

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 804 610**

51 Int. Cl.:

C10B 53/07 (2006.01)

C10B 49/10 (2006.01)

C10G 1/10 (2006.01)

F02B 43/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.10.2013 PCT/GB2013/052849**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.08.2014 WO14128430**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2013 E 13802698 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2020 EP 2956524**

54 Título: **Proceso y aparato para el tratamiento de residuos que comprenden residuos plásticos mixtos**

30 Prioridad:

20.02.2013 GB 201303005

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

08.02.2021

73 Titular/es:

**RECYCLING TECHNOLOGIES LTD (100.0%)
Hill Barn Upper Pavenhill Purton
Swindon SN5 4DQ, GB**

72 Inventor/es:

GRIFFITHS, ADRIAN EDWARD

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

ES 2 804 610 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 aparato para el tratamiento de residuos que comprenden residuos plásticos mixtos

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a procesos y aparatos para el tratamiento de residuos que comprenden residuos plásticos mixtos.

10 **Antecedentes de la invención**

En muchos países, el material residual se recoge y se lleva a centros de procesamiento o centros de reciclaje. Algunas categorías de residuos se separan y se envían a procesos de reciclaje, ya sea en el propio centro o en otro lugar. Por ejemplo, los residuos de vidrio se reciclan comúnmente. Los residuos que no se reciclan pueden enviarse al vertedero o pueden combustionarse, típicamente, para proporcionar calor o energía eléctrica.

Se utilizan grandes cantidades de plástico en productos y envases modernos y, por lo tanto, hay una gran cantidad de residuos plásticos, típicamente denominados residuos plásticos mixtos, los cuales pasan por centros de reciclaje. Típicamente, el PET y el HDPE se separan para reciclaje y el resto se envía al vertedero. Sin embargo, el vertedero puede no ser una opción popular y, por lo tanto, existe la necesidad de encontrar otras formas de tratar los residuos plásticos mixtos, ya sea de forma individual o en combinación con material orgánico como residuos sólidos municipales.

Se han propuesto algunas soluciones para residuos plásticos mixtos. Por ejemplo, los residuos plásticos mixtos pueden usarse como combustible en una central eléctrica. Sin embargo, el coste de la electricidad generada de tal manera puede ser diez veces el coste de la electricidad generada a partir de un combustible fósil convencional, tal como gas natural. También puede ser difícil utilizar todo el calor producido en tales procesos y, por lo tanto, gran parte se disipa en torres de enfriamiento. La combinación de baja eficiencia y alto coste de capital puede hacer que este tipo de soluciones no sean atractivas.

La pirólisis de residuos plásticos mixtos se ha sugerido como una solución. Los ejemplos incluyen el uso de pirólisis para crear combustible para vehículos, combinando la pirólisis con el tratamiento con plasma para producir hidrógeno y pirólisis para la eliminación de residuos plásticos en el mar. Sin embargo, estos procesos pueden presentar inconvenientes, incluida la dificultad de producir un producto uniforme de alta calidad a partir de una alimentación muy variable, como los residuos, y la dificultad de utilizar eficazmente todos los productos de pirólisis.

En H. Sinn et al., *Processing of Plastic Waste and Scrap Tires into Chemical Raw Materials, Especially by Pyrolysis*, *Angew. Chem.*, 1976, Vol. 15, 11:660-672, proporcionan una descripción de la presencia de material pirolizable y el estado de desarrollo de los procesos de pirólisis en los EE. UU. y Japón, seguida de una descripción de experimentos a escala de laboratorio y piloto diseñados para explotar el contenido de materia prima de sustancias pirolizables en lugar del valor de calentamiento.

El documento CN 102504855 A divulga un método y un aparato para producir petróleo mediante la pirólisis de biomásas y residuos plásticos.

El documento JP 2008133321 A divulga un método y un aparato para producir un petróleo descompuesto térmicamente a partir de residuos a base de caucho.

La presente invención busca mitigar los problemas mencionados anteriormente. Como alternativa o de manera adicional, la presente invención busca proporcionar un proceso y un aparato mejorados para el tratamiento de residuos que comprenden residuos plásticos mixtos.

Sumario de la invención

La presente invención proporciona un método y un aparato para el tratamiento de residuos que comprenden residuos plásticos mixtos, tal y como se define en las reivindicaciones. Más particularmente, la presente invención proporciona un proceso para el tratamiento de residuos que comprende residuos plásticos mixtos, comprendiendo el proceso: (a) la alimentación de los residuos a un reactor de pirólisis, en donde el reactor de pirólisis es un reactor de lecho fluidizado; (b) la pirólisis de los residuos en el reactor de pirólisis para producir un producto de pirólisis; (c) el paso del producto de pirólisis a través de un condensador para formar una fracción líquida y una fracción gaseosa; (d) la supervisión de un atributo de la fracción líquida, en donde el atributo está relacionado con el calor de combustión de la fracción líquida; (e) el ajuste de la temperatura y/o el tiempo de residencia del reactor de pirólisis en respuesta al atributo medido de la fracción líquida para mantener el atributo dentro de un intervalo deseado; y (f) el almacenamiento de la fracción líquida como un líquido, un sólido o una mezcla de un líquido y un sólido en un depósito. La presente invención también proporciona un aparato para el tratamiento de residuos que comprende residuos plásticos mixtos, comprendiendo el aparato: (a) un reactor de pirólisis para la pirólisis de los residuos para producir un producto de pirólisis, en donde el

reactor de pirólisis es un reactor de lecho fluidizado; (b) un condensador aguas abajo del reactor de pirólisis para condensar el producto de pirólisis para formar una fracción líquida y una fracción gaseosa; (c) un monitor para supervisar un atributo de la fracción líquida, en donde el atributo está relacionado con el calor de combustión de la fracción líquida; (d) un controlador para ajustar la temperatura y/o el tiempo de residencia del reactor de pirólisis en respuesta al atributo medido de la fracción líquida para mantener el atributo dentro de un intervalo deseado; y (e) un depósito aguas abajo del condensador y para almacenar la fracción líquida del producto de pirólisis como un líquido, un sólido o una mezcla de un líquido y un sólido.

En el presente documento, se describe un proceso para el tratamiento de residuos que comprenden residuos plásticos mixtos, comprendiendo el proceso:

- la alimentación de los residuos a un reactor de pirólisis;
- la pirólisis de los residuos en el reactor de pirólisis para producir un combustible; y
- el uso del combustible para hacer funcionar un generador para producir electricidad.

Mediante la pirólisis de los residuos, es posible crear un combustible que alimente un motor estándar, por ejemplo, un motor diésel marino conectado a un generador. Dicho proceso puede ser ventajoso en cuanto a que el coste de capital para establecer dicho proceso puede ser menor que para un proceso de combustión a medida.

Los residuos plásticos mixtos se entenderán como una mezcla de residuos plásticos. Esa mezcla de plásticos podría originarse a partir de corrientes separadas de plásticos o podría originarse a partir de una sola corriente de plásticos mixtos. En muchos casos, los residuos plásticos mixtos serán el resultado de la basura doméstica, como la que tradicionalmente se recoge en bolsas negras en el Reino Unido. Dichos "residuos de bolsa negra" o residuos sólidos municipales comprenderán residuos plásticos mixtos. Puede ser que los residuos sólidos municipales se alimenten al proceso, pero ventajosamente se produce cierta separación para eliminar los residuos, tales como vidrio y ciertos plásticos, como HDPE y PET, que pueden reciclarse antes de alimentar los residuos al proceso. Las separaciones que se producen pueden depender de qué otras instalaciones están disponibles para reciclar o usar partes de los residuos que entran en las instalaciones. De este modo, en algunas instalaciones, los residuos alimentados al proceso pueden ser residuos sólidos municipales. En algunas instalaciones, los residuos alimentados al proceso pueden comprender más del 10 % en peso de residuos plásticos mixtos o más del 20 % en peso de residuos plásticos mixtos. Preferentemente, los residuos alimentados al proceso comprenden más del 30 % en peso de residuos plásticos mixtos, más preferentemente más del 40 % en peso de residuos plásticos mixtos, más preferentemente más del 50 % en peso de residuos plásticos mixtos, más preferentemente más del 60 % en peso de residuos plásticos mixtos, más preferentemente más del 70 % en peso de residuos plásticos mixtos, más preferentemente más del 80 % en peso de residuos plásticos mixtos y más preferentemente más del 90 % en peso de residuos plásticos mixtos. Se apreciará que los residuos que comprenden un alto porcentaje de residuos plásticos mixtos pueden ser ventajosos debido a una alta densidad de energía y también porque dichos residuos pueden ser difíciles de tratar de otras maneras y típicamente pueden enviarse a vertederos. Puede ser que los residuos comprendan además residuos orgánicos. Ventajosamente, los residuos pueden contener más del 70 % en peso de residuos orgánicos. Dichos residuos pueden contar como biomasa para fines de programas gubernamentales como el programa del Certificado de Obligaciones Renovables en el Reino Unido. En tales casos, los residuos comprenden preferentemente más del 5 % en peso, más preferentemente más del 10 % en peso, incluso más preferentemente más del 20 % en peso y aún más preferentemente más del 25 % en peso de residuos orgánicos mixtos. Ventajosamente, la composición de los residuos es tal que hay suficientes residuos orgánicos para calificar como biomasa, pero que sustancialmente el resto de los residuos son residuos plásticos mixtos para aumentar la densidad de energía.

El proceso comprende pasar el combustible a través de un condensador para formar una fracción líquida y una fracción gaseosa y usar la fracción líquida del combustible para hacer funcionar el generador. El uso de combustible líquido en el generador es preferible desde un punto de vista de coste y simplicidad. Los combustibles líquidos pueden ser más fáciles de almacenar y manejar y pueden usarse en una amplia variedad de generadores.

El proceso comprende almacenar el combustible en un depósito de almacenamiento antes de usarlo para hacer funcionar el generador. El depósito de almacenamiento es, por ejemplo, un depósito en el que el nivel del combustible puede variar. De esa forma, las variaciones en el ritmo al que se produce y consume el combustible pueden adaptarse permitiendo que la reserva de combustible almacenada en el depósito de almacenamiento aumente o disminuya. Eso puede ser particularmente ventajoso en un proceso tal como el de la presente invención, ya que puede ser más eficiente hacer funcionar el reactor de pirólisis a un ritmo constante para lograr un estado operativo estable, pero la demanda de electricidad varía a lo largo del día. De este modo, la cantidad de combustible en el depósito de almacenamiento puede aumentar en momentos de baja demanda de electricidad y disminuir en momentos de alta demanda de electricidad. Por ejemplo, puede ser que el combustible se produzca continuamente y el generador funcione de manera intermitente. Se apreciará que la producción continua significa que el proceso para producir el combustible se ejecuta continuamente durante un período prolongado de tiempo, como días, semanas o meses.

Puede ser que el proceso incluya mezclar el combustible mientras está en el depósito de almacenamiento. Por ejemplo, parte del combustible puede extraerse de una parte del depósito y volver a ponerse en circulación en una

parte diferente del depósito. Si el depósito de almacenamiento comprende múltiples depósitos, la mezcla se puede lograr haciendo circular el combustible entre los depósitos. Mezclar el combustible en el depósito de almacenamiento puede suavizar las fluctuaciones en las propiedades del combustible que derivan de la variabilidad en los residuos alimentados al proceso. Eso puede proporcionar un calor de combustión más uniforme del combustible a lo largo del tiempo y también puede evitar picos de emisiones resultantes de aumentos a corto plazo de la contaminación en la alimentación de residuos.

El combustible se almacena como líquido y/o como sólido. De este modo, el combustible se almacena como un líquido, un sólido, o una mezcla de un líquido y un sólido. Se apreciará que los combustibles pesados, como el fueloil comúnmente utilizado en el envío, pueden ser sólidos o una mezcla de líquidos alquitranados y sólidos, a temperatura ambiente y se vuelven líquidos cuando se calientan, por ejemplo, a aproximadamente 50 °C. De este modo, dichos combustibles pueden almacenarse como un líquido, o un sólido o una mezcla de un líquido y un sólido, dependiendo de la temperatura. Se apreciará que el volumen del depósito requerido para el almacenamiento de líquido/sólido puede ser significativamente menor que para almacenar una cantidad equivalente de combustible (en términos de energía) como un gas. El almacenamiento de líquido/sólido también puede ser intrínsecamente más seguro. El proceso puede comprender calentar el combustible en el depósito de almacenamiento para transferir, por ejemplo, bombear, hacia el generador. El calentamiento puede lograrse utilizando calor del generador, cuando está funcionando o usando una fuente externa de calor, por ejemplo, en el arranque.

El depósito de almacenamiento puede comprender un recipiente de depósito, por ejemplo, un recipiente de depósito compatible con las normas ISO para recipientes intermodales. Preferentemente, el depósito de almacenamiento comprende un denominado recipiente de depósito de 6,1 m (20 pies). De este modo, el depósito de almacenamiento puede tener 6,1 m de largo y 2,44 m de ancho y alto, y estar montado en un marco de recipiente intermodal compatible con la ISO. El volumen del depósito puede ser de 14 000 a 27 000 litros. En algunas realizaciones, el depósito de almacenamiento puede comprender una pluralidad de recipientes de depósito. Dicha disposición puede ser ventajosa en cuanto a que una pluralidad de depósitos de recipientes puede ser más simple y más barata de fabricar y entregar que un solo depósito grande y en esa capacidad se puede agregar directamente proporcionando más depósitos de recipientes. Los depósitos de recipientes múltiples también pueden proporcionar flexibilidad en el mantenimiento y la operación y pueden ser más seguros que un solo depósito grande.

Preferentemente, el proceso comprende filtrar el combustible para eliminar contaminantes químicos. Las emisiones de los combustibles generadores producidos a partir de residuos pueden contener niveles significativos de contaminación química. Por ejemplo, el PVC en los residuos plásticos puede significar que hay niveles indeseables de cloro en el combustible cuando sale del reactor de pirólisis. Otros contaminantes químicos incluyen flúor y azufre. Al filtrar el combustible, la contaminación química puede eliminarse antes de que el combustible se use en el generador. Por lo tanto, el filtrado puede eliminar los productos químicos asociados con las emisiones deficientes, por ejemplo, emisiones que contravendrían la Directiva de incineración de residuos. El combustible puede filtrarse en la fase gaseosa. Es decir, el combustible puede salir del reactor de pirólisis como un gas y filtrarse en la fase gaseosa antes de que se condense el combustible. Se apreciará que el combustible se filtra antes de usarse en el generador. De este modo, la filtración se produce antes de la combustión. Puede haber una ventaja significativa en el filtrado del combustible después de la pirólisis pero antes de que se use en el generador. La pirólisis descompone las longitudes de cadena de los hidrocarburos en los plásticos, dando como resultado moléculas más pequeñas. La combustión, por otro lado, combina los hidrocarburos con oxígeno, típicamente del aire, lo que da como resultado un gran volumen de gases de escape. El resultado es que el volumen de gas combustible que sale del reactor de pirólisis puede ser significativamente menor que el volumen de gas que se produciría por combustión, ya sea de los residuos o la posterior combustión del combustible en el generador. Al limpiar el producto de pirólisis, el volumen de gas que se ha de filtrar y limpiar puede ser menor que el volumen de gas que necesitaría filtrarse y limpiarse en un escape de combustión; Como resultado, se pueden utilizar filtros más pequeños con ventajas asociadas en términos de capital y costes operativos.

Preferentemente, el proceso incluye almacenar los residuos en un contenedor antes de alimentar los residuos al reactor de pirólisis, en donde los residuos se mezclan mientras están almacenados en el contenedor. Se apreciará que los residuos recogidos tienden a variar en composición de una hora a otra y de un día a otro. Eso puede presentar un desafío particular cuando se trata de convertir los residuos en un producto deseado, ya que la composición de la alimentación de residuos puede afectar la composición y los atributos del producto. Incluso si está disponible un control sofisticado del proceso para ajustar las condiciones de operación para compensar la composición variable de los residuos, todavía puede ser ventajoso tratar de minimizar las variaciones en la composición de los residuos. Al almacenar los residuos en un depósito de almacenamiento mezclado, las variaciones en la composición pueden promediarse en cierta medida. Incluso si dicho almacenamiento no elimina completamente las variaciones, puede suavizar el ritmo al que cambia la composición y, por lo tanto, puede permitir más tiempo para que el sistema de control aplique los ajustes.

Preferentemente, los residuos se secan en una secadora antes de ser alimentados al reactor de pirólisis. La secadora puede reducir el contenido de agua de los residuos a menos del 5 % en peso, preferentemente menos del 3 % en peso. La secadora puede reducir el contenido de agua de los residuos a entre 2 y 3 % en peso. Cuando los residuos se alimentan al reactor de pirólisis, se calienta a la temperatura de reacción. Calentar el agua que se encuentra en los

residuos requiere energía adicional y, por lo tanto, puede ser ventajoso eliminar el agua en una secadora antes de calentar los residuos. Si el combustible se almacena como líquido, cualquier agua en los residuos se calienta para formar vapor en el reactor y luego se condensa nuevamente en agua en el condensador, dando como resultado un desperdicio de energía.

5 Preferentemente, la temperatura en el reactor de pirólisis se controla para producir un combustible que comprende hidrocarburos de C_5 a C_{100} . La longitud promedio de la cadena del combustible, en función del número de moléculas, está preferentemente en el intervalo de C_5 a C_{40} , más preferentemente en el intervalo de C_{10} a C_{20} . Puede ser que el 80 % en peso del combustible consista en hidrocarburos con una longitud de cadena en el intervalo de C_5 a C_{40} , más
10 preferentemente en el intervalo de C_5 a C_{20} , más preferentemente en el intervalo de C_{10} a C_{20} . Preferentemente, los hidrocarburos en el combustible tienen una longitud de cadena mayor que C_5 . Eso se puede lograr haciendo pasar el combustible a través de un condensador y separando la parte del combustible que queda como gas después de la condensación (la fracción gaseosa). La fracción líquida se puede usar como combustible y la fracción gaseosa utilizada en otras partes del proceso o en la instalación de acogida.

15 Por ejemplo, el combustible puede ser fueloil. Se apreciará que la composición del combustible puede seleccionarse en función del generador utilizado en el proceso. La longitud de la cadena de hidrocarburos del combustible afecta el calor de la combustión del combustible. Longitudes de cadena más cortas dan como resultado un mayor calor de combustión. Sin embargo, a longitudes de cadena muy cortas (por ejemplo, menores que C_5), un pequeño cambio en la longitud de la cadena puede dar como resultado un gran cambio en el calor de la combustión. Eso puede dar como
20 resultado problemas de control, dado que, por ejemplo, una pequeña disminución en la longitud promedio de la cadena del combustible puede llevar a un gran aumento en la energía liberada cuando el combustible se combustiona y, por lo tanto, puede causar fallos en el motor. En cambio, a longitudes de cadena muy largas (por ejemplo, mayores que C_{40}) puede ser necesario un gran cambio en la longitud promedio de la cadena para producir un cambio significativo en el calor de la combustión. Eso puede conducir a problemas de control, ya que se pueden necesitar grandes
25 variaciones de control para producir un efecto notable en el combustible.

