

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 758 543**

51 Int. Cl.:

C10J 3/66	(2006.01)
C07C 29/151	(2006.01)
C10G 2/00	(2006.01)
F01K 23/06	(2006.01)
F02C 3/28	(2006.01)
F23J 15/06	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.11.2010 PCT/EP2010/067847**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.05.2011 WO11061299**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2010 E 10777041 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.08.2019 EP 2501786**

54 Título: **Aprovechamiento termoquímico de materiales carbonosos, en particular para la generación de energía sin emisiones**

30 Prioridad:

20.11.2009 EP 09176684
22.01.2010 EP 10151481
22.01.2010 EP 10151473
23.02.2010 EP 10154449

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.05.2020

73 Titular/es:

RV LIZENZ AG (100.0%)
Alte Steinhauserstrasse 1
6330 Cham, CH

72 Inventor/es:

RÜDLINGER, MIKAEL

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 758 543 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

Aprovechamiento termoquímico de materiales carbonosos, en particular para la generación de energía sin emisiones

5 **Ámbito técnico**

La invención se refiere a procedimientos y dispositivos para la generación de energía sin emisiones mediante procesamiento y aprovechamiento térmico-químico de materiales y mezclas carbonosos sólidos, líquidos y gaseosos, en particular residuos, biomasa, carbón y otros materiales heterogéneos. Además, la invención se refiere a dispositivos para generar energía eléctrica y mecánica y procedimientos correspondientes, así como a la producción de hidrocarburos sintéticos, y su uso en dichos dispositivos.

Estado de la técnica

15 Desde hace tiempo se sabe que las emisiones, particularmente las emisiones de dióxido de carbono, tienen un impacto muy negativo en el equilibrio climático de la Tierra y contribuyen en gran medida al calentamiento global provocado por el hombre. Por lo tanto, es altamente deseable evitar las emisiones de dióxido de carbono, particularmente en la generación de energía a partir de materiales carbonosos, como desechos, biomasa y combustibles fósiles.

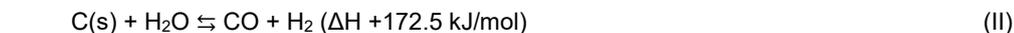
20 Cuando se utilizan materiales carbonosos como materiales de trabajo para centrales eléctricas convencionales, el dióxido de carbono es un subproducto inevitable de la producción de energía. Con un esfuerzo energético y/o económico razonable, generalmente no es posible una separación del dióxido de carbono de los gases de combustión resultantes.

25 Para la gran industria, se prueban sistemas donde el dióxido de carbono se almacena, por ejemplo, en solventes a base de amina o se almacena comprimido. Sin embargo, dichos sistemas son costosos y complicados.

30 Las fuentes de energía sin emisiones de dióxido de carbono como, por ejemplo, la energía solar, eólica, hidroeléctrica y nuclear presentan otros problemas. Las instalaciones más nuevas para el uso de fuentes de energía alternativas como la energía eólica, la energía solar y la biomasa presentan muy poca capacidad para satisfacer la creciente demanda de energía. Además, las fuentes de energía dependientes del clima a menudo no pueden garantizar incondicionalmente las capacidades de rendimiento necesarias. Las plantas para la producción de energía de baja emisión, eficiente, flexible y fácilmente escalable, especialmente de energía eléctrica, son, por lo tanto, objeto de importantes esfuerzos de investigación.

40 Se conocen varios tipos de procedimientos e instalaciones del estado de la técnica con los que se pueden producir mezclas de gases a partir de materiales sólidos, líquidos y gaseosos carbonosos que luego se usan como el llamado gas de síntesis para síntesis química. Los gases de síntesis de monóxido de carbono e hidrógeno se utilizan, por ejemplo, para la síntesis industrial de metanol en fase líquida o para la síntesis de Fischer-Tropsch para la producción de hidrocarburos y otros materiales orgánicos. Alternativamente, dichos gases de síntesis también se utilizan para generar energía, por ejemplo, como combustible para el funcionamiento de motores térmicos.

45 Para la producción de gases de síntesis de hidrógeno de monóxido de carbono a partir de carbono sólido, este se gasifica con la ayuda de oxígeno, dióxido de carbono o agua para producir gas de síntesis:



55 La relación entre el monóxido de carbono y el hidrógeno viene dada por la llamada reacción de desplazamiento de gas de agua IV:



60 La energía térmica necesaria para el procedimiento de las reacciones endotérmicas I y II puede originarse, por ejemplo, de una combustión parcial del carbono sólido en la reacción III, o suministrarse externamente.

65 En un tipo de procedimientos conocido para la producción de gas de síntesis o de un combustible gaseoso correspondiente, está presente el carbono sólido para las reacciones de gasificación en forma de coque. