

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 576 494**

51 Int. Cl.:

**F23G 5/04** (2006.01)

**F23G 7/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2013** **E 13720503 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.03.2016** **EP 2847516**

54 Título: **Mejoras en el procesamiento de residuos**

30 Prioridad:

**08.05.2012 GB 201208165**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.07.2016**

73 Titular/es:

**CHINOOK END-STAGE RECYCLING LIMITED  
(100.0%)**

**No. 1 Nottingham Science Park Jesse Boot  
Avenue University Boulevard  
Nottingham, Nottinghamshire NG7 2RU, GB**

72 Inventor/es:

**CHALABI, RIFAT AL;  
PERRY, OPHNEIL HENRY y  
LI, KE**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 576 494 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

Mejoras en el procesamiento de residuos

- 5 La presente invención se refiere a sistemas para el procesamiento de materiales con contenido orgánico, en particular, se refiere a residuos, a sistemas de energía para extraer energía a partir de residuos con contenido orgánico con un valor calórico bajo. Un sistema de este tipo se conoce, por ejemplo, a partir del documento WO 2008/122875.
- 10 Los residuos orgánicos de valor calórico bajo (CV), tal como los residuos sólidos urbanos (RSU) con alto contenido de humedad, residuos de alimentos, residuos agrícolas y lodos de alta humedad son difíciles de procesar.
- En algunos países, por ejemplo, en los países del norte, donde hay altos niveles de lluvias y nevadas, los residuos tienen normalmente un mayor contenido de humedad lo que disminuye su valor calórico (por unidad de masa).
- 15 Además, debido a que se reciclan más plásticos, y por lo tanto se eliminan de la corriente de residuos, los residuos residuales con un contenido de plástico inferior tienen un CV reducido.
- Un método de procesar residuos es mediante incineración. Normalmente antes de la incineración, es necesario tener que mezclar con tales residuos combustible adicional, es decir, de otra fuente, por ejemplo carbón, biomasa seca, gas natural, etc., de tal manera que durante la incineración se pueda mantener una combustión auto sostenida, es decir, se consigue un procesamiento auto-termático.
- 20 Algunos de residuos se procesan mediante un proceso de gasificación en el que los residuos se calientan en una atmosfera baja en oxígeno para producir gas de síntesis, y el gas se quema para producir un gas de escape a alta temperatura que se utiliza para producir energía eléctrica, por ejemplo, mediante el calentamiento del agua para accionar una turbina de vapor.
- 25 Los gasificadores convencionales incluyen gasificadores de lecho fluidizado de proceso continuo, gasificadores de tipo lecho fijo continuo o por lotes, o de tipo parrilla. Sin embargo, estos tipos de gasificadores no son muy adecuados para el procesamiento de residuos de bajo valor calórico. La mayoría de los gasificadores comerciales se operan de forma continua, es decir, los residuos se alimentan en un extremo, se hacen pasar continuamente a través del aparato y salir por el otro extremo, y el gas se retira. A medida que el material pasa a través del gasificador, el mismo se seca primero ya que el calor elimina el contenido de humedad y después el material se gasifica durante lo que la energía dentro de los residuos se libera en forma de moléculas de hidrocarburos, junto con gases inertes tales como nitrógeno. La humedad y los gases se liberan en su interior cámara de procesamiento y se extraen juntos. La velocidad del flujo de gas a través de la cámara de procesamiento es muy alta, en la región de  $3\text{ms}^{-1}$  lo que da como resultado un gas de salida mezclado a fondo. El gas que resulta de un proceso de este tipo tendrá un alto contenido de humedad y un contenido de gas de síntesis bajo ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ). El valor calórico del gas de salida será, por tanto, también bajo. Además, debido al gran contenido de humedad de los residuos que se cargan continuamente en el aparato es necesario utilizar, generalmente, una fuente de combustible externa, por ejemplo, gas natural o carbón, para producir el calor necesario para evaporar el agua. Esto da como resultado una mayor producción de  $\text{CO}_2$  que no solo es ecológicamente racional sino que también diluye el gas de síntesis producido aún más.
- 30
- 35
- 40
- 45 El resultado final es que el gas de síntesis producido es de una calidad baja que, sin un procesamiento posterior extensivo e intensivo en energía, solo es adecuado para la combustión.
- Incluso cuando se utilizan gasificadores de lecho fijo convencionales en los que los residuos se introducen en lotes persisten problemas similares. Estos tipos de gasificadores tienen un tiempo de procesamiento muy largo para gasificar los residuos, normalmente de muchas horas, y el gas liberado contiene una mezcla de gases que incluye grandes volúmenes de nitrógeno, vapor de agua y dióxido de carbono. El gas sale del gasificador en una corriente de gas mixta y, la composición del gas mixto es todavía de una calidad baja y generalmente solo es adecuado para la combustión.
- 50
- 55 El objetivo final de los residuos de los sistemas de energía es producir energía eléctrica. Como se ha descrito anteriormente, esto se hace normalmente a través de la transformación del gas producido en calor para producir vapor para el accionamiento de una turbina de vapor. Sin embargo, la energía a la eficacia de transformación de potencia a través de este método es bastante baja, normalmente en la región del 18 % al 24 %.
- 60 Los sistemas de transformación de mayor eficacia, por ejemplo, la combustión directa del gas de síntesis en una turbina de gas o motor recíproco no se utilizan generalmente puesto que el gas de síntesis producido a partir de estos gasificadores convencionales es de baja calidad de modo que no cumple con los requerimientos de aprovisionamiento de combustible de tales motores o turbinas de gas que requieren un gas de síntesis limpio de valor calórico alto, normalmente del orden de  $0,0176\text{-}0,029\text{ KW/0,028 m}^3$  ( $60\text{-}100\text{ BTU/pie}^3$ ), que contiene nada o poco contenido de alquitrán.
- 65

Para que el gas de CV bajo producido por los gasificadores convencionales se utilice directamente en un motor de gas de síntesis o turbina de gas existen entonces dos opciones.

5 En primer lugar los residuos de CV bajo se pueden mezclar con un combustible de origen externo, por ejemplo gas natural, propano, etc. Esto da como resultado la introducción de mucho mayor consumo de combustibles fósiles en la producción de energía del gasificador, lo que es desventajoso y perjudicial para el medio ambiente, y, además, aumenta el coste de producción de energía puesto que depende de un aumento del consumo de combustible comprado externamente.

10 La segunda opción es procesar posteriormente los residuos para aumentar el CV de los residuos antes de que se gasifiquen. Este procesamiento previo es complicado y es un procedimiento prohibitivamente costoso que combina múltiples operaciones consecutivas de trituración de residuos, secado de residuos y granulación de residuos antes de la gasificación. Aunque esto proporciona una posibilidad para potenciar directamente un motor de gas, este proceso es un proceso muy intensivo en energía y, debido al alto gasto de capital, gastos de operación, y gastos de mantenimiento necesarios para transformar los residuos de CV bajo en un combustible derivado de residuos (RDF),  
15 no es una solución atractiva comercialmente.

