

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 669 024**

51 Int. Cl.:

**F23G 5/027** (2006.01)

**C10J 3/04** (2006.01)

**C10J 3/34** (2006.01)

**C10J 3/80** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.09.2010 PCT/EP2010/063822**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.03.2011 WO11033113**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.09.2010 E 10760967 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.03.2018 EP 2478298**

54 Título: **Aparato y método de tratamiento de residuos**

30 Prioridad:

**18.09.2009 GB 0916358**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**23.05.2018**

73 Titular/es:

**PYROPURE LIMITED (100.0%)  
Unit 7 Farringdon Industrial Centre, Gosport  
Road, Farringdon  
Alton, Hampshire GU34 3DD, GB**

72 Inventor/es:

**CLARKE, HOWARD, MORGAN;  
BARTL, PETER y  
HOUSE, CHRISTOPHER, JOHN**

74 Agente/Representante:

**IZQUIERDO BLANCO, María Alicia**

ES 2 669 024 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).

**Aparato y método de tratamiento de residuos****Descripción**5 **Campo**

La presente invención se refiere a aparatos y métodos de tratamiento de residuos, en particular aparatos y métodos para el tratamiento de residuos procedentes de una variedad de fuentes, incluyendo locales comerciales y residencias domésticas y multiusos, mediante un proceso que combina pirólisis y combustión de residuos.

10

**Antecedentes**

Un proceso combinado de pirólisis y combustión, y aparatos relacionados, se conoce de la WO 2007/104954. Este destruye eficientemente los residuos, reduciéndolos a cenizas.

15

En la operación del proceso y el aparato, los inventores de la presente han ideado desarrollos para modificar y mejorar el tratamiento de residuos logrado.

20

La JP 2007-263534 describe un horno de gasificación tipo lecho móvil. El funcionamiento del horno incluye soplar continuamente gas a la zona de combustión directamente desde el lado del gasificador combinado con agitación. Se dice que esta acción aumenta la uniformidad de la distribución de la temperatura en la zona de combustión. De manera similar, se sabe que un ventilador de circulación interna cabe en la cámara de la WO 2007/104954 para promover la distribución de temperatura uniforme. La US 4917028 representa otro ejemplo de una invención en la que los residuos se agitan continuamente con gas. También se conocen otras formas de agitación; por ejemplo, en la US 2002/129.752 la vibración se describe como un medio adecuado a través del cual se puede agitar el material de residuo.

25

30

Es por lo tanto un objeto de la invención proporcionar un proceso y aparato alternativos, preferiblemente mejorados, para tratar residuos in situ a una escala doméstica y/o a grande. Es un objeto de las realizaciones específicas de la invención hacerlo para residencias de ocupación múltiple y también para residencias domésticas individuales y empresas comerciales tales como supermercados y restaurantes. Un objetivo adicional es reducir y/o eliminar la necesidad del transporte de residuos y evitar que los residuos terminen como residuos enterrados, lo que permite a las autoridades locales cumplir los requisitos de las directivas de reciclaje. Otro objeto adicional de la invención es permitir una mayor eficacia en la recogida de materiales reciclables, mejorando el cumplimiento público facilitando el proceso de reciclado.

35

40

Por consiguiente, la invención proporciona un procedimiento para el tratamiento de residuos y un aparato para llevar a cabo el tratamiento de residuos mediante una combinación de pasos de (i) pirólisis y (ii) combustión (también denominada como oxidación o gasificación).

**Resumen de las Invenciones**

45

La invención comprende un proceso para el tratamiento de residuos que comprende introducir residuos en una cámara, calentar los residuos a una temperatura elevada para efectuar la pirólisis de los residuos, introducir oxígeno en la cámara para efectuar la combustión de los residuos, y eliminar los residuos quemados de la cámara, caracterizado por la agitación de los residuos perturbando periódicamente el material de residuo con ráfagas de gas para promover la combustión de los residuos.

50

La invención también comprende un aparato para el tratamiento de residuos de acuerdo con el proceso anterior, que comprende:

55

- una cámara sellable,
- una zona de tratamiento de residuos en la cámara,
- un puerto para introducir residuos en la cámara,
- un puerto para la salida de los residuos tratados, y
- un elemento de calentamiento,
- una o más entradas de aire en una pared de la cámara,
- una fuente de aire a alta presión,
- uno o más conductos para conectar las entradas de aire a la fuente de aire a alta presión y equipo de control,
- caracterizado porque el equipo de control está adaptado para agitar los residuos perturbando periódicamente el material de residuo introduciendo ráfagas de aire en la cámara a través del equipo de control y la una o más entradas de aire para promover la combustión del residuo.

60

65

**Detalles de la invención**

En la presente se describen procesos para el tratamiento de residuos que comprenden introducir residuos en una cámara, calentar los residuos a una temperatura elevada para efectuar la pirólisis de los residuos, introducir oxígeno en la cámara (típicamente usando aire) para efectuar la combustión de los residuos, y eliminar los residuos quemados de la cámara. La pirólisis se lleva a cabo en ausencia sustancial de oxígeno, lo que significa en la práctica una ausencia sustancial de aire. Las temperaturas de funcionamiento típicas se establecen en otra parte de la presente. Los residuos pueden destruirse por tanto mediante una combinación de pirólisis, combustión y combustión de esa fracción del residuo que permanece como residuo carbonoso después de la pirólisis.

El término combustión, como se usa en la presente, se refiere a la descomposición oxidativa de materiales de residuo usando temperaturas altas y la entrada controlada de oxígeno que da como resultado una fase del proceso sustancialmente libre de llama. Esta fase del proceso de la invención también puede denominarse gasificación y/o oxidación.

Los residuos tratados son generalmente en su mayoría ceniza, pero también pueden contener materiales no tratados, como metales y vidrio, que pueden retenerse en la cámara, opcionalmente separados de la ceniza. En una realización de la invención, la cámara tiene una rejilla con orificios a través de los cuales puede pasar la ceniza pero que retiene elementos más grandes como metal y vidrio. Una rejilla está preferiblemente localizada en la cámara formando un estante o parte de un estante, y el método puede comprender colocar residuos, por ejemplo, bolsas de residuos, en la rejilla antes del tratamiento.

Se ha observado que en el funcionamiento de una máquina conocida algunos elementos como los plásticos se descomponen o evaporan durante la pirólisis y se tratan fácilmente, pero otros artículos como especialmente papel y textiles tienden a acumularse en montones, con la parte media del montón aislada de la temperatura y la combustión. Al final del proceso, que por razones prácticas tiene generalmente un límite de tiempo, puede haber restos carbonizados que no han sido tratados completamente. En otras palabras, el tratamiento de residuos puede estar incompleto. El método de la invención comprende agitar los residuos durante la combustión. Esto puede ayudar a reducir el tiempo total necesario para el paso de combustión. Puede ayudar a aumentar la cantidad de material quemado, dejando una cantidad reducida de residuos no tratados, preferiblemente sustancialmente sin residuos no tratados, al final del proceso.