Por lo tanto, la longitud promedio de la cadena del combustible se selecciona preferentemente para que tenga un valor en el que los cambios en la longitud de la cadena de combustible produzcan un cambio sensible en el calor de
30 combustión en el combustible. De esa forma, las variaciones de control pueden usarse para alterar el calor de combustión del combustible según sea necesario, pero las desviaciones a corto plazo fuera del intervalo de control no tienen consecuencias catastróficas.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el control del proceso puede ser problemático debido a la variabilidad de los residuos alimentados al proceso. El proceso puede controlarse supervisando la entrada de residuos o
35 supervisando el generador. El proceso se controla supervisando un atributo del combustible y ajustando la temperatura y/o el tiempo de residencia del reactor de pirólisis en respuesta al atributo medido del combustible para mantener ese atributo dentro de un intervalo deseado. Puede ser que la temperatura del reactor esté ajustada. Puede ser que se ajuste el tiempo de residencia del reactor, por ejemplo, ajustando el caudal a través del reactor. Puede ser que tanto la temperatura como el tiempo de residencia del reactor estén ajustados. El atributo está relacionado con el calor de la combustión, o el valor calorífico, del combustible. Por ejemplo, el atributo puede ser el calor de combustión del combustible o puede ser un parámetro cuyo valor depende del calor de combustión del combustible. El atributo del combustible podría medirse en el depósito de almacenamiento, pero preferentemente se mide en la entrada al depósito para evitar que el gran volumen de combustible en el depósito disminuya el tiempo de respuesta del sistema de control.
45 Al supervisar el combustible que entra en el depósito, el sistema de control puede detectar variaciones en el proceso más rápidamente y aplicar cualquier ajuste necesario. Por ejemplo, si el monitor detecta que el calor de combustión del combustible que entra en el depósito de almacenamiento está cayendo, el sistema de control puede aumentar el calor del reactor o aumentar el tiempo de residencia en el reactor. Eso puede lograrse alimentando una mayor cantidad de combustible a los quemadores que calientan el reactor o reduciendo el caudal a través del reactor. En cambio, si el monitor detecta que el calor de la combustión del combustible está aumentando demasiado, la temperatura en el
50 reactor puede disminuirse o el tiempo de residencia en el reactor puede disminuirse.

El calor de combustión del combustible se controla preferentemente usando un monitor de disolvente. Dicho sistema puede implicar proporcionar una llama de hidrógeno, alimentar una muestra del combustible a la llama y registrar la
55 temperatura de la llama. El calor de combustión de la llama puede estar relacionado con la diferencia entre la temperatura de la llama con el combustible agregado y la temperatura de la llama de hidrógeno, pero el proceso puede controlarse más directamente controlando el proceso para lograr una temperatura de la llama con el combustible añadido dentro de un intervalo deseado. Por ejemplo, se puede proporcionar un termopar para supervisar la temperatura de la llama y la salida del termopar utilizado como entrada para el proceso de control del reactor. Dicho sistema puede ser una opción barata y simple para supervisar la calidad del combustible. Al supervisar la calidad del combustible, se puede mejorar el tiempo de respuesta del sistema de control. Por ejemplo, si el sistema de control supervisa la operación del generador, cuando se observe una disminución en la potencia, es posible que ya se haya producido una gran cantidad de combustible por debajo del estándar. Ese puede ser particularmente el caso cuando el combustible se almacena en un depósito de almacenamiento. Asimismo, puede ser más sencillo supervisar la
60 calidad del combustible, dado que el combustible es un fluido, de lo que es supervisar la composición de los residuos entrantes.
65

El calor de combustión es un atributo sobradamente conocido y el experto puede medir el calor de combustión. Por ejemplo, el calor de combustión de sólidos se puede medir utilizando métodos como la ISO1928:2009 y el calor de combustión de hidrocarburos líquidos se puede medir utilizando métodos como la ASTM D4809. Puede ser que el calor de combustión de los residuos sea de aproximadamente 30 MJ/kg, por ejemplo, en el intervalo de 25 MJ/kg a 35 MJ/kg. Preferentemente, el proceso se controla para producir un combustible que tenga un calor de combustión inferior a 45 MJ/kg. Más preferentemente, el proceso se controla para producir un combustible que tenga un calor de combustión en el intervalo de 42 MJ/kg a 45 MJ/kg, incluso más preferentemente de 44 MJ/kg a 45 MJ/kg. Un combustible con un calor de combustión en ese intervalo puede estar en un punto en una curva de calor de combustión contra la longitud promedio de la cadena donde se pueden lograr variaciones controladas en el calor de combustión variando la temperatura y/o el tiempo de residencia del reactor de pirólisis para variar la longitud promedio de la cadena. Los combustibles por debajo de ese intervalo pueden estar en una región de la curva donde se necesitan cambios indeseablemente grandes en las condiciones del reactor para variar el calor de la combustión y los combustibles por encima de ese intervalo pueden estar en una región donde las variaciones inevitables en las condiciones del reactor provocan fluctuaciones indeseablemente grandes en el calor de la combustión. No obstante, todavía puede ser ventajoso operar en las regiones más altas o más bajas en algunas circunstancias. Por ejemplo, a calores de combustión más bajos, el proceso puede ser muy estable y, a calores de combustión más altos, puede haber disponible más potencia.

La temperatura en el reactor puede, por ejemplo, estar en el intervalo de 400 °C a 600 °C. El reactor es un reactor de lecho fluidizado, con el lecho fluidizado opcionalmente con una masa de 2,5 a 8 toneladas, preferentemente de 2,5 a 5 toneladas, más preferentemente de 2,5 a 3,5 toneladas. El reactor o el lecho fluidizado puede tener una relación de aspecto (altura:ancho) de aproximadamente 1:1, por ejemplo en el intervalo de 0,5:1 a 1:2, preferentemente en el intervalo de 0,8:1 a 1:1,2. Dicho tamaño de reactor, su forma y su temperatura pueden permitir un tratamiento eficiente de los residuos.

Preferentemente, un producto del reactor de pirólisis se combustiona para calentar un fluido, usándose el fluido para calentar el reactor de pirólisis. El fluido puede comprender el combustible. Por ejemplo, una parte de la corriente de salida de combustible del reactor de pirólisis puede dirigirse a través de un calentador, preferentemente un calentador indirecto, y nuevamente dentro del reactor de pirólisis.

El producto del reactor de pirólisis puede comprender el combustible. El producto del reactor de pirólisis puede comprender parte de la corriente de salida de combustible del reactor de pirólisis que no se envía al generador. Por ejemplo, si el proceso comprende pasar el combustible a través de un condensador para formar una fracción líquida y una fracción gaseosa y usar la fracción líquida del combustible para hacer funcionar el generador, el producto combustionado para calentar el fluido usado para calentar el reactor de pirólisis puede comprender la fracción gaseosa. Puede ser que la fracción gaseosa sea suficiente para calentar el reactor de pirólisis, pero puede ser que se necesite calor adicional, en cuyo caso puede ser que la fracción gaseosa se complemente con parte de la fracción líquida. La fracción gaseosa se complementa preferentemente con una corriente del producto combustible desde el reactor de pirólisis que se toma aguas arriba del condensador. De esa forma, no se desperdicia energía condensando el combustible solo para combustionarlo nuevamente inmediatamente para calentar el reactor. Puede ser que la fracción gaseosa exceda la cantidad de calor requerida para calentar el reactor de pirólisis. En tales casos, el exceso de gas puede usarse en otra parte o combustionarse.

Puede ser que el producto del reactor de pirólisis combustionado para calentar el fluido que se usa para calentar el reactor de pirólisis sea un subproducto de la pirólisis. Por ejemplo, el producto puede ser una sustancia carbonizada. Por ejemplo, el reactor de pirólisis puede ser un reactor de lecho fluidizado y el proceso puede comprender la eliminación de una porción del lecho fluidizado que se ha recubierto al menos parcialmente con sustancia carbonizada del reactor, separando la sustancia carbonizada, devolviendo la porción del lecho fluidizado al reactor y combustionando la sustancia carbonizada para calentar un fluido que se usa para calentar el reactor. Al combustionar la sustancia carbonizada para proporcionar el calor, ninguno de los productos de combustible se utiliza para calentar el reactor, por lo que el proceso puede proporcionar más energía a través del generador.

Al combustionar parte del producto para proporcionar calor, el proceso no requiere una fuente de combustible separada para el funcionamiento normal. El experto apreciará que para la puesta en marcha puede ser necesaria una fuente de calor separada. Al usar la combustión del producto para calentar una corriente adicional que comprende el combustible, introduciendo la corriente adicional en el reactor de pirólisis, los productos de combustión pueden mantenerse fuera del reactor. Dicho sistema de calentamiento indirecto puede permitir que la combustión proporcione calor, sin que el reactor se contamine con productos de combustión.

Preferentemente, el combustible se usa para hacer funcionar un primer generador y un segundo generador. Por ejemplo, el primer generador puede funcionar continuamente y el segundo generador puede funcionar intermitentemente según la demanda de la red. Puede ser que el primer generador sea más pequeño que el segundo generador. Puede ser que el primer generador sea más grande que el segundo generador. Por ejemplo, el primer generador se puede usar para proporcionar energía continua a la instalación de acogida en la que opera el proceso y el segundo generador se puede usar para producir energía para vender a la red. Preferentemente, el primer generador

está dimensionado de acuerdo con la demanda de calor o electricidad de la instalación de acogida. Preferentemente, el segundo generador tiene un ciclo de arranque corto, por ejemplo, que arranca en menos de 10 minutos, para poder proporcionar energía de reserva a la red a corto plazo. La capacidad de actuar como parte de la reserva de la red puede ser ventajosa en términos de los precios que pagará la red. Puede ser que el primer generador forme parte de un sistema de control, supervisándose el rendimiento del generador y utilizando el rendimiento medido utilizado para controlar las condiciones de operación, por ejemplo, la temperatura y el tiempo de residencia del reactor de pirólisis, del proceso.

Los generadores pueden, por ejemplo, ser turbinas, preferentemente turbinas de gas, pero son preferentemente motores de combustión interna unidos a generadores. Por ejemplo, el motor puede ser un motor diésel marino, que puede, por ejemplo, funcionar con fueloil. En tal caso, el sistema de control podría calibrarse para producir fueloil en el depósito de almacenamiento. Combinar el uso de fueloil en un diésel marino con una etapa de filtrado del combustible antes de que se use en el diésel marino puede ser ventajoso, ya que el combustible limpio puede significar que se reducen las emisiones del motor diésel marino. Eso puede ser particularmente ventajoso, ya que el fueloil puede considerarse altamente contaminante y, por lo tanto, requiere una costosa limpieza de escape a menos que se utilice el filtrado.

Preferentemente, el proceso trata de 5000 a 20 000 toneladas por año de residuos, más preferentemente de 5000 a 10 000 toneladas por año de residuos e incluso más preferentemente de 6000 a 8000 toneladas por año de residuos. Por ejemplo, puede ser que el proceso trate 7000 toneladas por año de residuos. Los procesos de esos tamaños se pueden combinar convenientemente con las instalaciones de reciclaje existentes para tratar los residuos plásticos mixtos en el sitio, en lugar de tener que transportar los residuos a otra instalación más grandes, como una central eléctrica. El transporte de residuos utiliza energía y, por lo tanto, puede reducir o eliminar la ventaja ambiental del tratamiento posterior. Preferentemente, el proceso produce de 1,8 a 10 MW, más preferentemente de 1,8 a 5 MW e incluso más preferentemente de 2,1 a 4 MW. Por ejemplo, puede ser que el proceso produzca de 2,5 a 3,5 MW de electricidad.

Preferentemente, el proceso incluye enfriar el escape del generador por intercambio de calor con una corriente de aire, en donde al menos parte de la corriente de aire se usa para proporcionar calor en otra parte del proceso o en otra parte de la instalación de acogida en la que se lleva a cabo el proceso. Por ejemplo, la corriente de aire puede usarse para proporcionar calor en la secadora, mejorando de este modo la eficiencia general del proceso.

El generador puede enfriarse por intercambio de calor, por ejemplo, el intercambio de calor indirecto con una corriente de fluido y al menos parte de esa corriente de fluido puede usarse para proporcionar calor a otra parte del proceso, por ejemplo, la secadora u otro proceso en la instalación de acogida. Preferentemente, el generador se enfría por intercambio de calor con una corriente de agua, en donde al menos parte de la corriente de agua se usa para proporcionar calor en otra parte del proceso o en otra parte de la instalación de acogida.

El reactor de pirólisis es un reactor de lecho fluidizado. Por ejemplo, el reactor de pirólisis puede contener un lecho fluidizado de partículas, como arena y un distribuidor para alimentar un medio de fluidización al reactor. El medio de fluidización puede, por ejemplo, ser producto de pirólisis reciclado, que puede haberse calentado para suministrar energía al reactor de pirólisis. El diseño del distribuidor puede ser una parte importante del diseño del lecho fluidizado para lograr una distribución uniforme del medio de fluidización a través del lecho. Además, el lecho fluidizado puede acumular contaminantes con el tiempo y las partículas del lecho, por ejemplo arena, pueden necesitar limpieza. Por ejemplo, se puede acumular alquitrán, sustancia carbonizada o coque en las partículas. La limpieza podría lograrse apagando el reactor y eliminando las partículas, pero se realiza ventajosamente en línea mediante una recirculación de las partículas a través de un sistema de limpieza. El distribuidor está configurado preferentemente para permitir que una porción de las partículas fluidizadas caiga a través del distribuidor y el proceso comprende preferentemente eliminar una porción de las partículas que han caído a través del distribuidor, limpiar las partículas y alimentar las partículas nuevamente dentro del reactor. De esa forma, se puede lograr una recirculación continua de las partículas a través del aparato de limpieza. Por ejemplo, el distribuidor puede comprender una serie de conductos con orificios, por ejemplo en su superficie, estando configurados los conductos de tal manera que el medio de fluidización se alimenta a los conductos y sale de los conductos a través de los orificios hacia el reactor, en donde la serie de conductos está configurada de modo que las partículas puedan caer entre los conductos. Los conductos pueden, por ejemplo, estar dispuestos en una fila o una cuadrícula, seleccionándose el espacio entre los conductos para permitir que las partículas pasen entre los conductos. Se apreciará que se pueden tomar etapas para evitar que las partículas que caen del lecho fluidizado caigan en y bloqueen los orificios. Los orificios pueden, por ejemplo, estar en la parte inferior de los conductos. En otro ejemplo, los orificios pueden comprender una boquilla que comprende una tapa para evitar que las partículas bloqueen el orificio.

Se apreciará que usar el calor del generador puede proporcionar ventajas significativas en términos de eficiencia. Además de proporcionar energía eléctrica a las instalaciones de acogida, el generador también puede suministrar calor a las instalaciones de acogida. Dicho enfoque de "calor y energía combinados" permite que la energía en el combustible se transforme eficientemente en energía útil para las instalaciones de acogida.

En el presente documento, se describe un proceso para el tratamiento de residuos que comprenden residuos plásticos

mixtos en una instalación de acogidas, comprendiendo el proceso:

5 la provisión de un aparato que comprende un reactor de pirólisis y un generador en la instalación de acogida;
 la alimentación de los residuos a un reactor de pirólisis;
 la pirólisis de los residuos en el reactor de pirólisis para producir un combustible; y
 el uso del combustible para hacer funcionar un generador para producir energía.
 Puede ser que la energía sea energía eléctrica; es decir, el generador funciona para producir electricidad. Puede ser que la energía sea energía térmica. Preferentemente, la energía es tanto eléctrica como térmica. Dicho enfoque de "calor y energía combinados" puede ser ventajoso porque el generador puede requerir enfriamiento incluso si se hace funcionar para producir electricidad y, por lo tanto, también puede ser ventajoso hacer uso de la energía térmica. La instalación de acogida puede ser un sitio con demandas de energía. Preferentemente, la energía se usa dentro de la instalación de acogida. Por ejemplo, la instalación de acogida puede ser una planta de reciclaje y la energía puede usarse en otras partes del proceso de reciclaje.

15 En el presente documento, se describe un proceso para el tratamiento de residuos que comprenden residuos plásticos mixtos, comprendiendo el proceso:

20 la alimentación de los residuos a un reactor de pirólisis;
 la pirólisis de los residuos en el reactor de pirólisis para producir un combustible;
 la supervisión de un atributo del combustible; y
 el ajuste de la temperatura y/o el tiempo de residencia del reactor de pirólisis en respuesta al atributo medido del combustible para mantener el atributo dentro de un intervalo deseado.

25 El atributo está relacionado con el calor de la combustión del combustible.

En el presente documento, se describe un proceso para el tratamiento de residuos que comprenden residuos plásticos mixtos, comprendiendo el proceso:

30 la alimentación de los residuos a un reactor de pirólisis, siendo el reactor de pirólisis un reactor de lecho fluidizado;
 y
 la pirólisis de los residuos en el reactor de pirólisis para producir un combustible;
 en donde el reactor de pirólisis contiene un lecho fluidizado de partículas y un distribuidor para alimentar un medio de fluidización al reactor, en donde el distribuidor está configurado de modo que las partículas puedan caer a través del distribuidor y en donde el proceso comprende eliminar una porción de las partículas que han caído a través del distribuidor, limpiar las partículas y alimentar las partículas nuevamente dentro del reactor.

35 En el presente documento, se describe un proceso para el tratamiento de residuos que comprenden residuos plásticos mixtos, comprendiendo el proceso:

40 la alimentación de los residuos a un reactor de pirólisis, en donde el reactor de pirólisis es un reactor de lecho fluidizado; y
 la pirólisis de los residuos en el reactor de pirólisis para producir un combustible; y
 la combustión de un producto del reactor de pirólisis para calentar un fluido y la alimentación del fluido al reactor de pirólisis para calentar el reactor de pirólisis.

45 Puede ser que el producto sea un subproducto, por ejemplo, una sustancia carbonizada. Puede ser que el producto comprenda el combustible. Puede ser que el producto comprenda una parte de la corriente de salida de combustible del reactor de pirólisis que no se utiliza para hacer funcionar el generador.

50 Los procesos de la invención son particularmente adecuados para su uso en instalaciones de reciclaje de tamaño pequeño a moderado, donde complementan las instalaciones ya presentes. Por ejemplo, la electricidad y el calor generados por el proceso de los aspectos anteriores de la invención pueden utilizarse para alimentar las operaciones de reciclaje en el centro.

55 Se apreciará que el proceso de la invención se lleva a cabo en un sitio o instalación de acogida, por ejemplo, una instalación de reciclaje o procesamiento de residuos. En el presente documento se describe un aparato para el tratamiento de residuos que comprende residuos plásticos mixtos, comprendiendo el aparato:

60 un reactor de pirólisis para la pirólisis de los residuos para producir un combustible; y
 un generador configurado para funcionar con el combustible para producir electricidad.

El aparato comprende un condensador aguas abajo del reactor de pirólisis y aguas arriba del generador para condensar el combustible antes de usarlo para hacer funcionar el generador.

65 El aparato comprende un depósito de almacenamiento aguas abajo del reactor de pirólisis y aguas arriba del generador para almacenar el combustible antes de usarlo para hacer funcionar el generador.

Preferentemente, el aparato comprende un sistema de filtro aguas abajo del reactor de pirólisis y aguas arriba del generador para filtrar el combustible para eliminar contaminantes químicos.

- 5 Preferentemente, el aparato incluye un contenedor de almacenamiento aguas arriba del reactor de pirólisis para almacenar los residuos antes de alimentarlos al reactor de pirólisis, en donde el contenedor de almacenamiento comprende un sistema de mezcla para mezclar los residuos almacenados en el contenedor.

Preferentemente, el aparato comprende una secadora aguas arriba del reactor de pirólisis para secar los residuos.

