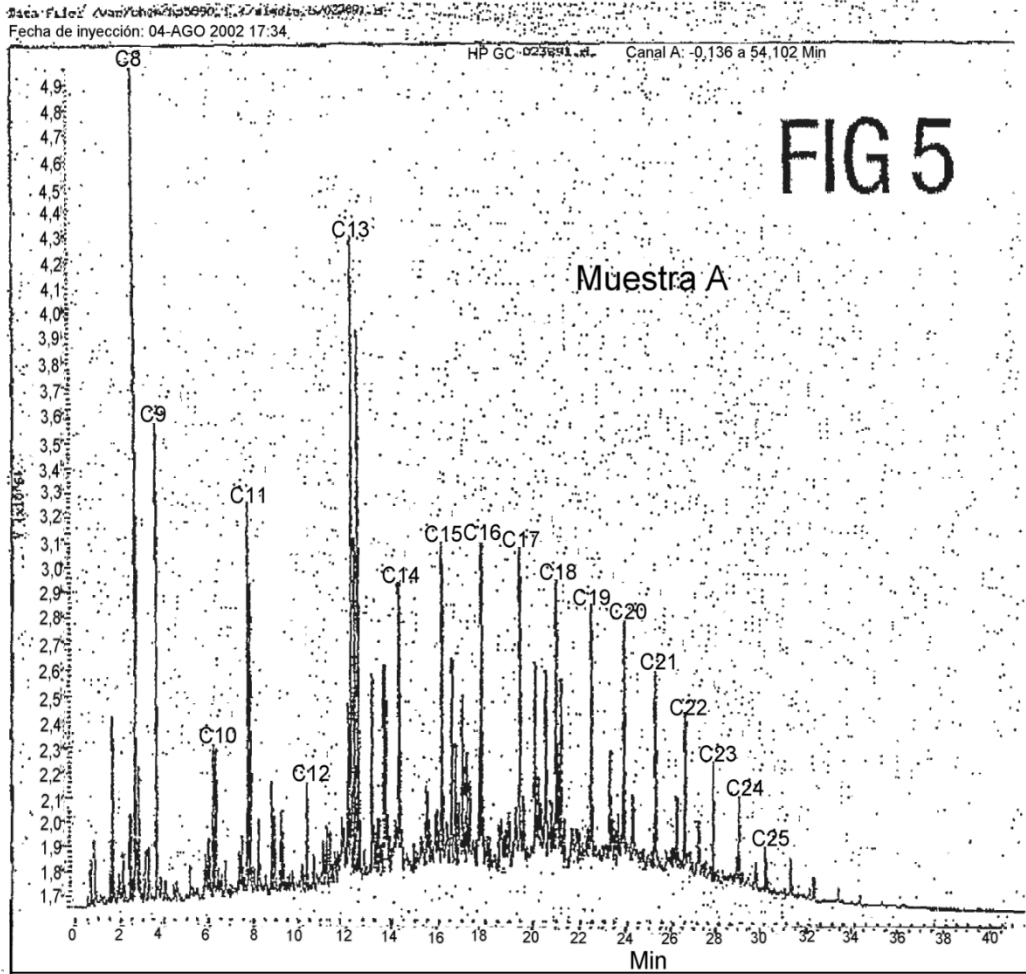


FIG 3









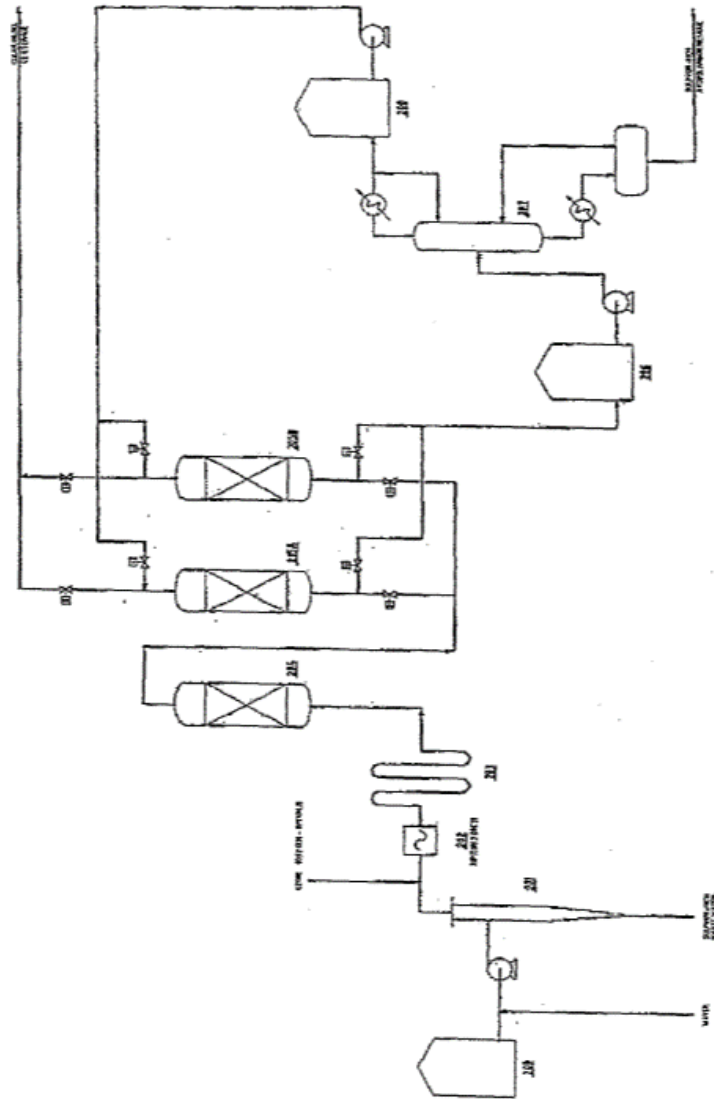


Figure 7