La invención proporciona por lo tanto un proceso para el tratamiento de residuos que comprende: introducir los residuos en una cámara, calentar los residuos a una temperatura elevada para efectuar la pirólisis de los residuos, introducir oxígeno en la cámara para efectuar la combustión de los residuos y eliminar los residuos quemados de la cámara, opcionalmente con agua, caracterizado por la agitación de los residuos perturbando periódicamente el material de residuo con ráfagas de gas para promover la combustión de los residuos. El método comprende agitar los residuos con gas, en particular introduciendo gas a alta presión en la cámara para agitar los residuos durante la combustión. En un método, un montón de residuos de combustión en la cámara se agita repetidamente para promover la combustión de los residuos dentro del montón. Por lo tanto, los residuos se perturban y, por ejemplo, las hojas de papel en un montón o residuos que están encima y tapan otro material no quemado se perturba o se perturban de manera que la atmósfera caliente, en combustión de la cámara tiene acceso mejorado a ese material oculto o tapado.

Típicamente, se usan explosiones de gas de suficiente presión y duración para perturbar una membrana de cenizas formada sobre la superficie del montón de residuos durante la combustión. En realizaciones de la invención, las explosiones de gas tienen suficiente presión y duración para perturbar el montón de residuos. Preferiblemente, la perturbación del montón de residuos mediante explosiones de gas expone el material no quemado del interior del montón de residuos al aire (oxígeno) en la cámara, promoviendo la descomposición completa de todo el material combustible.

El residuo se agita discontinuamente. Por ejemplo, una explosión de gas de duración inferior a 10 segundos o inferior a 5 segundos, preferiblemente inferior a 3 segundos, más preferiblemente de 1 segundo o inferior, puede estar seguida por un período sin explosiones de gas de por lo menos 10 segundos o por lo menos 20 segundos o por lo menos 1 minuto, preferiblemente por lo menos 2 minutos. La agitación del gas puede usarse cuando sea necesario de acuerdo con el operario o según se rija por el equipo de control.

El residuo puede agitarse a una frecuencia de por lo menos una vez cada 20 segundos a por lo menos una vez cada 5 minutos. En el uso de la invención, hemos agitado usando ráfagas de aire cada 30 segundos y cada 3 minutos, ambas encontradas eficaces. Típicamente, se usa aire. También típicamente, el aire se introduce a una presión de 3 atmósferas (303,975 kPa) o más, preferiblemente 5 atmósferas (506,625 kPa) o más. Por lo tanto, en realizaciones específicas, el método comprende agitar periódicamente el material de residuo en combustión con ráfagas de gas, preferiblemente desde diferentes direcciones, para promover la combustión completa del residuo.

En realizaciones de la invención, las explosiones de gas pueden usar gases inertes como nitrógeno, argón, helio o mezclas de los mismos. El uso de gases inertes en lugar de aire evita la entrada intermitente de oxígeno adicional al sistema, lo que puede ser ventajoso ya que la temperatura de combustión dentro del aparato se controla

generalmente controlando la entrada de aire a la cámara.

Las ráfagas de gas que usan aire se usan típicamente hacia el final de la fase de combustión del tratamiento de residuos ya que las ráfagas de aire durante la fase de pirólisis pueden perturbar la pirólisis y los problemas de combustión incompleta tienden a no surgir durante las primeras etapas de la combustión. Las ráfagas de gas que usan gases inertes pueden iniciarse durante las fases de combustión o pirólisis del tratamiento de residuos.

La divulgación proporciona, en este aspecto, un aparato para el tratamiento de residuos como se define con anterioridad y en la reivindicación 9.

Preferiblemente hay dos o más entradas de aire. La una o más entradas de aire pueden estar en forma de boquillas localizadas en una porción de pared, preferiblemente una porción de pared inferior de la cámara, estando por lo menos a medio camino de la pared, o en el fondo de la cámara. Por lo tanto, se adaptan adecuadamente en uso para dirigir el aire a alta presión hacia el material en combustión localizado hacia el fondo de la cámara. Una o más entradas en los lados de la cámara permiten la agitación desde los lados, y una o más entradas en la parte inferior de la cámara permiten la agitación desde abajo. Una combinación de ráfagas disruptivas de aire desde direcciones diferentes puede producir un buen resultado.

Un aparato de la invención, descrito a continuación con más detalle, comprende una fuente de aire a alta presión.

En realizaciones de la invención, dos o más entradas están dispuestas en las paredes laterales de la cámara. Preferiblemente, las entradas están dispuestas en paredes opuestas de la cámara de manera que las ráfagas de gas se pueden introducir desde lados alternos de la cámara. En realizaciones preferidas de la invención, el gas se inyecta a través de cabezales de pulverización en abanico, que esparcen el gas en un intervalo de 65 a 180 grados, preferiblemente de 90 a 120 grados a lo largo de un plano unidimensional (proporcionando una pulverización amplia, muy "plana", como un ventilador. Las entradas típicamente entran en la cámara en un ángulo de 90 grados con relación con la pared de la cámara y luego se rotan alrededor de su eje de manera que la "pulverización en forma de abanico" de gas se orienta a aproximadamente 45 grados con respecto a la vertical.

Se incluye de forma adecuada un equipo de control, adaptado para introducir aire en la cámara periódicamente a través de una o más entradas de aire durante la fase de combustión del proceso. En una máquina de ejemplo, hecha y probada, se introdujo aire desde dos chorros localizados en lados opuestos de la cámara, con aire que se introducía alternativamente desde los dos chorros. El aire se introdujo a siete atmósferas (709,275 kPa) de presión durante una duración de 0,4 segundos por explosión - tener en cuenta también que funcionarían una variedad de presiones. En este momento, se inyectaron aproximadamente 3 litros de aire en la cámara por ráfaga. La frecuencia usada fue una ráfaga cada 30 segundos, aunque el método ha funcionado satisfactoriamente con una frecuencia de una ráfaga cada 3 minutos.

Este método de agitación es independiente de cómo se retira el material quemado de la cámara, ya sea mecánicamente usando, por ejemplo, una barrena o enjuagando con agua o de otro modo.

En el uso típico, una cámara equipada con un sistema de explosión de aire de este tipo emplea ráfagas discontinuas, a alta presión cuyo propósito es desmontar físicamente los lechos de residuos que se han compactado y cubierto de cenizas, y por lo tanto no permiten que el flujo de aire a presión normal penetre. En general se mejora la combustión de residuos. En particular, las mezclas de residuos con grandes cantidades de papel se destruyen mucho más eficientemente con las explosiones de aire.

Una perturbación física del lecho de residuos mediante medios de agitación mecánica puede lograr parcialmente el mismo propósito, pero las explosiones de gas de la invención tienen las ventajas, entre otras, de (1) construcción más simple de la cámara y (2) sensibilidad reducida a los pedazos duros de residuos (latas, botellas, etc.). Una ventaja adicional de la agitación por aire mediante chorros en lugar de mecánicamente es, por tanto, que no hay componentes internos adicionales en la cámara - estos componentes internos son susceptibles de fallar.

En realizaciones preferidas de la invención, se usa una subrutina de software para controlar explosiones de aire. Típicamente, en un período establecido en la fase de combustión del tratamiento de residuos el software comienza a comprobar los parámetros del proceso. Estas comprobaciones pueden llevarse a cabo de 30 hasta 120 minutos en la fase de combustión y preferiblemente se llevan a cabo de 60 hasta 100 minutos en la fase de combustión. En realizaciones preferidas de la invención, las comprobaciones de la combustión se llevan a cabo durante aproximadamente 70 o aproximadamente 90 minutos en la fase de combustión. El software comprueba que se cumple por lo menos uno de los siguientes parámetros del proceso; la cámara no está más caliente que una temperatura máxima predeterminada, la salida del reactor del catalizador no está más caliente que una temperatura predeterminada y la entrada de aire durante la combustión ha alcanzado su valor máximo. En las realizaciones de la invención, deben cumplirse por lo menos dos de estos parámetros y en las realizaciones preferidas de la invención

deben cumplirse todos los parámetros establecidos. Las comprobaciones de parámetros aseguran que las explosiones de aire se introducen sólo cuando la combustión se está ejecutando en condiciones que no es probable que sean excesivamente perturbadas por las explosiones de aire. Una vez que se han cumplido las comprobaciones de parámetros, se puede activar la subrutina de explosión de aire.

5 Un problema separado con un método que usa tratamiento catalítico de gases residuales, el asunto de una solicitud de patente presentada anteriormente por el mismo solicitante ahora publicada como WO 2010/073008 , es que durante la fase de pirólisis hay un volumen relativamente pequeño de gas residual de la pirólisis generado en la cámara, y el gas puede además generarse esporádicamente y puede pasar a través del catalizador en ráfagas, debido a expansiones incontroladas e impredecibles dentro de la cámara durante la pirólisis. Tener en cuenta que el proceso de pirólisis es fundamentalmente endotérmico, en ausencia sustancial de oxígeno. Un problema es que el flujo bajo e irregular de gas puede significar que el control del proceso es difícil. Como resultado puede haber un tratamiento inadecuado por el catalizador. Adicionalmente, la baja cantidad de gas generado en la cámara puede significar que la distribución de temperatura en la cámara no sea uniforme.

10 Por consiguiente, un segundo aspecto de la divulgación que no es de acuerdo con la invención proporciona un proceso para el tratamiento de residuos, que comprende:

15 introducir residuos en una cámara, calentar los residuos a una temperatura elevada para efectuar la pirólisis de los residuos, introducir oxígeno en la cámara para efectuar la combustión de los residuos, y eliminar los residuos quemados de la cámara, en donde la pirólisis de los residuos genera gases residuales que se pasan a través de un catalizador para eliminar uno o más componentes nocivos de los mismos, y en donde el proceso comprende introducir gas, típicamente aire, en la cámara durante la pirólisis.

20 Preferiblemente, el método comprende introducir gas, especialmente aire, en la cámara durante la pirólisis en una cantidad suficiente para proporcionar un flujo estable de gas residual desde la cámara pero suficientemente pequeño (por ejemplo, con un contenido de oxígeno suficientemente bajo) para que la pirólisis permanezca endotérmica. La introducción de aire no está destinada a provocar una combustión u oxidación significativa de los residuos, sino que sea suficiente para que el gas fluya fluidamente de la cámara. El flujo de aire está relacionado con el volumen de la cámara y la carga de residuos, aunque generalmente se puede introducir aire a una velocidad de hasta 10 litros por minuto por kg de residuos, preferiblemente a una velocidad de hasta 7 litros por minuto por kg de residuos o a una velocidad de hasta 4 litros por minuto por kg de residuos. Generalmente, el aire se introduce a una velocidad de por lo menos 0,5 litros por minuto por kg de residuo. En ejemplos de funcionamiento de este método, el aire se ha introducido a una velocidad de aproximadamente 10-20 litros por minuto para una carga de 8 kg de residuos que se procesan en 3 horas. Esto se compara con una velocidad de entrada de aire típica de 100-150 litros por minuto durante la fase de combustión para ese proceso. Se usan velocidades más altas con cámaras más grandes y un rendimiento de residuos mayor. En un ejemplo específico, descrito con más detalle a continuación, se introdujeron 16 l/minuto para una carga de residuos de 8 kg, es decir, a 2 l/minuto/kg de residuos durante la fase de pirólisis.

25 La solución en este segundo aspecto es por tanto introducir una pequeña cantidad de gas, convenientemente aire, en la cámara durante la etapa de pirólisis. No se introduce lo suficiente como para indicar que la fase no sea endotérmica. El aire se introduce para proporcionar algo de flujo de gas residual de la pirólisis a través del catalizador de una manera más controlada. Adicionalmente, hay otra ventaja ya que la introducción de aire permite la circulación de los contenidos de la cámara para proporcionar una distribución de temperatura más uniforme.

30 Una opción más es usar una bomba para evacuar la cámara y extraer el gas de escape de la pirólisis.

35 De nuevo, la introducción de aire durante la fase de pirólisis es independiente de cómo se elimina la ceniza de la cámara.

40 En las máquinas hechas hasta la fecha que incorporan el método de pirólisis/combustión, se usa una cesta, rejilla o similar para proporcionar un estante sobre el que se pueden cargar los residuos en la cámara y para capturar metal, vidrio y otros elementos no tratados por el proceso, tales artículos o se eliminan después de cada ciclo o se acumulan y se eliminan después de varios ciclos. Las partículas diminutas de ceniza caen a través de la rejilla, pero las partículas de metal y vidrio más grandes no se retienen.

45 Un problema es que la ceniza se puede producir como un "fantasma" de los residuos quemados y puede retener cierta integridad, por lo tanto no se desintegrará fácilmente en partículas diminutas y caerá a través de la rejilla; también, la ceniza puede acumularse en la parte superior del metal/vidrio no tratado u otro material y evitar así que caiga al fondo de la cámara y al punto de recogida de la ceniza, por ejemplo, una barrena o caja de cenizas.

50 Un tercer aspecto de la divulgación que no es de acuerdo con la invención proporciona un proceso para el tratamiento de residuos, que comprende:

introducir los residuos en una cámara, calentar los residuos a una temperatura elevada para efectuar la pirólisis de los residuos, introducir oxígeno en la cámara para efectuar la combustión de los residuos y eliminar los residuos quemados de la cámara,  
 5 que comprende agitar las cenizas acumuladas producidas por la combustión para desalojar las cenizas e impulsarlas hacia una salida de la cámara.