- 10 El aparato comprende:

un monitor, preferentemente un monitor de disolvente, para supervisar un atributo del combustible; y
15 un controlador para ajustar la temperatura y/o el tiempo de residencia del reactor de pirólisis en respuesta al atributo medido del combustible para mantener el atributo dentro de un intervalo deseado. El atributo está relacionado con el calor de la combustión del combustible.

- 20 Preferentemente, el aparato comprende una cámara de combustión para combustionar un producto del reactor de pirólisis para calentar un fluido que se alimenta al reactor de pirólisis para calentar el reactor de pirólisis. Puede ser que el producto sea un subproducto, por ejemplo, una sustancia carbonizada. Puede ser que el producto comprenda el combustible. Puede ser que el producto comprenda una parte de la corriente de salida de combustible del reactor de pirólisis que no se utiliza para hacer funcionar el generador.

Preferentemente, el generador comprende un motor de combustión interna, por ejemplo un motor diésel marino.

- 25 Preferentemente, el aparato está dimensionado y configurado para tratar de 5000 a 20 000 toneladas por año de residuos, más preferentemente de 5000 a 10 000 toneladas por año de residuos e incluso más preferentemente de 6000 a 8000 toneladas por año de residuos.

- 30 Preferentemente, el aparato está dimensionado y configurado para producir de 1,8 a 10 MW, más preferentemente de 1,8 a 5 MW e incluso más preferentemente de 2,1 a 4 MW. Por ejemplo, puede ser que el proceso produzca de 2,5 a 3,5 MW de electricidad.

- 35 El reactor de pirólisis es un reactor de lecho fluidizado. Preferentemente, el reactor de pirólisis está configurado para contener un lecho fluidizado de partículas y el aparato comprende un distribuidor para alimentar un medio de fluidización al reactor, en donde el distribuidor está configurado de modo que las partículas puedan caer a través del distribuidor y en donde el reactor de pirólisis incluye una salida, como una válvula rotativa, a través de la cual, en uso, se puede eliminar una parte de las partículas que han caído a través del distribuidor, un aparato para limpiar las partículas y una entrada a través de la cual las partículas limpiadas pueden alimentarse nuevamente al reactor. La
40 entrada está preferentemente por encima del distribuidor en el reactor de lecho fluidizado.

Preferentemente, el distribuidor comprende una serie de conductos con orificios en su superficie, en donde los conductos en la serie están separados de modo que, en uso, las partículas pueden caer entre los conductos.

- 45 En el presente documento se describe un aparato para el tratamiento de residuos que comprende residuos plásticos mixtos, comprendiendo el aparato:

un reactor de pirólisis para la pirólisis de los residuos para producir un combustible;

- 50 un monitor para supervisar un atributo del combustible; y
un controlador para ajustar la temperatura y/o el tiempo de residencia del reactor de pirólisis en respuesta al atributo medido del combustible para mantener el atributo dentro de un intervalo deseado.

El atributo está relacionado con el calor de la combustión del combustible.

- 55 En el presente documento se describe un aparato para el tratamiento de residuos que comprende residuos plásticos mixtos, comprendiendo el aparato:

un reactor de pirólisis para la pirólisis de los residuos para producir un combustible, siendo el reactor de pirólisis un reactor de lecho fluidizado;

- 60 en donde el reactor de pirólisis está configurado para contener un lecho fluidizado de partículas y en donde el aparato comprende un distribuidor para alimentar un medio de fluidización al reactor, en donde el distribuidor está configurado de modo que las partículas puedan caer a través del distribuidor y en donde el reactor de pirólisis incluye una salida a través de la cual, en uso, se puede eliminar una parte de las partículas que han caído a través del distribuidor, un aparato para limpiar las partículas y una entrada a través de la cual las partículas limpiadas
65 pueden alimentarse nuevamente al reactor.

En el presente documento se describe un aparato para el tratamiento de residuos que comprende residuos plásticos mixtos, comprendiendo el aparato:

- 5 un reactor de pirólisis para la pirólisis de los residuos para producir un combustible, que es un reactor de lecho fluidizado; y
- una cámara de combustión para combustionar un producto del reactor de pirólisis para calentar un fluido que se alimenta al reactor de pirólisis para calentar el reactor de pirólisis.

10 Puede ser que el producto sea un subproducto, por ejemplo, una sustancia carbonizada. Puede ser que el producto comprenda el combustible. Puede ser que el producto comprenda una parte de la corriente de salida de combustible del reactor de pirólisis que no se utiliza para hacer funcionar el generador.

15 Ventajosamente, el aparato es portátil porque está construido de modo que se pueda dividir en varios módulos, cada uno de los cuales es transportable. Por ejemplo, los elementos del aparato pueden montarse individualmente en marcos compatibles con las normas ISO para recipientes de carga para crear módulos que puedan transportarse individualmente utilizando equipos diseñados para la manipulación de recipientes de mercancías. Los módulos pueden fabricarse en una instalación de fábrica y luego enviarse a la ubicación en la que se utilizarán, donde están conectados entre sí con otros módulos para formar el aparato. Ese puede ser un sistema rentable para proporcionar el aparato en el lugar y puede reducir la necesidad de mano de obra calificada en el lugar para instalar el aparato. En algunos ejemplos, el aparato puede emplearse en una primera ubicación para tratar un volumen de residuos almacenados en la primera ubicación, antes de desmontarse y transportarse a una segunda ubicación para tratar un volumen de residuos almacenados en esa segunda ubicación. De esa forma, una serie de pequeñas instalaciones de recogida de residuos pueden recibir servicios de forma rotativa, en lugar de enviar los residuos a una ubicación central. En algunos ejemplos, el aparato puede montarse de manera portátil, por ejemplo, en un barco, de modo que el aparato pueda funcionar mientras el barco está en movimiento. Ventajosamente, dicho aparato podría usarse para tratar grandes islas de residuos plásticos que se acumulan en los océanos.

20 En el presente documento se describe un aparato para el tratamiento de residuos que comprende residuos plásticos mixtos, comprendiendo el aparato: un reactor de pirólisis para la pirólisis de los residuos para producir un combustible, que es un reactor de lecho fluidizado; en donde el reactor de pirólisis está montado en un marco que tiene accesorios que son compatibles con el equipo de manipulación de carga utilizado para transportar recipientes de mercancías.

25 El marco puede ser parte de un recipiente de mercancías; es decir, el reactor puede montarse en un recipiente de mercancías, pero preferentemente el marco es un marco abierto, porque el módulo tiene la forma de un recipiente de mercancías y comprende miembros estructurales a lo largo de los bordes del módulo, pero no incluye paneles para cerrar las caras del módulo. Dicho marco puede ser más ligero y permitir un mejor acceso al equipo.

30 Preferentemente, el aparato comprende un generador configurado para funcionar con el combustible para producir electricidad; en donde el generador está montado en un marco que tiene accesorios que son compatibles con el equipo de manipulación de carga utilizado para transportar recipientes de mercancías.

35 El aparato comprende un depósito de almacenamiento aguas abajo del reactor de pirólisis y aguas arriba del generador para almacenar el combustible antes de usarlo para hacer funcionar el generador; en donde el depósito de almacenamiento está montado en un marco que tiene accesorios que son compatibles con el equipo de manipulación de carga utilizado para transportar recipientes de mercancías. El aparato puede comprender elementos adicionales, por ejemplo: filtros, secadoras o depósitos de almacenamiento con sistemas de mezcla, tal y como se describe anteriormente en relación con los aspectos uno a nueve de la invención. Algunos o todos esos elementos también pueden montarse en marcos con accesorios que sean compatibles con el equipo de manipulación de carga utilizado para transportar recipientes de mercancías. Puede ser que, en algunos marcos, se monte más de un elemento. Dicha disposición puede ser ventajosa para reducir el número de marcos que necesitan transporte. Puede ser que cada elemento esté montado en un marco separado. Dicha disposición puede ser ventajosa para permitir el intercambio de componentes.

40 En el presente documento se describe una planta de reciclaje para reciclar material residual, comprendiendo la planta un aparato para el tratamiento de residuos que comprende residuos plásticos mixtos de acuerdo con la invención. Preferentemente, la planta de reciclaje está dimensionada para procesar de 5000 a 100 000 toneladas de material residual por año. Como tal, la planta de reciclaje puede ser una instalación existente que sirve a una ciudad o un grupo de pueblos y el aparato puede instalarse en la planta para proporcionar un proceso para el tratamiento de residuos plásticos mixtos, que, de otro modo, hubieran sido enviados fuera de la planta para ser tratados o depositados en otro lugar.

45 Por supuesto, se apreciará que las características descritas en relación con un aspecto de la presente invención pueden incorporarse en otros aspectos de la presente invención. Por ejemplo, el aparato de la invención puede incorporar cualquiera de las características descritas con referencia al proceso de la invención y viceversa. De manera similar, cualquier aspecto de proceso o aparato de la invención puede incorporar cualquiera de las características descritas con referencia a otros aspectos de proceso o aparato de la invención.

Descripción de los dibujos

5 A continuación, se describirán las realizaciones de la presente invención a modo únicamente de ejemplo con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos en los que:

la figura 1 es una vista esquemática de un aparato de acuerdo con una primera realización de la invención;

la figura 2 es una vista esquemática de un distribuidor en el reactor de pirólisis de la figura 1; y

la figura 3 es una vista esquemática de un sistema de control para el aparato de la figura 1.