La presente invención mitiga, al menos en parte, algunos de los problemas mencionados anteriormente y proporciona un método y un aparato que permite la salida de un proceso de gasificación de residuos de CV bajo que se tienen que transformar para potenciar un motor de gas de síntesis.  
20

Tal como se utiliza en la presente memoria, se apreciará que la expresión "motor de gas" incluye diversos tipos de motores de combustión que funcionan con gas e incluye, sin limitación motores de gas de movimiento alternativo y turbinas de gas.  
25

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un método de procesamiento de material con un contenido orgánico que comprende: calentar un lote de dicho material en un aparato de procesamiento por lotes que tiene una atmósfera de oxígeno reducido para gasificar al menos algo del contenido orgánico para producir gas de síntesis; elevar la temperatura de dicho gas de síntesis y mantener el gas de síntesis a dicha temperatura elevada durante un tiempo de residencia suficiente para descomponer térmicamente cualquier hidrocarburo de cadena larga o compuesto orgánico volátil en su interior; supervisar el valor calórico del gas de síntesis producido, cuando el valor calórico del gas de síntesis esté por debajo de un umbral predefinido, se desvía el gas de síntesis, con un valor calórico bajo, hacia un quemador de una caldera para producir vapor; y cuando el valor calórico del gas de síntesis excede dicho umbral predefinido, se desvía dicho gas de síntesis, con un valor calórico alto, a un motor de gas para producir electricidad.  
30  
35

El método puede tener un primer umbral predefinido y un segundo umbral predefinido y, cuando el valor calórico del gas de síntesis se encuentre por debajo de dicho primer umbral predefinido, se desvía el gas de síntesis, con un valor calórico bajo, hacia un quemador de una caldera para producir vapor en un primer modo de operación; cuando el valor calórico del gas de síntesis excede dicho primer umbral predefinido, se desvía dicho gas de síntesis, con un valor calórico alto, a un motor de gas para producir electricidad en un segundo modo de operación; y cuando el valor calórico del gas de síntesis cae por debajo de un segundo umbral, se desvía el gas de síntesis, con un valor calórico bajo, hacia un quemador de una caldera para producir vapor en una tercera fase de operación.  
40

Por lo tanto, como se apreciará, la presente invención proporciona un sistema que puede cambiar entre utilizar el gas producido para potenciar una caldera para la potencia derivada de la turbina de vapor convencional y puede cambiar tan pronto como el CV se encuentre a un nivel adecuado para utilizar directamente el gas de síntesis en un motor de gas de síntesis. Puesto que el motor de gas de síntesis tiene una eficacia de transformación de energía mucho mayor que la de la caldera/turbina de vapor, la eficacia general del sistema se puede mejorar en gran medida sin dejar de utilizar los residuos de CV bajo sin la necesidad de procesamiento previo de los residuos o del procesamiento posterior del gas.  
45  
50

Los umbrales primero y segundo tienen su interior valor o pueden ser diferentes. En cualquier caso, el valor del umbral por encima del que el gas se dirige al motor de gas de síntesis tendrá un CV adecuado para su uso en el motor de gas de síntesis.  
55

El método puede comprender además: cuando el valor calórico del gas de síntesis excede un tercer umbral, mayor que dichos umbrales primero y segundo predeterminados, se desvía dicho gas de síntesis, con un valor calórico muy alto, a un recipiente de almacenamiento. Además de consumirse en un motor de gas de síntesis el gas de síntesis tiene otros usos como combustible químico o para la separación en sus gases componentes para otro uso químico. Sin embargo, la pureza de los gases utilizados para esto tendrá que tener un CV incluso más alto que el utilizado en el motor de gas de síntesis.  
60

El método puede comprender además la extracción de calor de dicho gas de síntesis y la utilización de dicho calor para producir vapor. La recuperación del calor de esta etapa del proceso no solo reduce la temperatura del gas que se alimenta al motor de gas de síntesis, sino que recupera también la energía del gas que se puede utilizar para  
65

accionar la caldera. Para aumentar aún más la eficacia general, el calor residual del motor de gas se puede utilizar también para calentar el agua en la caldera para producir vapor.

5 El vapor producido se puede utilizar para accionar una turbina de vapor para producir electricidad. El método puede comprender almacenar temporalmente dicho gas de síntesis con un valor calórico alto y/o almacenar el gas de síntesis que tienen un valor calórico bajo en los depósitos de almacenamiento. De esta manera no solo se puede proporcionar un tampón de combustible puesto que el gas de un aparato de procesamiento por lotes no se produce a una tasa constante, sino también los recipientes de almacenamiento actúan como recipientes de mezcla puesto que, a diferencia de los sistemas de proceso constantes que tienden a tener una composición del gas de salida bastante consistente, la composición del gas de un sistema de procesamiento por lotes tiende a variar con el tiempo. 10 Mediante el uso de los recipientes de almacenamiento, las variaciones en la composición a lo largo del tiempo se igualan y un gas que tiene una composición más constante se puede proporcionar a la caldera/motor de gas.

15 El método comprende preferentemente además la limpieza de dicho gas de síntesis antes de su uso. Técnicas de filtrado y limpieza conocidas se pueden utilizar.

La supervisión del valor calórico del gas de síntesis producido puede comprender la supervisión de la composición del gas del gas de síntesis, en particular puede comprender la supervisión de uno o más del contenido de hidrógeno del gas de síntesis, del contenido de monóxido de carbono del gas de síntesis, y del contenido de metano del gas de síntesis. 20

El valor calórico del gas de síntesis en el umbral predeterminado puede estar en el intervalo de 0,0117-0,0293 KW/0,028 m<sup>3</sup> (40 a 100 BTU por pie cúbico). Además, puede estar en el intervalo de 0,0234-0,0293 KW/0,028 m<sup>3</sup> (80 a 100 BTU por pie cúbico). El valor calórico del gas de síntesis en el tercer umbral puede estar en el intervalo de 0,0586-0,0644 KW/0,028 m<sup>3</sup> (200 a 220 BTU por pie cúbico). 25

Se desvía el gas de síntesis, con un valor calórico bajo, hacia un quemador de una caldera para producir vapor puede comprender desviar el gas de síntesis a través de una primera trayectoria de flujo que conduce a una oxidador térmico, aguas arriba de un intercambiador de calor de la caldera, en el que el gas de síntesis se somete a una combustión creando de este modo un flujo de gas caliente sobre intercambiador de calor, y mantener el gas de síntesis a dicha temperatura elevada durante dicho tiempo de residencia; y se desvía dicho gas de síntesis, con un valor calórico alto, a un motor de gas puede comprender desviar el gas de síntesis a través de una segunda trayectoria de flujo a un motor de gas de síntesis, a través de un aparato de tratamiento térmico en el que la temperatura de dicho gas de síntesis se eleva y se mantiene a dicha temperatura elevada durante dicho tiempo de residencia. 30 35

El método puede comprender además proporcionar un circuito de recirculación que tiene un quemador en su interior y hacer recircular los gases calientes a través del horno de procesamiento por lotes y dicho circuito de recirculación para calentar dicho horno de procesamiento por lotes. 40

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un aparato para el procesamiento de materiales con un contenido orgánico que comprende: al menos un horno de procesamiento por lotes para calentar un lote de dicho material en una atmosfera de oxígeno reducido para gasificar al menos algo del contenido orgánico de dicho material para producir gas de síntesis: al menos un aparato de tratamiento térmico configurado para recibir gas de síntesis a partir de dicho horno de procesamiento por lotes y que tiene un medio de calentamiento asociado a el mismo, dicho aparato de tratamiento térmico configurado para elevar la temperatura de dicho gas de síntesis correspondiente durante un tiempo de residencia suficiente para descomponer térmicamente por cualquier hidrocarburo de cadena larga o compuesto orgánico volátil presentes en el gas de síntesis; al menos un medio de detección para detectar la composición del gas de síntesis producido y configurado para emitir una señal indicativa de su valor calórico; al menos un motor de gas de síntesis; una caldera; medios de válvula para dirigir el gas de síntesis al motor de gas de síntesis o a la caldera; y un controlador configurado para detectar cuando el valor calórico del gas de síntesis es inferior a un umbral predefinido y controlar dichos medios de válvula para dirigir el gas de síntesis, con un valor calórico bajo, hacia un quemador de dicha caldera para producir vapor; y detectar cuando el valor calórico del gas de síntesis excede dicho umbral predefinido y controlar dichos medios de válvula para dirigir dicho gas de síntesis, con un valor calórico alto, a dicho motor de gas para producir electricidad. 45 50 55

Como se entenderá, el aparato puede realizar el método del primer aspecto de la invención.