En uno de tales métodos, la ceniza acumulada se agita inyectando aire en la cámara. Esto se puede lograr inyectando aire a alta presión desde una o más salidas en una pared de la cámara. La ceniza se perturba, por ejemplo, la integridad de un "fantasma" se rompe y las partículas de ceniza pueden pasar ahora a través de la rejilla. Las partículas de ceniza que yacen sobre, por ejemplo, una pieza de metal son voladas y ya no se impide que caigan hacia el fondo de la cámara.

Las ráfagas de aire adecuadas para este aspecto pueden tener las mismas características que las usadas para promover la combustión completa como se describe en otra parte en la presente, y un conjunto de ráfagas puede lograr ambos efectos. Las ráfagas de aire para el tercer aspecto, para desalojar las cenizas, pueden producirse hacia el final de la fase de combustión. Las ráfagas de aire para promover la combustión pueden producirse desde antes, generalmente desde el punto medio de la combustión hacia el final de la combustión, aunque en la práctica las dos fases pueden superponerse. También pueden producirse ráfagas de aire para desalojar cenizas después de que haya finalizado la combustión, por ejemplo como parte del ciclo de la cámara o como parte de un paso de limpieza.

La ceniza también puede desalojarse, en otra realización de la invención, inyectando agua en la cámara, opcionalmente en forma de vapor. Las ráfagas de vapor pueden tener fuerza adicional y ser efectivas a frecuencia menor que las ráfagas de aire. Las ráfagas de vapor también pueden usarse después de que la combustión haya finalizado. La cantidad de agua usada es preferiblemente lo suficientemente pequeña para que toda se evapore y salga de la cámara en forma de vapor, nada saliendo como agua. De esta manera, no hay necesidad de drenar de agua a la cámara. Una realización de la invención proporciona un aparato en el que la una o más entradas de aire pueden usarse independientemente para introducir aire en la cámara, y en el que el equipo de control está programado además para funcionar en por lo menos uno de los modos siguientes:

- (i) el aire se introduce en la cámara durante la pirólisis de los residuos en la cámara para diluir el gas residual que sale de la cámara; y
- (ii) el aire se introduce en la cámara durante la combustión para desalojar la ceniza acumulada.

Opcionalmente, dicha una o más entradas están conectadas a un suministro de aire y a un suministro de agua a través del equipo de control de tal manera que la o cada una de las una o más entradas pueden usarse independientemente para introducir aire o agua en la cámara, y en donde el equipo de control también está programado para funcionar en el modo (iii) en el que se introduce agua en la cámara durante la combustión para desalojar la ceniza acumulada.

En una realización adicional de la invención, se proporcionan entradas de aire y agua, por lo tanto dichas una o más entradas están conectadas a un suministro de aire y a un suministro de agua a través del equipo de control de tal manera que la o cada una de las una o más entradas pueden usarse independientemente para introducir aire o agua en la cámara, y en donde el equipo de control también está programado para funcionar en el modo (iv) en el que se introduce agua en la cámara durante y/o después de la combustión para desalojar la ceniza acumulada.

La fase de combustión del proceso de la presente invención tiende a generar ceniza, que flota dentro de la cámara y la concentración de ceniza puede aumentar después de la perturbación física de los residuos, por ejemplo, por ráfagas de gas a alta presión. Esta ceniza puede dañar el catalizador y, por tanto, preferiblemente se filtra del gas que sale de la cámara antes del contacto del gas con el catalizador. Se pueden usar filtros metálicos o cerámicos, pero los inventores han sido incapaces hasta ahora de identificar metales o cerámicas adecuados que puedan soportar el calor, los cambios de temperatura y la naturaleza corrosiva de la ceniza en ciclos de cámara repetidos. Una opción preferida de la invención es por lo tanto filtrar la ceniza usando un separador inercial como un filtro ciclónico.

Por consiguiente, un aspecto de la divulgación que no es de acuerdo con la invención puede proporcionar un proceso para el tratamiento de residuos, que comprende: introducir residuos en una cámara, calentar los residuos a una temperatura elevada para efectuar la pirólisis de los residuos, introducir oxígeno en la cámara para efectuar la combustión de los residuos y eliminar los residuos quemados de la cámara, en donde la pirólisis de los residuos genera gases residuales que pasan a través de un catalizador para eliminar uno o más componentes nocivos de los mismos, y en donde los gases residuales se filtran usando un separador inercial antes del contacto de los gases residuales con el catalizador. Un aspecto adicional de la presente divulgación que no es de acuerdo con la invención proporciona un

aparato para el tratamiento de residuos, que comprende:

- 5 una cámara sellable,
- una zona de tratamiento de residuos en la cámara,
- un puerto para introducir residuos en la cámara,
- un puerto para la salida de residuos tratados,
- un elemento de calentamiento, y
- un catalizador

10 el aparato comprendiendo además un separador inercial entre la cámara y el catalizador.

15 El separador inercial puede ser una cámara de sedimentación, una cámara deflectora o un colector centrífugo. En realizaciones preferidas se usa un colector centrífugo como un separador ciclónico. Los separadores ciclónicos adecuados incluyen separadores de ciclón único, separadores de ciclón múltiple y separadores de flujo de gas residual como para mezclar el gas residual con el aire de un suministro de aire separado para entrar en el catalizador. El aparato de una realización particular, que se describe en uso a continuación, comprende un ciclón que recibe gas residual de la cámara y recibe un suministro de aire para el aire de catalizador y tiene una salida para suministrar el gas filtrado, mezclado resultante al catalizador.

20 En realizaciones preferidas, la filtración de gases residuales usando un separador inercial se lleva a cabo en combinación con el uso de ráfagas de gas a alta presión (como se ha descrito anteriormente). También se puede usar un separador inercial cuando se introduce aire en la cámara durante la fase de pirólisis del tratamiento de residuos.

25 Este método de filtración es independiente de cómo se elimina el material quemado de la cámara, ya sea mecánicamente usando, por ejemplo, una barrena o enjuagando con agua o de otro modo.

30 Un proceso para el tratamiento de residuos comprende introducir los residuos en una cámara, calentar los residuos a una temperatura elevada para efectuar la pirólisis de los residuos, introducir oxígeno en la cámara a efecto de combustión de los residuos, y eliminar los residuos quemados de la cámara, en donde la temperatura elevada para efectuar la pirólisis puede ser de 200-700° C o de 350-700° C y típicamente es de 400-700° C. Operar a estas temperaturas tiende a evitar la formación de algunos de los contaminantes más nocivos asociados con las unidades de pirólisis estándar o formarlos en menor grado, a la vez que garantiza que se pueda tratar sustancialmente todo el residuo, distinto de los componentes reciclables. Por lo tanto, una ventaja de la invención es que el tratamiento de gases residuales puede llevarse a cabo con emisiones en el sitio reducidas. La temperatura de pirólisis preferiblemente es de 500-700° C, más preferiblemente de 500-600° C. En una realización específica del proceso, el sistema funciona a aproximadamente 550° C.