10

Descripción detallada

15 En la figura 1, un aparato 1 para tratar residuos que comprenden residuos plásticos mixtos tiene un transportador de carga 3. El transportador de carga 3 alimenta una prensa de deshidratación 5, cuya salida está dispuesta encima de un transportador 7 a una trituradora 9. La salida de la trituradora 9 se dirige por un transportador 11 a un filtro 13, que incluye un filtro ferroso y no ferroso. La salida del filtro 13 está conectada a una secadora 15 y la salida de la secadora 15 está conectada a un depósito de almacenamiento 17. El depósito de almacenamiento 17 es alimentado por el transportador 19 y comprende un sistema de mezcla. La salida del depósito de almacenamiento 17 está conectada a través de la línea 21 a la entrada de un reactor de pirólisis de lecho fluidizado 23. El reactor 23 contiene arena, que forma el lecho fluidizado. El fondo del reactor 23 tiene una válvula conectada, a través de la línea 25, a un limpiador 27, que a su vez está conectado, a través de la línea 29, a una tolva 31. La tolva 31 alimenta hacia el reactor 23. La salida desde la parte superior del reactor 23 está conectada al filtro de gas caliente 33, cuya salida está conectada, a través de la línea 35, al condensador 37.

25 Desde la línea 35, se conecta una rama 39, a través de la bomba 41, al intercambiador de calor 43. Desde el intercambiador de calor 43, una línea 45 alimenta hacia el reactor 23. La línea de suministro de combustible 49 va desde la línea 35 hasta el quemador 53. La línea de suministro de combustible 47 va desde la parte superior del condensador 37 hasta el quemador 51. Los quemadores 51 y 53 están montados en el intercambiador de calor 43.

30 El condensador 37 está por encima del, y alimenta el, depósito de almacenamiento 55. Una salida 57 del depósito de almacenamiento 55 está conectada, a través de la bomba 59, al motor 61, que está unido al generador 63. El motor 61 y el generador 63 forman conjuntamente un generador para producir electricidad y calor. El circuito de agua de refrigeración 65 atraviesa el motor 61 y el intercambiador de calor 67. La línea de agua 69 pasa a través del intercambiador de calor 67 y pasa a otra parte de la planta. El escape 71 del motor 61 pasa a través del intercambiador de calor 73 y luego se filtra 75 antes de expandirse a la atmósfera. La línea de aire 77 pasa a través del intercambiador de calor 73 y pasa a otra parte de la planta.

40 En la figura 2, la parte inferior del reactor 23 tiene un distribuidor 79. El distribuidor 79 está en el fondo del lecho fluidizado 85. El distribuidor 79 comprende una serie de conductos 81a-e con orificios 89a-e en su superficie superior. Los orificios comprenden boquillas 83a-e, que se sientan encima de los orificios. Los conductos 81a-e están separados de modo que los espacios entre los conductos sean lo suficientemente grandes como para que caigan a su través las partículas del lecho fluidizado 85. En el fondo del reactor 23 hay una válvula 87 que conduce a la línea 25.

45 En la figura 3, un monitor de disolvente 91 está montado en la línea 35. El monitor de disolvente 91 está en comunicación con el sistema de gestión del reactor 93. El monitor de temperatura 99 está en el reactor 23 y también está en comunicación con el sistema de gestión del reactor 93. El sistema de gestión del reactor 93 está en comunicación con el control del quemador de gas 95, que controla los quemadores 51 y 53 y el control de alimentación de material 97, que controla el ritmo de alimentación desde la línea 21 al reactor 23.

50 En uso, se cargan por año 7000 toneladas anuales de residuos, en esta realización, residuos plásticos mixtos, en el transportador de carga 3. Los residuos viajan por el transportador de carga 3 y caen en la prensa de deshidratación 5, donde la acción de presión impulsa al agua a salir de los residuos. Los residuos secos, que tienen un contenido de humedad de aproximadamente el 15 % en peso salen de la prensa de deshidratación 5 y se transportan a lo largo del transportador 7 y hacia la trituradora 9, donde se Trituran. Los residuos triturados salen de la trituradora 9 y viajan a lo largo del transportador 11 hacia el filtro 13. El filtro 13 comprende filtros ferrosos y no ferrosos y elimina contaminantes metálicos de los residuos. Los residuos deshidratados, triturados y filtrados luego pasan a la secadora 15, donde el contenido de agua se reduce a aproximadamente 2-3 % en peso. La secadora 15 se alimenta mediante el calor de la línea de agua caliente 69 o la línea de aire caliente 77, o ambas. Al salir de la secadora 15, los residuos secos, triturados y filtrados se almacenan en el depósito de almacenamiento 17. Mientras están en el depósito de almacenamiento 17, los residuos se mezclan constantemente retirando una porción de los residuos del fondo de un extremo del depósito de almacenamiento 17 y volviendo a ponerlos en circulación en el transportador 19 para redistribuirlos a través de la parte superior del depósito de almacenamiento 17. Dado que los residuos también se agregan y retiran continuamente del depósito de almacenamiento 17 para alimentar el proceso, el efecto de la recirculación de la mezcla es suavizar las variaciones en la composición de los residuos a lo largo del tiempo.

65

Los residuos se retiran del depósito de almacenamiento 17 a lo largo de la línea 21 y se alimentan al reactor de pirólisis

de lecho fluidizado 23. Al entrar en el reactor 23, los residuos se calientan a aproximadamente 400 a 600 °C. El calentamiento se logra alimentando una corriente caliente al reactor 23 a lo largo de la línea 45. Esa corriente caliente comprende un producto de pirólisis extraído de la línea 35, a lo largo de la línea 39 y calentado indirectamente mediante la combustión de una porción del producto de pirólisis, que también se extrae de la línea 35, a lo largo de la línea 47 o 49. La porción del producto de pirólisis combustionado normalmente se extrae a lo largo de la línea 47 desde la parte superior del condensador 37 y comprende la fracción gaseosa de la corriente de salida de combustible 35 del reactor de pirólisis 23 que no se condensa en el condensador 37. Cuando se requiere combustible adicional, se extrae directamente de la corriente de salida de combustible en la línea 35 a lo largo de la línea 49. En ese caso, parte del producto de combustible que, en circunstancias normales, se utilizaría para hacer funcionar el motor 61 se está utilizando para calentar el reactor de pirólisis 23.

Los residuos calentados sufren una reacción de pirólisis que disminuye la longitud de la cadena de hidrocarburos a aproximadamente de C₅ a C₁₀₀. El proceso se lleva a cabo en un lecho fluidizado 85 de arena, lo que da como resultado una buena mezcla y una temperatura regular a través del reactor 23. La arena se contamina con subproductos a lo largo del tiempo. Para evitar una acumulación excesiva, una porción de la arena se retira continuamente del fondo del reactor 23 a lo largo de la línea 25 y se limpia en el limpiador 27. La arena limpia se vuelve a calentar y se alimenta nuevamente al reactor 23 a través de la línea 29 y la tolva 31.

Los productos de la reacción de pirólisis salen de la parte superior del reactor 23 y pasan a través del filtro de gas caliente 33. El filtro 33 elimina contaminantes químicos tales como cloruros (resultantes del PVC en los residuos plásticos mixtos) y sulfatos, dando como resultado un gas combustible limpio que fluye a lo largo de la línea 35 y se condensa en el depósito de almacenamiento 55 mediante el condensador 37.

La calidad del combustible en la línea 35 está supervisada continuamente por el monitor de disolvente 91. El monitor de disolvente 91 mide una temperatura de la llama resultante de combustionar una muestra del combustible en una llama de hidrógeno. La temperatura de la llama puede estar relacionada con el calor de la combustión del combustible. El monitor de disolvente 91 comunica la temperatura de la llama al sistema de gestión del reactor 93 por medio de una señal electrónica de un termopar en el monitor de disolvente 91. El sistema de gestión del reactor 93 también recibe una señal del monitor de temperatura 99 en el reactor de pirólisis 23. El sistema de gestión del reactor 93 responde a los cambios en la temperatura de la llama del monitor de disolvente 91 ajustando la operación de los quemadores 51 y 53 y el ritmo de alimentación desde la línea 21 al reactor de pirólisis 23 por medio del control del quemador de gas 95 y el control de alimentación del material 97. De esa forma, el sistema de gestión del reactor 93 puede ajustar la temperatura y/o el tiempo de residencia del reactor de pirólisis 23. De este modo, si el monitor de disolvente 91 detecta que la temperatura de la llama está cayendo, lo que indica que la calidad del combustible está disminuyendo, el sistema de gestión del reactor 93 aumenta la temperatura en el reactor 23, o aumenta el tiempo de residencia en el reactor 23, o ambos. La longitud promedio de la cadena del combustible en la salida del reactor 23 debería entonces disminuir y aumentar la calidad del combustible. En cambio, si el monitor de disolvente 91 indica que el calor de combustión del combustible está aumentando, lo que podría causar problemas en el motor 61, el sistema de gestión del reactor 93 puede reducir la temperatura o el tiempo de residencia o ambos del reactor 23 para disminuir la pirólisis de los residuos y mantener la temperatura de la llama del monitor de disolvente 91 dentro de su intervalo deseado.

Se puede permitir que el nivel de combustible en el depósito de almacenamiento 55 aumente y disminuya. De este modo, el reactor 23 puede funcionar continuamente en un estado estable constante, pero el combustible puede usarse de forma discontinua o a un ritmo variable. Por la noche, cuando la demanda de electricidad es baja, el nivel de combustible en el depósito de almacenamiento 55 aumenta, mientras que en los momentos de demanda máxima se puede permitir que disminuya el nivel de combustible en el depósito de almacenamiento 55.

El combustible en el depósito de almacenamiento 55 se vuelve a poner en circulación continuamente para mezclar el combustible y suavizar las variaciones temporales en la calidad del combustible que entra en el depósito 55 desde el condensador 37. La recirculación también ayuda a suavizar los picos en las concentraciones de contaminantes que de otro modo podrían conducir a niveles de emisiones indeseables a corto plazo.