El umbral predeterminado puede comprender un primer umbral predeterminado y un segundo umbral predeterminado y el controlador se puede configurar para: detectar cuando el valor calórico del gas de síntesis es inferior a dicho primer umbral predefinido y controlar dichos medios de válvula para dirigir el gas de síntesis, con un valor calórico bajo, a dicho quemador de dicha caldera para producir vapor en un primer modo de operación; detectar cuando el valor calórico del gas de síntesis excede dicho primer umbral predefinido y controlar dichos medios de válvula para dirigir el gas de síntesis, con un valor calórico alto, a dicho motor de gas para producir electricidad en un segundo modo de operación; y detectar cuando el valor calórico del gas de síntesis cae por debajo de dicho segundo umbral y controlar dichos medios de válvula para dirigir el gas de síntesis, con un valor 60 65

calórico bajo, a dicho quemador de dicha caldera para producir vapor de agua en una tercera fase de operación.

El controlador se puede configurar además para detectar cuando el valor calórico del gas de síntesis excede un tercer umbral, mayor que dichos umbrales primero y segundo predeterminados, y controlar dichos medios de válvula para dirigir el gas de síntesis, que tiene un valor calórico muy alto, a un recipiente de almacenamiento.

Un intercambiador de calor se puede proporcionar aguas abajo del aparato de tratamiento térmico y estar configurado para extraer el calor desde dicho gas de síntesis para enfriar dicho gas de síntesis. El calor extraído se puede utilizar para producir vapor.

Un conducto se puede proporcionar para dirigir los gases de escape calientes de dicho motor de gas a un intercambiador de calor en la caldera para producir vapor.

El aparato puede tener una turbina, accionada por vapor, para producir electricidad. El aparato puede incluir un depósito de almacenamiento para almacenar temporalmente el gas de síntesis con un valor calórico alto y/o un depósito de almacenamiento para almacenar temporalmente el gas de síntesis con un valor calórico bajo.

Una unidad de limpieza para limpiar el gas de síntesis antes de su uso se puede proporcionar también.

El aparato puede comprender un analizador de gases para controlar la composición del gas del gas de síntesis para obtener una señal indicativa de su valor calórico.

El motor de gas puede comprender uno o más de un motor alternativo y una turbina de gas.

En una disposición, el aparato de tratamiento térmico puede incluir medios de válvula aguas abajo de dicho horno de procesamiento por lotes para desviar el gas de síntesis en una o más de una primera trayectoria de flujo que conduce a dicho motor de gas de síntesis y una segunda trayectoria de flujo que conduce a la caldera, y en el que el aparato de tratamiento térmico comprende un reactor térmico situado en la primera trayectoria aguas abajo del motor de gas de síntesis y un oxidador térmico situado en la segunda trayectoria de flujo aguas arriba de la caldera.

El reactor térmico se puede configurar para calentar el gas de síntesis sin combustión y en el que el oxidador térmico se configura para calentar el gas de síntesis para la combustión del mismo.

El aparato puede comprender además un circuito de recirculación para la recirculación de los gases calientes a través del horno de procesamiento por lotes sin pasar a través de dicho aparato de tratamiento térmico, comprendiendo además el aparato un quemador proporcionado en dicho circuito de recirculación para proporcionar un flujo de gas caliente a través de dicho horno de procesamiento por lotes.

A continuación se describirán las realizaciones específicas de la invención, a modo de ejemplo, en relación con los siguientes diagramas en los que.

La Figura 1 es un esquema de un aparato de proceso constante de la técnica anterior que muestra la calidad del gas de los gases emitidos a medida que el material se hace pasar a través del mismo.

La Figura 2 es un gráfico de CV frente al tiempo para un aparato de procesamiento por lotes del tipo que se puede utilizar con la invención;

La Figura 3 es un diagrama de flujo del método de la presente invención;

La Figura 4 es un diagrama de un aparato de la presente invención;

La Figura 5 es un diagrama de un aparato adicional de la presente invención; y

La Figura 6 es un diagrama de un aparato adicional de la invención.

Haciendo referencia a la Figura 1, un diagrama esquemático de una cámara de alimentación continua y de tratamiento-procesamiento 2 como se conoce en la técnica anterior se muestra. La cámara podría ser un horno de secado giratorio, donde los residuos 8 se mueven a medida que giran en su interior por la gravedad, o una cámara fija, donde los residuos 8, se mueven por la acción de parrillas móviles (parrillas escalonadas). La cámara tiene una entrada de residuos 4 a través de la que un suministro constante de residuos a tratar entra en la cámara, y una salida de residuos 6 a través de la que los residuos residuales (escorias, contaminantes inertes, metales, etc.) que son completamente procesados salen de la cámara. Aunque no se muestra, se apreciará que la entrada 4 y la salida 6 se configuran de manera conocida para minimizar la cantidad de aire que puede entrar con los residuos o entrar a través de la salida 6 de la cámara. Los residuos 8 se transportan a través de la cámara y se gasifican. Un suministro de gas caliente despojado de oxígeno entra en la cámara a través de la entrada de gas 10 y sale de la cámara por la salida de gas 12. Durante una fase inicial del procesamiento, los residuos 8 se calientan por el gas caliente y la

humedad se evapora, Durante esta etapa ("A") hay poca gasificación y como se puede observar en el gráfico 14, que muestra el CV del gas de síntesis (gas sintético) emitido desde los residuos en distintos puntos en el espacio a lo largo de la cámara. Una vez que la humedad se ha expulsado en gran medida, la temperatura de los residuos comienza a aumentar y la gasificación del contenido orgánico de los mismos comienza. Durante esta etapa ("B") hay un aumento en el valor calórico del gas de síntesis producido. El valor calórico del gas de síntesis continúa aumentando a medida que más monóxido de carbono e hidrógeno se liberan y forman mesetas de la región "C". Hacia la salida 6 de la cámara de procesamiento 2 puesto que la mayoría del material que se ha procesado, el CV del gas de síntesis en libertad comienza a caer ("D").

Como en el aparato de procesamiento y alimentación continua de residuos, tal como el que muestra que los gases calientes que accionan el proceso pasan a través de toda la cámara de procesamiento, los gases emitidos de los residuos 8 en diferentes puntos a lo largo de la cámara se atrapan en un único flujo de gas de salida y se mezclan. El resultado es que la salida de gas de síntesis, aunque tiene un flujo másico y valor calórico relativamente constante, tiene un alto contenido de humedad y un CV bajo como el CV del gas de síntesis será el promedio del CV de los gases liberados a lo largo de la longitud de la cámara de procesamiento. Esta salida de gas de síntesis combinada no tiene suficiente CV para utilizarse directamente en un motor de gas de síntesis. Este es especialmente el caso de los residuos de CV bajo con alto contenido de humedad.

Haciendo referencia a la Figura 2, un gráfico de CV frente al tiempo para un horno de procesamiento por lotes, como se utiliza con la presente invención se muestra. El horno puede ser un horno de procesamiento por lotes giratorio como se describe en la solicitud de patente internacional WO 2006/100512, como se puede observar el CV de la salida de gas de síntesis procedente del horno de procesamiento por lotes cambia en el tiempo de manera similar a los cambios de salida de la cámara de proceso continuo en el espacio. Sin embargo, puesto que el gas de síntesis generado en la cámara de procesamiento por lotes está abandonando continuamente la cámara de procesamiento, a continuación, el CV del gas de síntesis que sale de la cámara será el CV real del gas de síntesis en cualquier punto de tiempo (como en la Figura 2), y debido a que no se mezcla con la salida de gas de síntesis del proceso en diferentes puntos en el tiempo. El CV del gas de síntesis saliente es como se muestra en el gráfico para el tiempo específico, y no se promedia a través del ciclo. Como se puede observar, la salida de gas de síntesis se divide en tres fases distintas, una primera fase en la que el CV es bajo, una segunda etapa en la que el CV es alto, y una tercera etapa en la que el CV es de nuevo bajo, el tiempo que se muestra en la figura aquí es, a modo de ejemplo, de 120 minutos, pero podría un tiempo de procesamiento más pequeño o más alto.