35 Se prefiere adicionalmente que la combustión se lleve a cabo a temperaturas elevadas, típicamente 300° C o más, 400° C o más, preferiblemente por lo menos 450° C, más preferiblemente por lo menos 500° C. En el funcionamiento típico de un aparato de la invención, la cámara se calienta a la temperatura de pirólisis, se lleva a cabo la pirólisis y luego se lleva a cabo la combustión como el siguiente paso sin calentamiento o enfriamiento específico separado de la cámara. El calor generado por la combustión generalmente mantiene una temperatura elevada dentro del residuo y, dependiendo de su contenido calorífico, puede aumentar ligeramente la temperatura por lo que los calentadores de cámara generalmente se apagan durante la combustión. El calor puede eliminarse de la cámara haciendo pasar los gases residuales a través de un radiador o un intercambiador de calor y el calor recuperado puede usarse con otros propósitos. La temperatura de la cámara también puede controlarse controlando el flujo de aire en la cámara. Generalmente, la temperatura de la cámara durante la combustión no sube por encima de 800° C y preferiblemente no por encima de 750° C o 700° C.

40 La duración de la fase de pirólisis puede variar de acuerdo con el volumen de residuos, a su vez con un límite dictado por el volumen de la cámara. Los aparatos de la invención están diseñados generalmente para su uso tanto en residencias domésticas como en viviendas de múltiples ocupantes y locales comerciales pequeños, pero también en entornos comerciales más grandes.

45 Los residuos pueden entrar en la cámara a temperatura ambiente. La cámara luego se sella y los calentadores se activan para calentar la cámara a la temperatura de funcionamiento. Los residuos pueden entrar en la cámara a una temperatura elevada, por ejemplo, si ha habido poca o ninguna refrigeración de la cámara desde su último funcionamiento. La cámara luego se sella y puede que ya esté a temperatura operativa; si es necesario, los calentadores se activan para devolver la cámara a una temperatura de funcionamiento.

50 En los aparatos fabricados y probados hasta la fecha, esta fase de calentamiento del ambiente toma típicamente 2-20 minutos, preferiblemente 5-10 minutos, dependiendo de la temperatura de funcionamiento

requerida, el volumen de la cámara y el volumen de los residuos en la cámara. En uso, se encuentra que los gases residuales pueden evolucionar en fracciones a medida que aumenta la temperatura y se cree que esto da como resultado una producción reducida de ciertos componentes tóxicos, especialmente dioxinas y fluoruros en comparación con la pirólisis industrial que usa temperaturas más altas, después de un calentamiento rápido. Los procesos llevados a cabo en el aparato de la invención generalmente comprenden mantener el residuo a la temperatura elevada durante 10-90 minutos, preferiblemente durante 20-60 minutos. En una realización específica del proceso, la fase de pirólisis tiene una duración de aproximadamente 40 minutos.

En algunas realizaciones de la invención, se usan sistemas de temporización inteligentes para controlar la duración del ciclo. Estos sistemas pueden monitorizar la temperatura de los gases residuales que se producen y ajustar la duración del ciclo en consecuencia. El uso de estos sistemas mejora la eficiencia energética del proceso. En un ejemplo, un sistema de control monitoriza la temperatura de los gases residuales o de la carga, como a través de un termopar localizado proximal a los residuos en la cámara, y activa el comienzo de la combustión una vez se ha alcanzado una temperatura predeterminada (por ejemplo, aproximadamente 450° C-500° C). En otro ejemplo, un sistema de control monitoriza la temperatura de los gases residuales de la cámara y cuando la temperatura ha caído a un nivel predeterminado (digamos 300° C-400° C) inicia el final de la combustión y, opcionalmente, el comienzo del enfriamiento y la limpieza de la cámara mediante la introducción de agua (como vapor sobrecalentado). Otra opción es monitorizar la velocidad de enfriamiento de la cámara, y una vez que alcanza o se aproxima a la velocidad de enfriamiento natural de la cámara, entonces inicia el final del ciclo. Otra opción es monitorizar el contenido de oxígeno del gas que sale de la cámara; un nivel suficientemente alto de oxígeno indica que la combustión se ha detenido.

En un ejemplo de la invención funcionando in situ, el aparato se configura con una fase de pirólisis preprogramada, basada en el volumen de la cámara y la naturaleza anticipada de los residuos a procesar. La fase puede configurarse de tal manera que la temperatura elevada se mantenga durante la duración de la fase de pirólisis y de manera que se degrade el 50% o más de los residuos, preferiblemente el 70% o más, más preferiblemente el 80% o más. En la práctica, es problemático e ineficiente desde el punto de vista energético asegurar un tratamiento del 100%, especialmente cuando hay presente material reciclable, como metales y vidrio, que no se degradaría y que se puede extraer para reciclar. A partir del volumen y el contenido de residuos esperados el sistema puede configurarse para una propiedad dada, de modo que se piroliza del 60% al 95% de los residuos en peso.

En una operación típica del aparato, los residuos entran en la cámara de destrucción y se sella la tapa, la cámara se calienta luego a aproximadamente 550° C. Los gases residuales producidos durante la pirólisis se monitorizan; a medida que se destruyen los residuos, los niveles de estos gases se reducen, una vez que caen por debajo de un umbral predeterminado, se apagan los calentadores. Durante la pirólisis, el aire se introduce en la cámara a una velocidad baja, aproximadamente 5-10 litros por minuto para hacer fluir el gas residual a través del catalizador. Después de la pirólisis, sustancialmente en ausencia de oxígeno, se pasa luego aire a través de la bobina de calentamiento y se introduce en la cámara, esto es a aproximadamente 200-500° C en la entrada. La entrada del aire inicia la combustión de los residuos residuales dentro de la cámara de destrucción. No se aplica calor externo en esta etapa pero se conserva el calor de la etapa de pirólisis. La agitación regular de los residuos en combustión se lleva a cabo con ráfagas de aire hacia el final de la fase de combustión. Durante la combustión se monitoriza la salida de gas y, aunque hay residuos la salida de la cámara excede la entrada de aire. También se puede monitorizar el contenido de oxígeno para este propósito. Durante la combustión, los residuos se agitan como se describe en la presente para promover la combustión completa y reducir los residuos no tratados al final. Cuando la salida de gas cae por debajo, o el contenido de oxígeno aumenta por encima (dependiendo de la monitorización adoptada), de un umbral establecido se apaga el flujo de aire ya que la combustión se considera terminada para ese ciclo de operación. El residuo residual, ahora en gran parte ceniza, se puede agitar con aire y/o agua para ayudar a desalojar las cenizas de modo que caigan al fondo de la cámara y no se retengan en la rejilla. Luego se elimina la ceniza de la cámara. Esto puede ser durante la combustión, por ejemplo, usando una barrena o después de la combustión, por ejemplo, mediante una barrena o enjuagando con agua. El material no quemado es retenido por la rejilla metálica, este puede eliminarse para reciclarlo o dejarlo en la máquina para otro ciclo(s). Algún material pirolizable puede requerir dos o tres ciclos antes de que se destruya completamente.