El combustible del depósito de almacenamiento 55 se usa para hacer funcionar el motor 61, que está conectado al generador 63. En conjunto, el motor 61 y el generador 63 forman un generador que funciona con el combustible para producir electricidad. El motor 61 es un motor diésel marino diseñado para funcionar con fueloil y la temperatura en el reactor 23 se controla mediante la supervisión del combustible que entra en el condensador 37 para lograr las especificaciones de combustible correctas para el motor 61. Al combinar el proceso de generación de combustible con la generación de electricidad en un solo proceso, la especificación de combustible puede relajarse. El motor 61 puede seleccionarse parcialmente en función de su capacidad para manejar combustible de especificación variable con el resultado de que la especificación aceptable para el combustible en el depósito de almacenamiento 55 pueda ser más amplia que si el combustible se vendiera como combustible comercial.

El motor 61 requiere enfriamiento y genera gases de escape calientes. El calor de esas corrientes se puede capturar y utilizar en otras partes de la instalación de acogida. En esta realización, el calor se usa en la secadora 15 y también en otros procesos en la instalación de acogida. De este modo, el proceso proporciona calor y energía combinados a la instalación. El agua de enfriamiento circula a través del motor en la línea de agua de enfriamiento 65. El agua de

enfriamiento enfría el motor 61 y se calienta en ese proceso. El agua de enfriamiento pasa luego al intercambiador de calor 67, donde se enfría por contacto indirecto con agua fría que entra en el intercambiador de calor 67 a lo largo de la línea 69. El agua de enfriamiento enfriada sale del intercambiador de calor 67 y regresa al motor 61 para repetir el ciclo. El agua calentada en el intercambiador de calor 67 sale a lo largo de la línea 69 y se usa para proporcionar calor a la secadora 15 y también a otros procesos en la instalación de acogida. El escape caliente del motor 61 se enfría por contacto indirecto con una corriente de aire en el intercambiador de calor 73. Los gases de escape salen del motor 61 a lo largo de la línea de escape 71 y pasan a través del intercambiador de calor 73. La corriente de aire 77 también pasa a través del intercambiador de calor 73 y el calor pasa del escape a la corriente de aire. Los gases de escape continúan a lo largo de la línea de escape 71, a través del filtro 75 para eliminar contaminantes y partículas y se ventilan a la atmósfera. La corriente de aire 77 que se ha calentado en el intercambiador de calor 73 se dirige a la secadora 15, donde el calor en la corriente se usa para secar los residuos entrantes, y también para otros procesos en la instalación de acogida que usan calor.

Mientras que la presente invención se ha descrito e ilustrado con referencia a realizaciones particulares, los expertos en la materia apreciarán que la invención se presta a muchas variaciones diferentes que no se ilustran específicamente en el presente documento. Solo a modo de ejemplo, a continuación se describirán determinadas variaciones posibles.

El motor 61 y el generador 63 pueden ser reemplazados por otros sistemas generadores. Por ejemplo, en algunas realizaciones se puede usar una turbina. En algunas realizaciones, se proporcionan dos generadores. Un pequeño generador funciona continuamente para proporcionar un nivel base de energía eléctrica para poner en marcha el resto de la instalación de reciclaje en la que está instalado el aparato. Se enciende un generador grande cuando la red eléctrica nacional requiere suministros de electricidad a corto plazo. El generador grande se selecciona para tener un ciclo de arranque rápido y beneficiarse del mayor precio que las redes nacionales están dispuestas a pagar por la capacidad de generación eléctrica que está disponible a corto plazo.

En algunas realizaciones, la prensa de deshidratación 5, la trituradora 9 y el filtro 13 se proporcionan en un orden diferente. En algunas realizaciones, los residuos pueden triturarse primero y luego deshidratarse y filtrarse. En otras realizaciones, las tres etapas se pueden realizar en órdenes distintos.

En algunas realizaciones, la prensa de deshidratación 5 se reemplaza por otro sistema de deshidratación, tal como una centrifugadora de deshidratación.

En algunas realizaciones, el gas combustible que se calienta para volver a introducirse en el reactor 23 a través de la línea 45 para calentar los residuos entrantes se extrae aguas arriba del filtro de gas caliente 33. Como resultado, el volumen de gas que pasa a través del filtro de gas caliente 33 en tales realizaciones se reduce.

En algunas realizaciones, los residuos alimentados al proceso comprenden residuos plásticos mixtos, pero también comprenden material orgánico. En algunas realizaciones, los residuos son residuos sólidos municipales.

En algunas realizaciones, los quemadores de combustible 51 y 53 son reemplazados o complementados por quemadores diseñados para combustionar la sustancia carbonizada separada de la arena del lecho fluidizado en el limpiador 27. De esa forma, el subproducto de sustancia carbonizada del proceso de pirólisis se usa para calentar el reactor 23.

En algunas realizaciones, el depósito de almacenamiento es una pluralidad de recipientes de depósito intermodales de 6,1 m (20 pies). En un proceso de ejemplo, se puede alimentar al proceso 1 tonelada (1000 kg) por hora de residuos y 850 kg por hora de combustible producido por el reactor. Un solo recipiente de depósito de 6,1 m (20 pies) proporciona suficiente almacenamiento durante aproximadamente 24 horas de operaciones con el generador apagado, por ejemplo, si el generador está en mantenimiento.

En otra realización ejemplar, el reactor de lecho fluidizado tiene un diámetro de 1,5 m y una relación de aspecto 1:1 (relación entre diámetro y altura). El reactor contiene 3 toneladas de arena.

Debe hacerse referencia a las reivindicaciones para determinar el verdadero alcance de la presente invención.

El lector también apreciará que los elementos integrantes o características de la invención que se describen como preferentes, ventajosos, convenientes o similares son opcionales y no limitan el alcance de las reivindicaciones independientes. Además, debe entenderse que dichos elementos integrantes o características opcionales, aunque de posible beneficio en algunas realizaciones de la invención, pueden no ser deseables y, por lo tanto, pueden omitirse en otras realizaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para el tratamiento de residuos que comprenden residuos plásticos mixtos, comprendiendo el proceso:
 - 5 a. la alimentación de los residuos a un reactor de pirólisis, en donde el reactor de pirólisis es un reactor de lecho fluidizado;
 - b. la pirólisis de los residuos en el reactor de pirólisis para producir un producto de pirólisis;
 - c. el paso del producto de pirólisis a través de un condensador para formar una fracción líquida y una fracción gaseosa;
 - 10 d. la supervisión de un atributo de la fracción líquida, en donde el atributo está relacionado con el calor de combustión de la fracción líquida;
 - e. el ajuste de la temperatura y/o el tiempo de residencia del reactor de pirólisis en respuesta al atributo medido de la fracción líquida para mantener el atributo dentro de un intervalo deseado; y
 - 15 f. el almacenamiento de la fracción líquida como un líquido, un sólido o una mezcla de un líquido y un sólido en un depósito.
2. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el proceso comprende adicionalmente mezclar la fracción líquida en el depósito.
- 20 3. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el proceso comprende usar la fracción líquida como combustible para hacer funcionar un generador para producir electricidad.
4. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el proceso incluye almacenar los residuos en un contenedor antes de alimentar los residuos al reactor de pirólisis, en donde los residuos se mezclan mientras están almacenados en el contenedor.
- 25 5. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde la temperatura en el reactor de pirólisis se controla para producir una fracción líquida en la que los hidrocarburos tienen una longitud de cadena mayor que C₅.
- 30 6. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde un producto del reactor de pirólisis se combustiona para calentar un fluido, y el fluido se alimenta al reactor de pirólisis para calentar el reactor de pirólisis.
7. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el reactor de pirólisis contiene un lecho fluidizado de partículas y un distribuidor para alimentar un medio de fluidización al reactor, en donde el distribuidor está configurado de modo que las partículas puedan caer a través del distribuidor y en donde el proceso comprende eliminar una porción de las partículas que han caído a través del distribuidor, limpiar las partículas y alimentar las partículas nuevamente dentro del reactor.
- 35 8. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde los residuos comprenden más del 80 % en peso de residuos plásticos mixtos.
- 40 9. Un aparato para el tratamiento de residuos que comprenden residuos plásticos mixtos, comprendiendo el aparato:
 - 45 a. un reactor de pirólisis para la pirólisis de los residuos para producir un producto de pirólisis, en donde el reactor de pirólisis es un reactor de lecho fluidizado;
 - b. un condensador aguas abajo del reactor de pirólisis para condensar el producto de pirólisis para formar una fracción líquida y una fracción gaseosa;
 - c. un monitor para supervisar un atributo de la fracción líquida, en donde el atributo está relacionado con el calor de combustión de la fracción líquida;
 - 50 d. un controlador para ajustar la temperatura y/o el tiempo de residencia del reactor de pirólisis en respuesta al atributo medido de la fracción líquida para mantener el atributo dentro de un intervalo deseado; y
 - e. un depósito aguas abajo del condensador y para almacenar la fracción líquida del producto de pirólisis como un líquido, un sólido o una mezcla de un líquido y un sólido.
- 55 10. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el depósito comprende medios para mezclar la fracción líquida mientras está en el depósito.
11. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en donde el aparato comprende un generador aguas abajo del depósito configurado para funcionar en la fracción líquida para producir electricidad.
- 60 12. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 11, en donde el generador está montado en un marco que tiene accesorios que son compatibles con el equipo de manipulación de carga utilizado para transportar recipientes de mercancías.
- 65 13. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en donde el aparato incluye un contenedor de almacenamiento aguas arriba del reactor de pirólisis para almacenar los residuos antes de alimentar

ES 2 804 610 T3

los residuos al reactor de pirólisis, en donde el contenedor de almacenamiento comprende un sistema de mezcla para mezclar los residuos almacenados en el contenedor.

5 14. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en donde el aparato comprende una cámara de combustión para combustionar un producto del reactor para calentar un fluido que se alimenta al reactor de pirólisis para calentar el reactor de pirólisis.

10 15. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en donde el reactor de pirólisis está configurado para contener un lecho fluidizado de partículas y en donde el aparato comprende un distribuidor para alimentar un medio de fluidización al reactor, en donde el distribuidor está configurado de modo que las partículas puedan caer a través del distribuidor y en donde el reactor de pirólisis incluye una salida a través de la cual, en uso, se puede eliminar una parte de las partículas que han caído a través del distribuidor, un aparato para limpiar las partículas y una entrada a través de la cual las partículas limpiadas pueden alimentarse nuevamente al reactor.

15 16. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15, en donde el reactor de pirólisis está montado en un marco que tiene accesorios que son compatibles con el equipo de manipulación de carga utilizado para transportar recipientes de mercancías y/o en donde el depósito está montado en un marco que tiene accesorios que son compatibles con el equipo de manipulación de carga utilizado para transportar recipientes de mercancías.

20 17. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 16, en donde el atributo de la fracción líquida se mide usando un monitor de disolvente.

25 18. Una planta de reciclaje para reciclar material residual, comprendiendo la planta un aparato para el tratamiento de residuos que comprenden residuos plásticos mixtos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 17, estando dimensionada la planta de reciclaje para procesar de 5000 a 100 000 toneladas de material residual por año.

19. Un proceso de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 17 o una planta de reciclaje de acuerdo con la reivindicación 18, en donde el lecho fluidizado del reactor de lecho fluidizado tiene una masa de 2,5 a 5 toneladas.

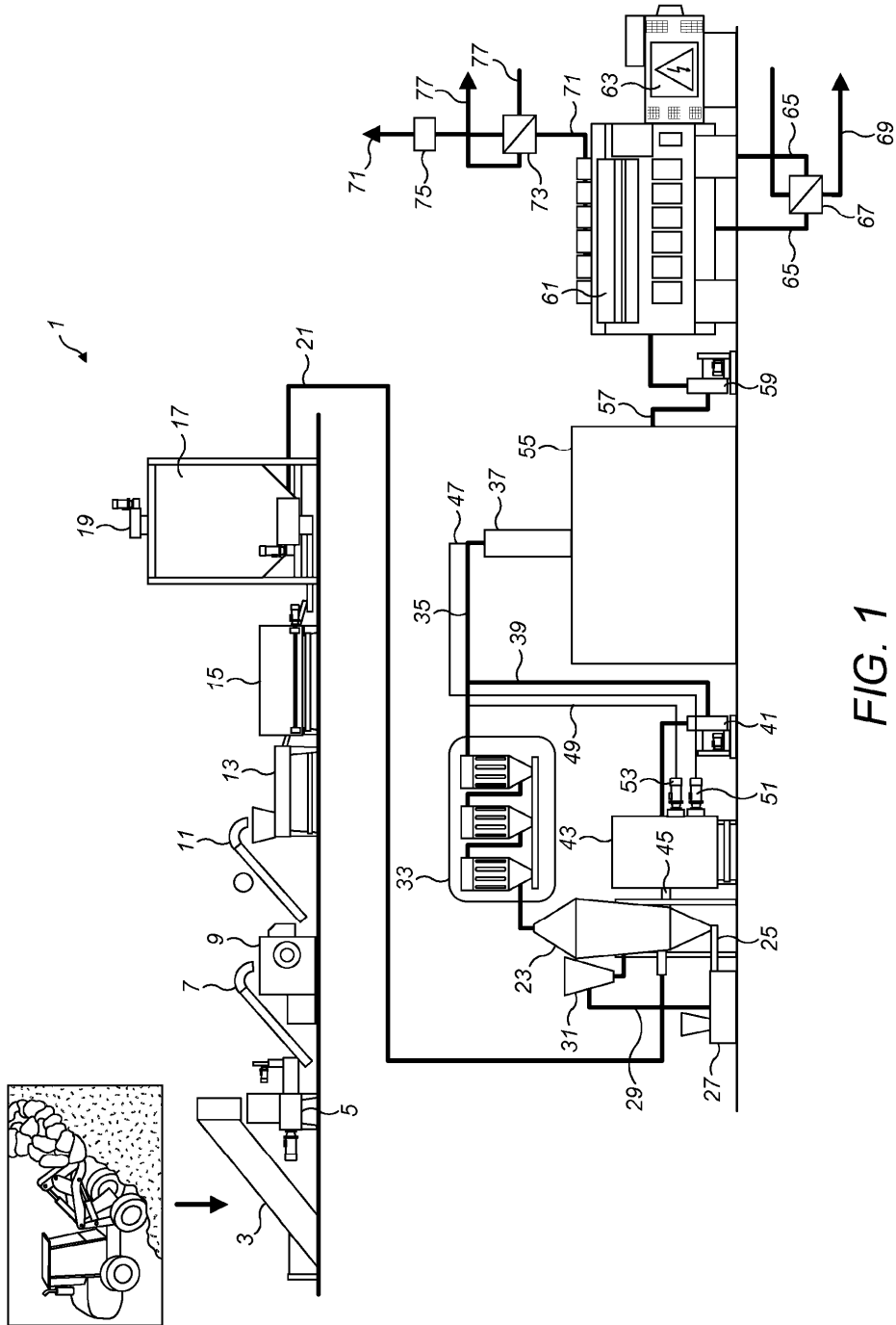


FIG. 1

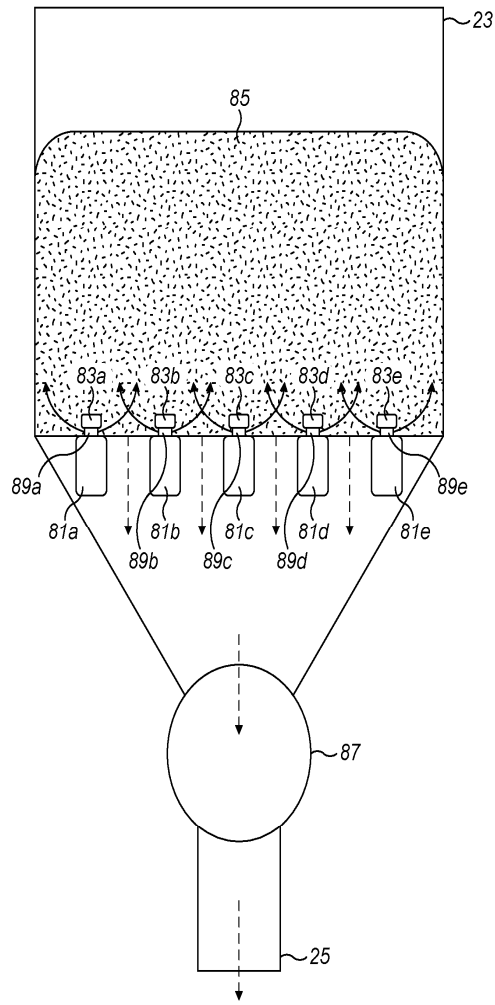


FIG. 2

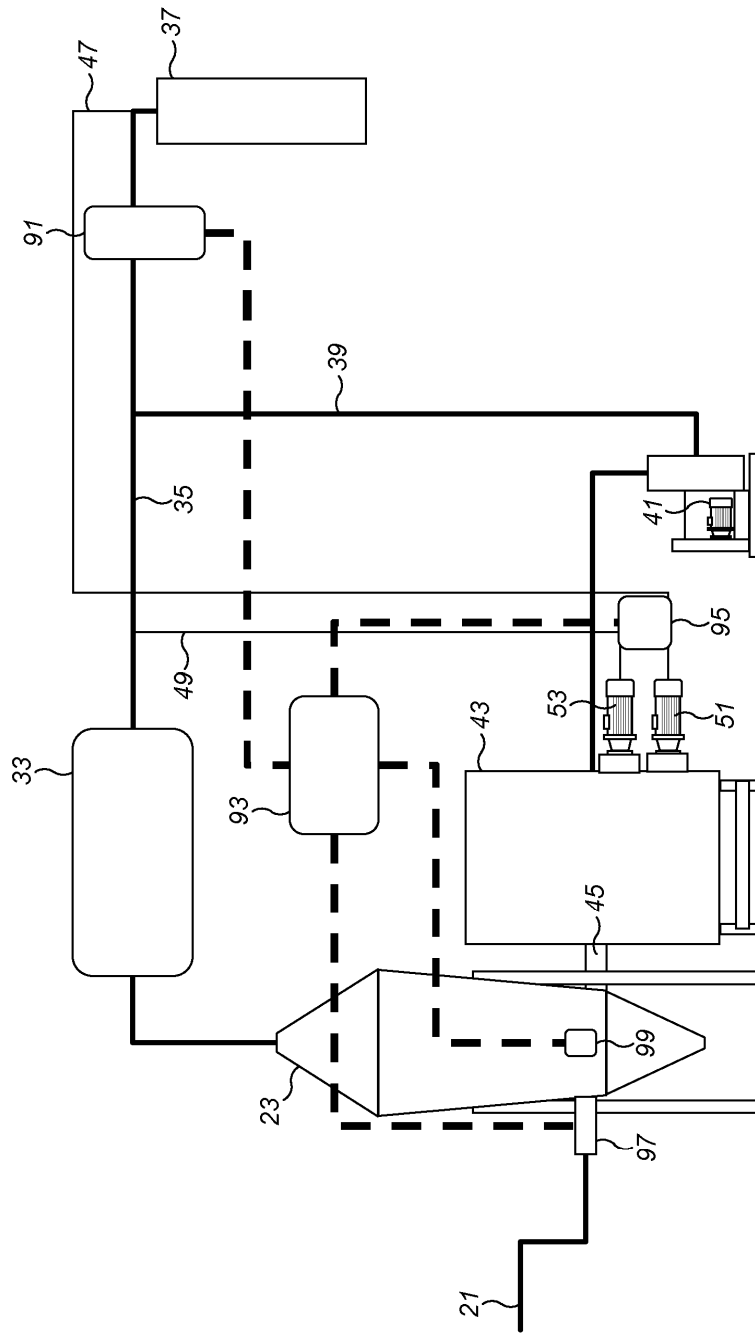


FIG. 3