Haciendo referencia a las Figuras 3 y 4, se muestra un diagrama esquemático del método de la invención.

Un lote de residuos "E" con un contenido orgánico se coloca en un aparato de gasificación de procesamiento por lotes 16 que puede, por ejemplo, ser similar al horno giratorio divulgado en el documento WO 2006/100512. El horno es cerrado y el gas con un bajo contenido de oxígeno se hace circular a través del mismo para calentar el material en su interior hasta una temperatura efectiva para su gasificación. La temperatura de gasificación puede variar dependiendo de los parámetros del proceso, pero estará normalmente por encima de 500 °C y el contenido de oxígeno estará por debajo del 3 %, preferentemente por debajo del 1 % del caudal volumétrico.

A medida que el proceso se inicia ocurrirá alguna gasificación, pero la mayor parte del calor se utiliza en la evaporación del contenido de humedad de los residuos. El gas de síntesis producido en este punto tiene un valor calórico bajo (Fase 1, Figura 2).

Después de salir de la cámara de procesamiento, el gas entra en un aparato de tratamiento térmico 18 en el que se eleva la temperatura hasta la región de 1100 °C, el gas se mantiene en el aparato de tratamiento térmico a esta temperatura durante un tiempo de residencia suficiente para que los hidrocarburos de cadena larga y compuestos orgánicos volátiles en el gas se descompongan en hidrocarburos de cadena corta (por ejemplo, CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono e hidrógeno. Contrariamente al sistema divulgado en el documento WO 2006/100512, el gas de síntesis no se quema en el aparato de tratamiento térmico. El aparato incluye un quemador pero solo es provisto de una relación estequiométrica de combustible a oxígeno de tal manera que no hay exceso de oxígeno para permitir que el gas de síntesis que entra en el aparato de tratamiento procedente del horno se someta a una combustión.

Después de salir de la cámara de tratamiento térmico 18 los gases se hacen pasar a través de un intercambiador de calor 20 para enfriarlos. Esto tiene dos finalidades, en primer lugar se recupera calor del gas de síntesis que se puede alimentar a la caldera y en segundo lugar enfría el gas de síntesis para que las partes aguas abajo del sistema puedan tener un índice de temperatura más bajo lo que simplifica y reduce el coste del sistema. El intercambiador de calor 20 puede tener un fluido circulante, que intercambia calor con la caldera 22 para calentar el agua en su interior para producir vapor, o como alternativa, el intercambiador de calor 20 puede crear directamente vapor, actuando efectivamente como una caldera secundaria.

El gas de síntesis enfriado se hace pasar a continuación a través de una unidad de limpieza 24 para eliminar cualquier materia particulada u otros contaminantes arrastrados en su interior. Esto se hace mediante el uso de técnicas conocidas que serán evidentes para el experto en la materia.

El gas de síntesis limpio se supervisa para determinar su CV, o una indicación de su CV. Como se apreciará, la supervisión se puede realizar aguas arriba de la unidad de limpieza 24, pero se realiza preferentemente aguas abajo de modo que los contaminantes en el gas de síntesis no interfieren con o degradan los sensores a lo largo del tiempo. El CV se supervisa preferentemente mediante la medición de uno o más del contenido de CO, contenido de H<sub>2</sub> y el contenido de CH<sub>4</sub> del gas de síntesis, por ejemplo con un analizador de gas en línea 26, y la producción de una señal indicativa del CV del mismo.

Un controlador 28 recibe las señales indicativas del CV del gas que está siendo producido y controla las válvulas 30, 32. En la fase inicial de la operación, cuando el nivel de CV es bajo y el contenido de humedad es alto el controlador cierra la válvula 30 y abre la válvula 32 para dirigir el gas en un depósito de gas de CV bajo 34. El gas de este depósito se alimenta a través de una disposición de válvulas (omitida para mayor claridad) al quemador de una caldera 22 donde se quema. El agua dentro de la caldera se calienta por el gas de síntesis en que se quema, y por el calor extraído del intercambio de calor 20 y produce vapor que se utiliza para accionar una turbina de vapor 36 para producir electricidad "H".

A medida que el material en la cámara continúa siendo procesado, la humedad se evaporará y más material comenzará a gasificarse. El CV del gas de síntesis liberado comenzará a aumentar. El controlador 28 que recibe la señal indicativa del CV supervisa la señal y, una vez que se alcanza un umbral predefinido que está en la región de 0,0117-0,0351 KW/0,028 m<sup>3</sup> (40 a 120 BTU por pie cúbico) (preferentemente 0,0234-0,0293 KW/0,028 m<sup>3</sup> (80 – 100 BTU por pie cúbico)), el controlador 28 acciona las válvulas para cerrar la válvula 32 y abrir la válvula 30 de manera que el gas de síntesis que tiene un CV por encima del umbral se dirige en un depósito de gas de CV alto 38. El gas del depósito 38 se alimenta, a través de un sistema de válvulas (omitido para mayor claridad) al motor de gas 40. El motor de gas 40 puede ser un único motor de gas o pueden ser múltiples motores de gas de diferentes tipos, por ejemplo, una turbina de gas y un motor de gas de movimiento alternativo se pueden proporcionar. El gas de síntesis proporciona combustible al motor de gas 40 para producir electricidad "F". Puesto que la energía para la eficacia de transformación de potencia para los motores de gas de síntesis excede normalmente el 33 %, a menudo aproximadamente el 38 %, y, puesto que la energía para la eficacia de transformación de potencia para la caldera/turbina de vapor es normalmente del 18-24 por ciento, al cambiar tan pronto como se consigue la calidad de gas requerida, es decir, el CV suficiente, la eficacia global del proceso se mejora en gran medida.

El motor o motores de gas de síntesis 40 producirán gas de escape caliente como un subproducto de la transformación de energía en su interior y este se introduce en un intercambiador de calor en la caldera 22 para recuperar el calor de los mismos y ayudar en la generación de vapor.

El gas de combustión "G" de la caldera se puede tratar de cualquier manera conocida antes de ser liberado a la atmósfera, si es necesario.

A medida que el lote de material se acerca al final de su ciclo de procesamiento, la cantidad de monóxido de carbono, hidrógeno y otros hidrocarburos altos en el gas de síntesis que se libera del mismo comenzará a caer y el CV del gas de síntesis que sale de la cámara de procesamiento comenzará a caer. Una vez que el controlador 28 detecta que el CV ha caído por debajo de un umbral predefinido, que será el mismo o muy similar al umbral utilizado en la subida de CV, el controlador activa de nuevo las válvulas 30, 32 para de nuevo dirigir el gas de síntesis, que tienen el CV más bajo que ya no es de suficiente calidad para su uso en el motor de gas de síntesis 40, hasta el depósito de gas de CV bajo 34.

Como se entenderá a partir de los diagramas, debido al calor extraído del enfriamiento del gas de síntesis y al calor extraído de los escapes de los motores de gas de síntesis, incluso cuando el gas de síntesis no está siendo dirigido al depósito de CV bajo 34, el vapor seguirá siendo producido y accionando la turbina de vapor 36.

Como también se apreciará, durante la producción de gas de CV bajo en las fases 1 y 3 (Figura 2) y durante la producción de gas de CV alto en la fase 2, el CV y el contenido de humedad del gas de síntesis producido no es constante. Los depósitos 34, 38 proporcionan recipientes de tampón en los que los gases que se producen se pueden mezclar entre sí de modo que el gas extraído del mismo tenga un CV más consistente que el gas de síntesis que entra en los depósitos 34, 38. Además, los depósitos se dimensionan preferentemente de manera que pueden proporcionar un tampón suficiente de gas de síntesis de cada calidad para que el motor de gas y la caldera puedan funcionar de forma continua, independientemente de cuál depósito de gas de síntesis esté siendo dirigido en un instante dado en el tiempo.

Haciendo referencia a la Figura 5, además de lo anterior una característica adicional de la invención es la capacidad que tiene el controlador 28 de controlar el CV del gas de síntesis que se produce y si excede un tercer umbral, más alto, por ejemplo, el KW (BTU) excede un umbral en la región de 0,0586 - 0,0644 KW/0,028 m<sup>3</sup> (200-220 BTU por pie cúbico), los controles del controlador cierran ambas válvulas 30 y 32 y abren la válvula 42 para dirigir el gas de síntesis que tiene el CV más alto a un recipiente de almacenamiento 44. Este gas de síntesis se puede utilizar en otros procesos y no se utiliza directamente en la producción de electricidad a través de la caldera o motor de gas de síntesis.

Haciendo referencia a la Figura 6 se muestra un aparato adicional de la invención. En este aparato, el aparato de procesamiento por lotes 16 tiene un conducto 46 que forma un circuito de recirculación a través de un quemador 48 que puede ser un quemador de oxígeno. Una válvula 50 puede desviar selectivamente el flujo de gas desde el aparato de procesamiento 16 a través del circuito de recirculación. En la puesta en marcha, esto puede ayudar a aumentar rápidamente la temperatura en el aparato 16. Al mantener un pequeño circuito de recirculación las pérdidas de calor se pueden minimizar y una rápida subida de temperatura se puede lograr.

Aguas abajo de la válvula 50, la trayectoria de flujo de los gases que salen del aparato de procesamiento 16 se divide. Una trayectoria de flujo conduce a un oxidador térmico 18A y la otra conduce a una unidad de craqueo térmico 18B, el oxidador térmico y la unidad de craqueo térmico forman entre sí un aparato de tratamiento térmico. Considerando primero la trayectoria de flujo a través del oxidador térmico 18A, esta es la primera trayectoria de flujo a través de la que se harán pasar los gases que salen del aparato de procesamiento 18.

En oxidador térmico 18A, un quemador quema los gases que entran en el oxidador en presencia de oxígeno (por ejemplo aire), a fin de producir un flujo de gases de combustión caliente. Estos gases se hacen pasar por encima de un intercambiador de calor 52 que produce vapor para accionar una turbina de vapor 36 conectada a un generador 54 que produce electricidad. El oxidador térmico 18A y el intercambiador de calor 52 forman juntos la caldera 22. Un desaireador 56 y un condensador 58 están provistos en el circuito de condensador para condensar el vapor después de que ha pasado a través de la turbina de vapor. Después de pasar sobre el intercambiador de calor 52, los gases de combustión, que luego se han enfriado, se hacen pasar a través de purificadores, que pueden incluir cualquier tecnología de limpieza de aire adecuada conocida en la técnica, por ejemplo filtros de mangas 68 antes de ventilarse a la atmósfera a través de una pila de combustión 60.

A medida que el lote de material procesado entra en la fase II (Figura 2), el valor calórico del gas se incrementa. A medida que el valor calórico del gas aumenta, la capacidad del oxidador térmico 18A será alcanzada y estará en peligro de sobrecalentamiento. Para evitar esto, la válvula 62 se puede abrir lo que permite que al menos una parte del gas pase a la unidad de craqueo 18B donde se calienta, en ausencia de oxígeno, y manteniendo una temperatura elevada durante un tiempo suficiente con el fin de destruir cualquier VOC e hidrocarburos de cadena larga en su interior. Los gases se hacen pasar después fuera de la unidad de craqueo térmico 18B y pasan a través de un enfriador 64 y un intercambiador de calor 20 para reducir la temperatura de los gases. El intercambiador de calor 20 se puede conectar al intercambiador de calor de la caldera 22 y la turbina 38 para aumentar la temperatura del vapor que acciona la turbina. Después del intercambiador de calor 20, el gas de síntesis enfriado se hace pasar a través de una unidad de limpieza 24, por ejemplo un sistema lavador Venturi, y un sistema lavador de gases 66. El gas está entonces listo para pasar al almacenamiento de gas 38. Una pluralidad de motores de gas de síntesis 40 se proporciona aguas abajo del depósito de gas, en el que el gas de síntesis del depósito 36 se transforma en energía eléctrica mediante el uso de los motores de gas de síntesis para accionar un generador.

Mediante el uso de este método, la caldera puede funcionar constantemente a través del ciclo y durante el ciclo máximo (fase II), donde la capacidad del oxidador térmico/caldera no es suficiente para manejar la energía de todo el gas que se produce (debido al aumento de su volumen y/o CV), al menos una parte del gas se puede desviar a través de la unidad de craqueo térmico, limpiarse y almacenarse en el depósito 36. Este se puede utilizar para accionar los motores de gas de síntesis 40. El tampón creado por el recipiente de almacenamiento 38 permite una operación relativamente constante de los motores de gas de síntesis con independencia de la producción cíclica de gas. Además mediante la constante utilización del oxidador térmico y de la caldera, la turbina de vapor se puede hacer funcionar en condiciones relativamente constantes. Cuando la producción de gas por el aparato de procesamiento 16 se desacelera y el CV disminuye, la válvula 52 se puede operar para reducir y/o detener el flujo de gas al aparato de craqueo térmico 18B. Sin embargo, debido al tampón de gas en el recipiente de almacenamiento de gas de síntesis, el motor se puede hacer funcionar todavía.

Una ventaja específica de esta realización es que el aparato de tratamiento térmico se separa en un oxidador térmico en una unidad de craqueo térmico, lo que divide la carga máxima entre los mismos. Por lo tanto, cuando no está funcionando a la capacidad máxima, que es durante una gran parte del ciclo, solo se utiliza el oxidador térmico. Como tal el oxidador térmico de este tipo se diseña para satisfacer una capacidad reducida, y por lo tanto es más pequeño, y como tal funciona más eficazmente debido a su mayor utilización. Por consiguiente, el tamaño del oxidador térmico se diseña para la eficacia de la mayoría del ciclo, en comparación con la producción máxima de gas.

## REIVINDICACIONES

1. Un método de procesamiento de material (E) con un contenido orgánico, que comprende:

5 calentar un lote de dicho material en un aparato de procesamiento por lotes (16) que tiene una atmósfera de oxígeno reducido para gasificar al menos algo del contenido orgánico con el fin de producir gas de síntesis; elevar la temperatura de dicho gas de síntesis y mantener el gas de síntesis a dicha temperatura elevada durante un tiempo de residencia suficiente como para descomponer térmicamente cualquier hidrocarburo de cadena larga o compuesto orgánico volátil en su interior;

10 supervisar el valor calórico del gas de síntesis producido, cuando el valor calórico del gas de síntesis es inferior a un umbral predefinido, desviar el gas de síntesis, con un valor calórico bajo, hacia un quemador de una caldera (22) para producir vapor; y cuando el valor calórico del gas de síntesis excede dicho umbral predefinido, desviar dicho gas de síntesis, con un valor calórico alto, hacia un motor de gas (40) para producir electricidad.

15 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende además un primer umbral predefinido y un segundo umbral predefinido y, en donde:

20 cuando el valor calórico del gas de síntesis es inferior a dicho primer umbral predefinido, se desvía el gas de síntesis, con un valor calórico bajo, hacia un quemador de una caldera (22) para producir vapor en un primer modo de operación; cuando el valor calórico del gas de síntesis excede dicho primer umbral predefinido, se desvía dicho gas de síntesis, con un valor calórico alto, hacia un motor de gas (40) para producir electricidad en un segundo modo de operación; y

25 cuando el valor calórico del gas de síntesis cae por debajo de un segundo umbral, se desvía el gas de síntesis, con un valor calórico bajo, hacia un quemador de una caldera (22) para producir vapor en una tercera fase de operación y, opcionalmente, en donde los umbrales primero y segundo tienen el mismo valor.