Los gases residuales producidos por la pirólisis y/o combustión se tratan adecuadamente para eliminar los componentes nocivos, dependiendo de los estándares de emisiones que se requieren cumplir en cualquier aplicación dada.

Los gases se pueden pasar a través de un catalizador de oxidación, alimentado con aire, preferiblemente aire caliente, para destruir los componentes nocivos por oxidación.

Los gases se pueden pasar a través de un sistema de agitación acuoso para ayudar a la disolución de los gases. Los gases se pueden burbujear a través de la solución, que opcionalmente contiene agua blanda y que opcionalmente contiene aditivos para promover la disolución de los gases. Los gases también se pueden pasar a través de un depurador de agua. No todos los gases pueden disolverse en la solución y se prefiere que los gases también se filtren dentro de una cámara de limpieza de gases. Un catalizador puede actuar como una cámara de

limpieza de gases y puede colocarse corriente arriba o corriente abajo de un depurador. El método también puede comprender descargar gases no disueltos en el sistema de alcantarillado. Por lo tanto, en una realización, los gases de escape filtrados que no se han disuelto en la solución o se han retenido dentro del filtro se descargan en el alcantarillado. Estos gases luego pasan por las tuberías de desagüe para ventilar a través de las chimeneas de ventilación. Los gases de escape filtrados producidos son sustancialmente incoloros e inodoros, consistiendo principalmente de dióxido de carbono y monóxido de carbono, aunque con un catalizador funcional el contenido de monóxido de carbono es generalmente muy bajo.

En las realizaciones que comprenden un catalizador, se prefiere filtrar los gases residuales usando un separador inercial antes del contacto de los gases residuales con el catalizador. En realizaciones específicas diseñadas para usos domésticos y tales usos, todos los subproductos del proceso se eliminan en el alcantarillado.

Los residuos quemados pueden enjuagarse de la cámara con agua, en donde el agua se introduce en la cámara como vapor sobrecalentado. En uso, el vapor enfría y limpia la cámara y enjuaga los residuos de ceniza del material tratado. Esto es conveniente y eficiente. La cámara queda limpia y por tanto más aceptable para los usuarios. Hay un riesgo reducido de residuos en la cámara que no es agradable a la vista o que tiene un olor desagradable. Para llevar a cabo el enjuague, el agua puede introducirse en la cámara a través de tuberías en las paredes de la cámara, el agua estando se calentada para formar vapor sobrecalentado a medida que pasa a través de las tuberías. De esta forma, el agua se calienta a la temperatura deseada por el vapor de la cámara. También, la cámara se enfría en preparación para un siguiente ciclo de uso.

Un suministro de oxígeno (generalmente como aire) está preferiblemente unido mediante tuberías a la cámara y dispuesto de tal manera que, en uso, se suministra oxígeno a la cámara a través de las tuberías. El agua, si se suministra a la cámara, puede suministrarse a la cámara a través de la misma tubería. Los caudales varían con factores que incluyen el tamaño de la cámara. La entrada de aire durante la pirólisis puede ser tan baja como 5 litros por minuto. La entrada de aire durante la combustión de una carga grande puede ser de 50 a 1000 litros por minuto. Hemos operado realizaciones con caudales de aire de 25 a 200 litros/min.

Para todos los aspectos de la invención, el volumen de la cámara puede variar; los volúmenes de la cámara adecuados están en el intervalo de 0,01-5,00m<sup>3</sup>, preferiblemente de 0,01-3,00 m<sup>3</sup>, para las unidades de tipo doméstico más preferiblemente en el intervalo de 0,02-0,30m<sup>3</sup>, especialmente de 0,03-0,20m<sup>3</sup> o de 0,04 a 0,10m<sup>3</sup>. Se han probado con éxito hasta la fecha cámaras con volúmenes de aproximadamente 0,06m<sup>3</sup> y aproximadamente 0,14m<sup>3</sup>.

La invención se ilustra ahora en la siguiente realización específica con referencia al dibujo adjunto en el que:

La Fig. 1 muestra un diagrama esquemático del aparato de la invención

#### **Ejemplo 1**

Los residuos se procesan por pirólisis y combustión en una cámara sellable mostrada esquemáticamente en la Fig. 1, que tiene una tapa, se calienta usando calentadores de panel y tiene un puerto de salida de gases, un catalizador para el tratamiento de gases residuales, un calentador para calentar aire para el catalizador, un depurador de gases y un intercambiador de calor para calentar el aire que entra en la cámara con el calor extraído del gas de escape. La entrada de agua para limpiar y vaciar la cámara es opcional.

La tapa de la cámara de procesamiento se abre y una carga residual de aproximadamente 8 Kg entra en la cámara (que está a temperatura ambiente) y se coloca en una rejilla hacia el fondo de la cámara. La tapa se cierra luego y se sella la cámara.

Los calentadores de panel de la cámara se activan y la temperatura interior se eleva entre 500-550° C. El aire se introduce en la cámara desde el inicio a una velocidad de aproximadamente 16 l/minuto para hacer fluir los gases residuales de la cámara y para promover la distribución uniforme de la temperatura dentro de la cámara, el lecho del catalizador se calienta con aire del soplador a aproximadamente 550 -600° C y los gases emitidos pasan a través del catalizador.

La entrada de aire al catalizador es inicialmente de aproximadamente 200 l/minuto, aumentando a 800 l/minuto durante el proceso, y la fase de pirólisis dura aproximadamente 40 minutos.

Después de que se ha completado la fase de pirólisis, los calentadores del panel externo se apagan y la entrada de aire a la cámara aumenta hasta aproximadamente 150 l/minuto para la fase de oxidación/combustión.

Con la introducción de aire, los residuos comienzan a brillar. El volumen de los residuos disminuye aún más, alcanzando típicamente alrededor del 5% de su volumen original. El residuo se convierte en una ceniza muy

fina. Los niveles de humo y partículas en el sistema aumentan durante la fase de inyección de aire. Todos los escapes de gaseosos pasan a través del catalizador.

Durante la fase de combustión, la masa de combustión de residuos se agita mediante ráfagas de aire a alta presión, alternativamente desde lados opuestos de la cámara, el aire siendo inyectado cada minuto en explosiones de 0,4 segundos a 7 bar (7 atmósferas (709,275 kPa)), la cantidad de aire inyectado siendo de aproximadamente 3 l por explosión. Esto agita la masa y promueve la combustión completa. Hacia el final de la fase de combustión, se usa una agitación similar para desalojar la ceniza que se ha acumulado en la rejilla o se ha acumulado en la parte superior de metal o vidrio sin tratar, de manera que la ceniza cae al fondo de la cámara.

Cuando se ha completado la fase de combustión, se apaga la inyección de aire, se cierra la válvula de escape de gas y se elimina la ceniza de la cámara mientras la cámara todavía está todavía caliente usando una barrena. El sistema está listo para el próximo ciclo.

### **Ejemplo 2**

Los residuos se procesan como en el ejemplo 1. Al final de la fase de combustión, la válvula de escape de líquido se abre y el agua fluye a través de los mismos tubos que el aire, alrededor del exterior de la cámara y se inyecta como vapor sobrecalentado. El vapor se inyecta inicialmente en una serie de pulsos, luego como una corriente constante. Los pulsos son de una duración de 150 - 300 milisegundos, luego de 500 - 1000 milisegundos cada 30 segundos y luego continuamente durante 3 minutos, cuando el agua se inyecta a aproximadamente 2 l/min.

Las explosiones de vapor iniciales desalojan la ceniza, impulsándola hacia la salida de la cámara. En esta etapa todo el vapor puede salir de la cámara como un gas, no habiendo salida de agua. El vapor subsiguiente descarga la ceniza a través del escape, y limpia las caras internas de la cámara. El vapor tiene un efecto de enfriamiento en la cámara, y después de aproximadamente 1 minuto la temperatura interna de la cámara cae por debajo de 100° C. Después de que se ha completado la inyección de vapor, se abre la tapa y el sistema está listo para su ciclo siguiente. Cualquier residuo incompatible que no ha sido descompuesto por el ciclo se mantiene en un cajón y puede ser retirado y reciclado.

### **Ejemplo 3**

Los residuos se procesan por pirólisis y combustión en una cámara sellable que se muestra esquemáticamente en la Fig. 1 teniendo una tapa, se calientan usando calentadores de panel y teniendo un puerto de salida de gas, un catalizador para el tratamiento de gases residuales, un calentador para calentar aire para el catalizador, un depurador de gases y un intercambiador de calor para calentar el aire que entra en la cámara gas. La entrada de agua para limpiar y vaciar la cámara es opcional.

La tapa de la cámara de procesamiento se abre y una carga de residuos de aproximadamente 8 Kg entra en la cámara (que está a temperatura ambiente) y se coloca en una rejilla hacia el fondo de la cámara. Luego se cierra la tapa luego y se sella la cámara.

Los calentadores de panel de la cámara se activan y la temperatura interior se eleva a entre 500-550° C. El aire se introduce en la cámara desde el inicio a una velocidad de aproximadamente 16 l/minuto para hacer fluir suavemente los gases residuales de la cámara y para promover la distribución uniforme de la temperatura dentro de la cámara, el lecho del catalizador se calienta con aire del soplador a aproximadamente 550-600° C y los gases emitidos pasan a través del catalizador.

La entrada de aire al catalizador es inicialmente de aproximadamente 200 l/minuto, aumentando a 800 l/minuto durante el proceso, y la fase de pirólisis dura aproximadamente 40 minutos.

Después de completar la fase de pirólisis, los calentadores de panel externo se apagan y se aumenta la entrada de aire a la cámara hasta aproximadamente 150 l/minuto para la fase de oxidación/combustión.

Con la introducción de aire, los residuos comienzan a brillar. El volumen de los residuos disminuye aún más, alcanzando típicamente alrededor del 5% de su volumen original. El residuo se convierte en una ceniza muy fina. Los niveles de humo y partículas en el sistema aumentan durante la fase de inyección de aire. Todos los escapes gaseosos pasan a través de un ciclón donde se filtran y mezclan con aire para el catalizador antes de pasar a través del catalizador.

A los 70 minutos de la fase de combustión, una subrutina de software comprueba que se cumplen los siguientes parámetros del proceso:

- la cámara no tiene más de 600°
- la salida del reactor de catalizador no está más caliente que 680° C

la entrada de aire a la cámara está a 150 L/minuto.

Una vez que se satisfacen todos los parámetros del proceso se activa la subrutina de explosión de aire y se llevan a cabo los siguientes pasos:

5  
 la entrada de aire a la cámara se reduce en dos tercios,  
 el flujo de aire al ciclón se incrementa al máximo,  
 se activa una bomba de aire comprimido durante 14 segundos, bombeando aire a un depósito de 0,7 l  
 conectado a los puntos de inyección de aire dentro de la cámara,  
 10 la presión del aire en el depósito alcanza aproximadamente 7 bar,  
 una válvula conectada a un punto de inyección de aire se abre durante 400 milisegundos y luego se cierra,  
 después de 4 segundos la válvula se abre de nuevo durante 400 milisegundos,  
 esto se repite cinco veces con la misma válvula y se vacía el depósito de aire,  
 15 el depósito de aire luego se vuelve a comprimir como se ha indicado anteriormente y el proceso se repite  
 para  
 la válvula de aire opuesta.

La entrada de aire a la cámara se vuelve a incrementar gradualmente hasta 150 l/min. El software comprueba de nuevo los parámetros del proceso y una vez que se cumplen se vuelve a activar la subrutina de explosión de aire como se ha indicado anteriormente.

Hacia el final de la fase de combustión, se usa la agitación del aire para desalojar la ceniza que se ha acumulado en la rejilla o se ha acumulado en la parte superior del metal o vidrio no tratados, por lo que la ceniza cae al fondo de la cámara.

25 Cuando se ha completado la fase de combustión se apaga la inyección de aire, la válvula de escape de gas se cierra y se elimina la ceniza de la cámara mientras la cámara está todavía caliente usando una barrena. El sistema está listo para el siguiente ciclo.

#### 30 **Ejemplo 4**

El aparato se cargó con catálogos que tenían hojas de papel brillante. Los catálogos se colocaron en el centro exacto de la rejilla de la cámara y tenían dimensiones A4, formando un montón de 96 mm de altura y teniendo un peso de 4 kg. La rejilla estaba formada por una cesta de malla que estaba suspendida dentro de la cámara. La cámara del aparato usada tenía aproximadamente 43 cm de diámetro interno y aproximadamente 75 cm de profundidad interna.

El proceso de tratamiento de residuos se controló por software informático y procedió de la siguiente manera:

- 40
- Al comenzar la secuencia, se calentó primero el catalizador mediante un flujo de aire caliente, y la cámara se calentó hasta un máximo de 120° C medido por la temperatura del aire en la sección superior de la cámara.
- Etapa de pirólisis
- 45
- Después de aproximadamente 30 minutos, cuando el lecho del catalizador había alcanzado 380° C, el punto de ajuste de temperatura de la cámara se aumentó a 350° C, y se inyectó aire desde el fondo de la cámara a un flujo de aproximadamente 25 l/min (flujo de aire de goteo de aire).
  - Estas condiciones se mantuvieron durante 30 minutos.
- Etapa de Gasificación
- 50
- El punto de ajuste de temperatura se aumentó a 480° C, y se encendió la bomba de aire principal, aumentando gradualmente su flujo de aire en un 20% cada 20 segundos hasta que se alcanzó su máximo de aproximadamente 150 l/min.
  - Esta condición se mantuvo sin cambios durante 70 minutos (durante los cuales hubo flujo de aire constante).
- 55
- Después de 70 min: (1) el punto de ajuste de la temperatura de la cámara se aumentó a 550° C y (2) comenzó la secuencia de explosiones de aire.
  - La secuencia de explosiones de aire funcionó como se describe en el ejemplo 3, con las siguientes excepciones:

- 60
1. el tiempo de compresión se estableció en 18 segundos (teniendo una presión inicial de 7bar)
  2. la bomba de aire principal se redujo cíclicamente a aproximadamente el 30% del máximo (cerrando una válvula de aire) y, en principio, aumentó un 20% cada 20 segundos. Cada vez que el flujo de aire alcanzaba el máximo, se reducía de nuevo al 30% y se iniciaba la secuencia de explosión de aire. Eso dio como resultado aproximadamente una secuencia doble (es decir, una vez desde cada lado) aproximadamente cada 3 minutos.
- 65

- 100 minutos después del inicio de las explosiones de aire (170 minutos desde el comienzo de la etapa de gasificación), el proceso se interrumpió automáticamente y todos los calentadores y bombas de aire (pero no el soplador de aire en el catalizador) se desconectaron.