30 3. El método de acuerdo con la reivindicación 2 que comprende además:

cuando el valor calórico del gas de síntesis excede un tercer umbral, mayor que dichos umbrales primero y segundo predeterminados, desviar dicho gas de síntesis, que tiene un valor calórico muy alto, hacia un recipiente de almacenamiento (44).

35 4. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además almacenar temporalmente dicho gas de síntesis con un valor calórico alto en un depósito de almacenamiento (38) y/o almacenar temporalmente dicho gas de síntesis con un valor calórico bajo en un depósito de almacenamiento (34).

40 5. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la supervisión del valor calórico del gas de síntesis producido comprende la supervisión de la composición de gas del gas de síntesis, opcionalmente en el que la supervisión de la composición del gas del gas de síntesis comprende la supervisión de uno o más del contenido de hidrógeno del gas de síntesis, del contenido de monóxido de carbono del gas de síntesis y del contenido de metano del gas de síntesis.

45 6. El método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el valor calórico del gas de síntesis en el umbral predeterminado está en el intervalo de 0,0117-0,0239 KW/0,028 m<sup>3</sup> (40 a 100 BTU por pie cúbico) y/o, en donde el valor calórico del gas de síntesis en el tercer umbral está en el intervalo de 0,0586-0,0644 KW/0,028 m<sup>3</sup> (200 a 220 BTU por pie cúbico).

50 7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que:

desviar el gas de síntesis, con un valor calórico bajo, hacia un quemador de una caldera (22) para producir vapor comprende desviar el gas de síntesis a través de una primera trayectoria de flujo que conduce a un oxidador térmico (18A), aguas arriba de un intercambiador de calor de la caldera (52), en donde el gas de síntesis se somete a combustión creando de ese modo un flujo de gas caliente sobre el intercambiador de calor (52) y

55 mantener el gas de síntesis a dicha temperatura elevada durante dicho tiempo de residencia; y en donde desviar dicho gas de síntesis, con un valor calórico alto, a un motor de gas (40) comprende desviar el gas de síntesis a través de una segunda trayectoria de flujo hasta un motor de gas, a través de un aparato de tratamiento térmico (18B), siendo la temperatura de dicho gas de síntesis elevada y manteniéndose a dicha temperatura elevada durante dicho tiempo de residencia.

60

8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además proporcionar un circuito de recirculación (46) que tiene un quemador (48) en su interior y hacer recircular gases calientes a través del horno de procesamiento por lotes (16) y dicho circuito de recirculación (46) para calentar dicho horno de procesamiento por lotes (16).

65

9. Un aparato para el procesamiento de material (E) con un contenido orgánico que comprende:

al menos un horno de procesamiento por lotes (16), configurado para calentar un lote de dicho material en una atmósfera de oxígeno reducido, para gasificar al menos algo del contenido orgánico de dicho material con el fin de producir gas de síntesis;

al menos un aparato de tratamiento térmico (18) configurado para recibir el gas de síntesis de dicho horno de procesamiento por lotes (16) y con un medio de calentamiento asociado al mismo, estando dicho aparato de tratamiento térmico (18) configurado para elevar la temperatura de dicho gas de síntesis en su interior durante un tiempo de residencia suficiente como para descomponer térmicamente cualquier hidrocarburo de cadena larga o compuesto orgánico volátil presente en el gas de síntesis;

al menos un medio de detección (26) para detectar la composición del gas de síntesis producido y configurado para emitir una señal indicativa de su valor calórico,

al menos un motor de gas (40);

una caldera (22);

medios de válvula (30, 32) para dirigir el gas de síntesis al motor de gas o la caldera; y

un controlador (28) configurado para:

detectar cuando el valor calórico del gas de síntesis es inferior a un umbral predefinido y controlar dichos medios de válvula (30, 32) para dirigir el gas de síntesis, con un valor calórico bajo, hacia un quemador de dicha caldera (22) con el fin de producir vapor; y

detectar cuándo el valor calórico del gas de síntesis excede dicho umbral predefinido y controlar dichos medios de válvula (30, 32) para dirigir dicho gas de síntesis, con un valor calórico alto, a dicho motor de gas (40) para producir electricidad.

10. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 9, en el que dicho umbral predeterminado comprende un primer umbral predeterminado y un segundo umbral predeterminado y en el que el controlador (28) está configurado para detectar cuándo el valor calórico del gas de síntesis es inferior a dicho primer umbral predefinido y controlar dichos medios de válvula (30, 32) para dirigir el gas de síntesis, con un valor calórico bajo, hacia dicho quemador de dicha caldera (22) para producir vapor en un primer modo de operación;

detectar cuándo el valor calórico del gas de síntesis excede dicho primer umbral predefinido y controlar dichos medios de válvula (30, 32) para dirigir el gas de síntesis, con un valor calórico alto, hacia dicho motor de gas (40) para producir electricidad en un segundo modo de operación; y

detectar cuándo el valor calórico del gas de síntesis cae por debajo de dicho segundo umbral y controlar dichos medios de válvula (30, 32) para dirigir el gas de síntesis, con un valor calórico bajo, hacia dicho quemador de dicha caldera (22) con el fin de producir vapor en una tercera fase de operación.

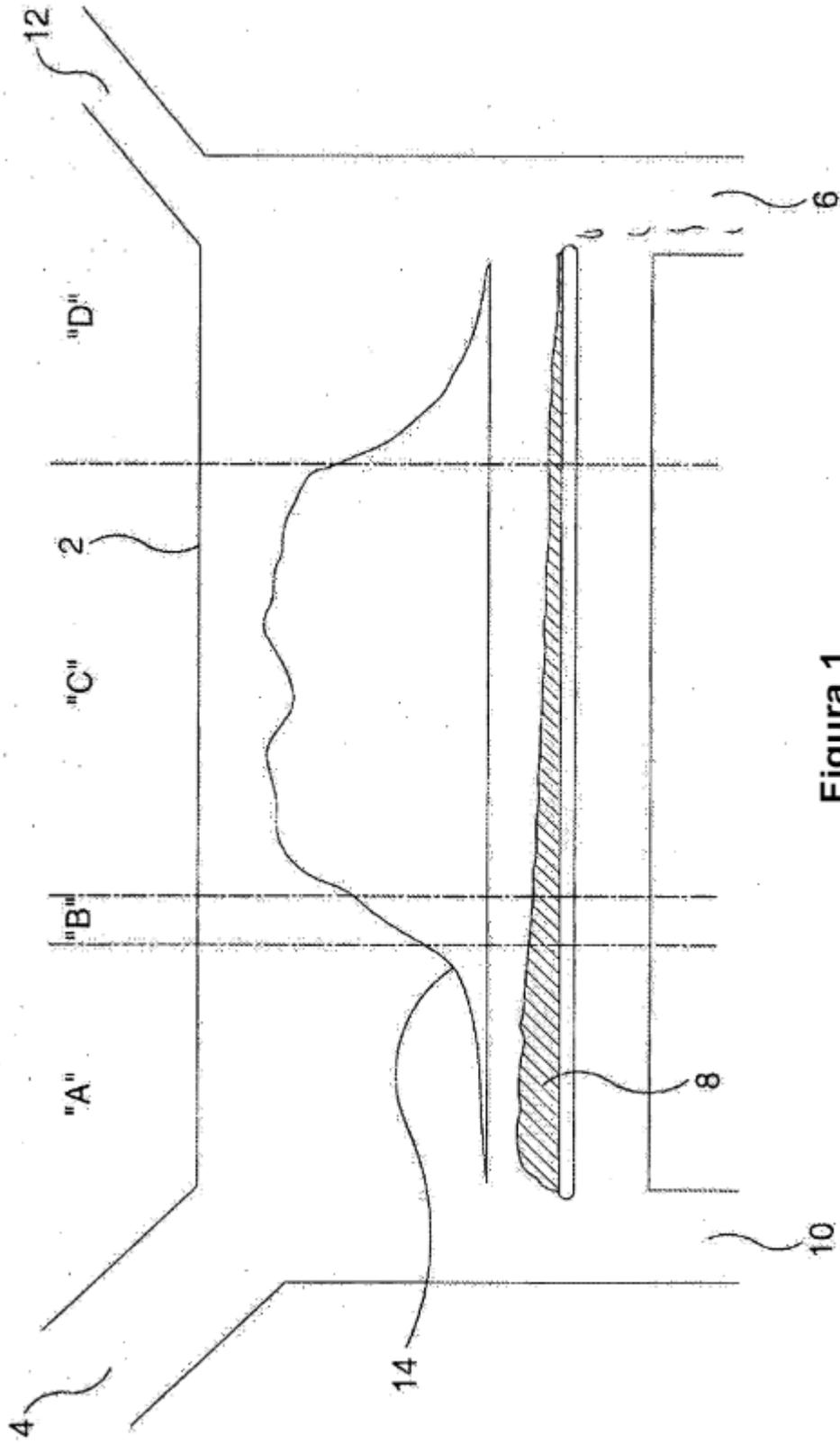
11. El aparato de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el controlador (28) está además configurado para detectar cuándo el valor calórico del gas de síntesis excede un tercer umbral, mayor que dichos umbrales primero y segundo predeterminados, y controlar dichos medios de válvula (30, 32) para dirigir el gas de síntesis, que tiene un valor calórico muy alto, hacia un recipiente de almacenamiento (44).

12. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, que comprende además un depósito de almacenamiento (38) para almacenar temporalmente dicho gas de síntesis con un valor calórico alto y/o un depósito de almacenamiento (34) para almacenar temporalmente dicho gas de síntesis con un valor calórico bajo.

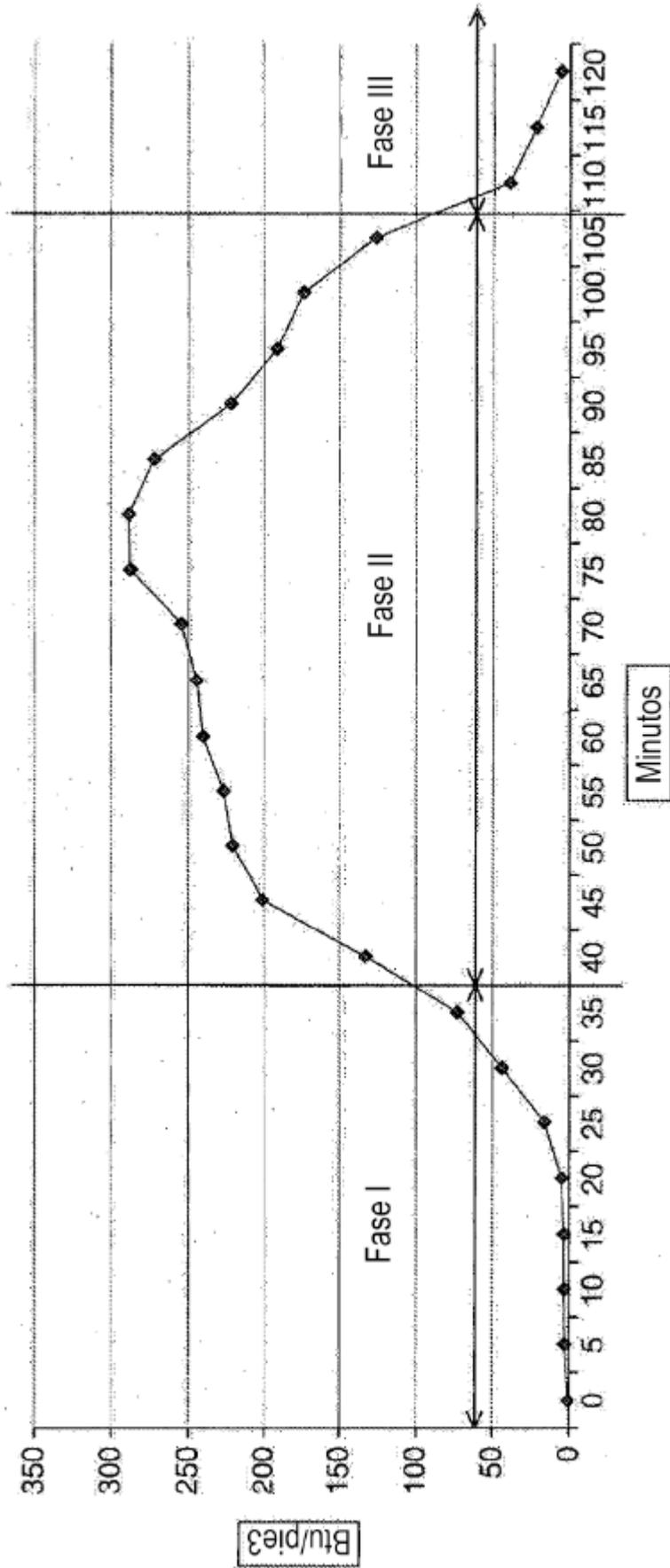
13. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, que comprende además un analizador de gases (26) para supervisar la composición de gas del gas de síntesis con el fin de obtener una señal indicativa de su valor calórico.

14. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en donde el aparato de tratamiento térmico (18) incluye medios de válvula (62), aguas abajo de dicho horno de procesamiento por lotes (16), para desviar el gas de síntesis en una o más de una primera trayectoria de flujo que conduce a dicho motor de gas (40) y una segunda trayectoria de flujo que conduce a la caldera (22), y en donde el aparato de tratamiento térmico (18) comprende un reactor térmico (18B) situado en la primera trayectoria de flujo aguas arriba del motor de gas y un oxidador térmico (18A) situado en la segunda trayectoria de flujo aguas arriba de la caldera (22) y, opcionalmente, estando dicho reactor térmico (18B) configurado para calentar el gas de síntesis sin combustión y estando configurado el oxidador térmico (18A) para calentar el gas de síntesis con el fin de someterlo a combustión.