5      Enfriamiento

- Normalmente, como la temperatura de la cámara alcanzó de manera natural los 440° C, se habría iniciado el enfriamiento activo con inyección de agua, pero esto se detuvo manualmente para permitir la comprobación de la carga.
- Llevó aproximadamente 100 minutos que la temperatura se enfriara lo suficiente para que se abriera la cámara, en el intervalo de 250 - 300° C.
- Luego, se sacó la cesta y se pesaron y compararon los contenidos que permanecían en ella, es decir, los restos de carga que no cayeron simplemente a través del fondo de la cesta durante la secuencia.

15      Después del tratamiento de los residuos, los restos en la cesta tenían un peso de 0,69 kg, es decir, una reducción de la masa del 83%. Además, la "forma del catálogo" del montón se perturbó significativamente con solo un pequeño núcleo carbonizado de cada hoja.

### **Ejemplo comparativo 1**

20      El aparato se cargó con catálogos que tenían hojas de papel brillante. Los catálogos se colocaron en el centro exacto de la rejilla de la cámara y tenían dimensiones A4, formando un montón de 96 mm de altura y teniendo un peso de 4 kg. La rejilla estaba formada por una cesta de malla que estaba suspendida dentro de la cámara. La cámara del aparato usada era de aproximadamente 43 cm de diámetro interno y de aproximadamente 75 cm de profundidad interna.

25      El proceso de tratamiento de residuos se controló mediante software informático y procedió como en el ejemplo 4, sin embargo, el compresor de aire se deshabilitó mecánicamente para esta secuencia y no se produjeron explosiones de aire.

30      El peso de la carga restante en la cesta después del tratamiento se redujo de 4,0 kg a 1,1 kg - una reducción en la masa del 73%. Además, el montón de catálogos mantiene esencialmente su forma, con hojas individuales reconocibles, pero que se vuelven completamente blancas en el exterior, debido a una fina capa de ceniza. El montón de catálogos adicionalmente se había "hinchado" (es decir con espacios entre hojas individuales) y, cuando se abrió, el núcleo de cada hoja consistía en material carbonizado negro. El exterior de cada hoja consistía de ceniza muy frágil que se derrumbaba al tocarla.

35      La invención proporciona por lo tanto tratamiento de residuos por pirólisis y combustión, y aparatos para hacerlo.

40

45

50

55

60

65

**Reivindicaciones**

1. Un proceso para el tratamiento de residuos que comprende:  
 5 introducir residuos en una cámara, calentar los residuos a una temperatura elevada para efectuar la pirólisis de los residuos, introducir oxígeno en la cámara para efectuar la combustión de los residuos y eliminar los residuos quemados de la cámara,  
**caracterizados por** la agitación de los residuos perturbando periódicamente el material de residuo con ráfagas de gas para promover la combustión de los residuos.
- 10 2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la perturbación periódica comprende introducir gas a alta presión en la cámara.
3. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que el proceso comprende perturbar  
 15 periódicamente los residuos a una frecuencia de por lo menos una vez cada 20 segundos a por lo menos una vez cada 5 minutos.
4. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que el gas comprende aire.
5. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende introducir el gas en la cámara a una  
 20 presión de 3 atmósferas o más, preferiblemente el gas está a una presión de 5 atmósferas o más.
6. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la temperatura para efectuar la pirólisis es de 400-700° C.
7. Un proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende llevar a cabo la combustión a una  
 25 temperatura de por lo menos 400° C.
8. Un proceso para el tratamiento de residuos según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende  
 30 introducir una pequeña cantidad de aire en la cámara durante la pirólisis y agitar la ceniza acumulada producida por la combustión para desalojar la ceniza acumulada e impulsarla hacia una salida de la cámara.
9. Un aparato para el tratamiento de residuos de acuerdo con un proceso de cualquiera de las reivindicaciones 1-8,  
 que comprende:
- 35 una cámara sellable,  
 una zona de tratamiento de residuos en la cámara,  
 un puerto para introducir residuos en la cámara,  
 un puerto para la salida de residuos tratados, y  
 un elemento de calentamiento,
- 40 una o más entradas de aire en una pared de la cámara,  
 una fuente de aire a alta presión,  
 uno o más conductos para conectar las entradas de aire a la fuente de aire a alta presión, y  
 equipo de control,  
**caracterizado porque** el equipo de control está adaptado para agitar los residuos perturbando  
 45 periódicamente el material de residuo introduciendo ráfagas de aire en la cámara a través del equipo de control y la una o más entradas de aire para promover la combustión de los residuos.
10. El aparato de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la una o más entradas de aire están en forma de  
 50 boquillas localizadas en una porción de pared inferior de la cámara, que están por lo menos a mitad de camino de la pared, o en el fondo de la cámara.
11. El aparato de acuerdo con cualquiera de la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en el que la una o más  
 entradas de aire se adaptan en uso para dirigir aire a alta presión hacia el material en combustión localizado hacia el  
 55 fondo de la cámara.
12. El aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-11, en el que en uso se introduce aire en la  
 cámara a una presión de por lo menos 3 atmósferas, preferiblemente se introduce aire en la cámara a una presión  
 de por lo menos 5 atmósferas.
- 60 13. El aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-12, en el que la una o más entradas de aire pueden usarse independientemente para introducir aire en la cámara, y en el que el equipo de control está programado además para operar en por lo menos uno de los modos siguientes:
- 65 (i) el aire se introduce en la cámara a través del equipo de control durante la pirólisis de los residuos en la cámara para diluir el gas residual que sale de la cámara; y

(ii) el aire se introduce en la cámara a través del equipo de control durante la combustión para desalojar la ceniza acumulada.

5 **14.** El aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-12, en el que dichas una o más entradas están conectadas a un suministro de aire y a un suministro de agua a través del equipo de control de modo que la o cada una de las una o más entradas pueden usarse independientemente para introducir aire o agua en la cámara, y en el que el equipo de control también está programado para funcionar en el modo (iii) en el que el agua se introduce en la cámara durante la combustión para desalojar las cenizas acumuladas.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

**Fig. 1**