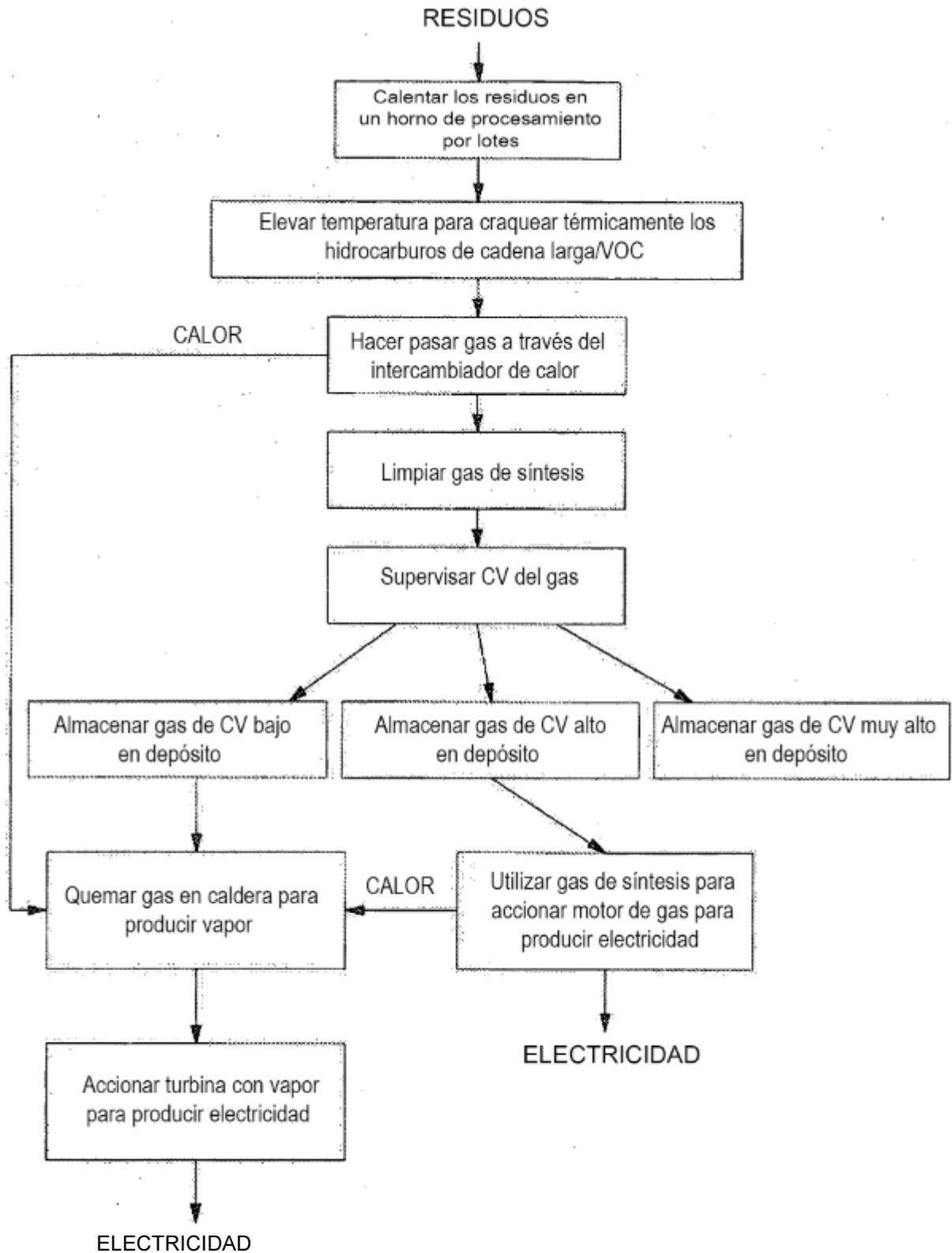
15. El aparato de acuerdo con la reivindicación 14, que comprende además un circuito de recirculación (46) para hacer recircular los gases calientes a través del horno de procesamiento por lotes (16) sin pasar a través de dicho aparato de tratamiento térmico (18), comprendiendo además el aparato un quemador (48), proporcionado en dicho circuito de recirculación (46), para proporcionar un flujo de gas caliente a través de dicho horno de procesamiento por lotes (16).



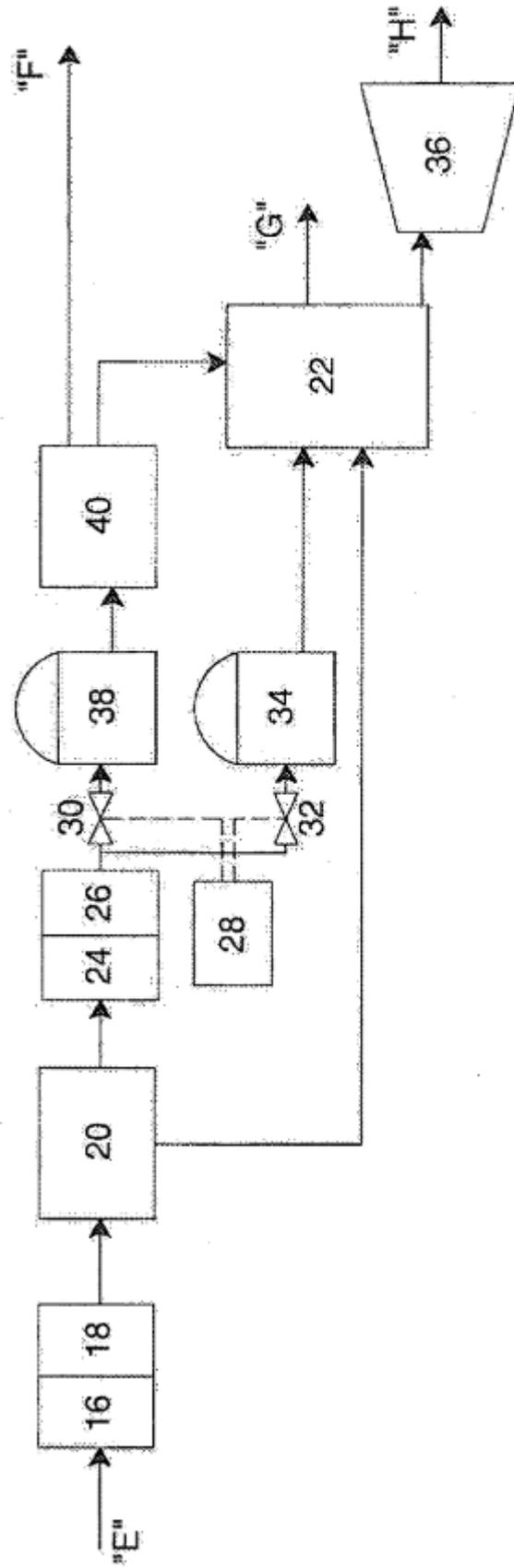
**Figura 1**



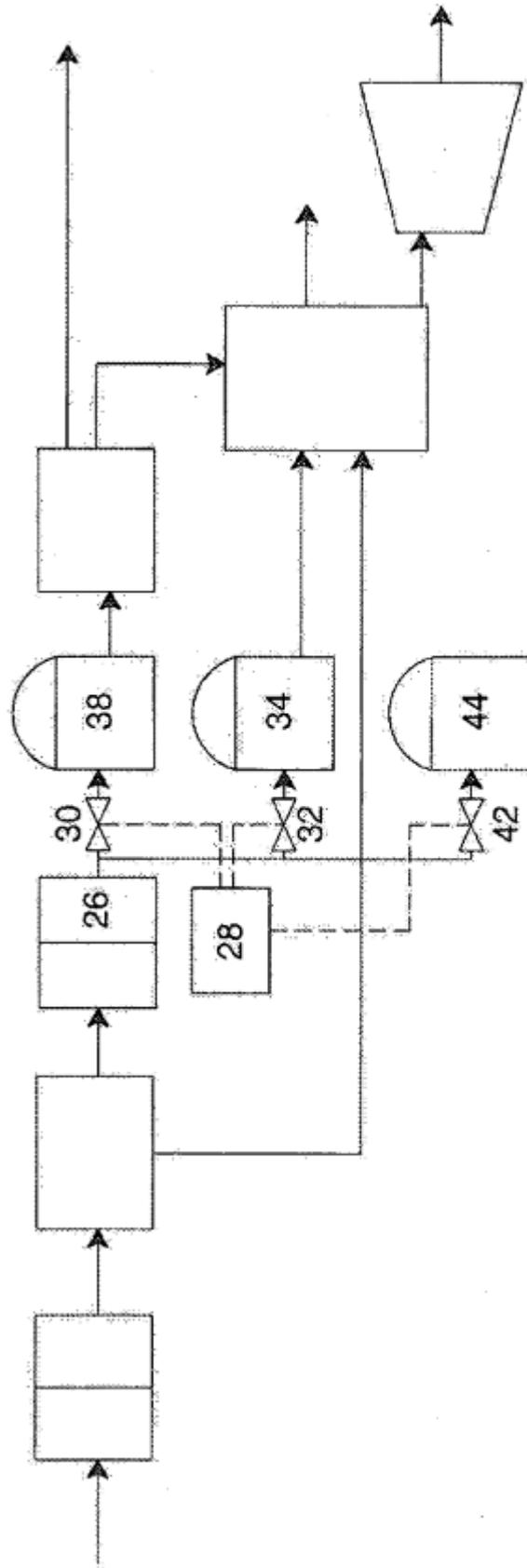
**Figura 2**



**Figura 3**



**Figura 4**



**Figura 5**

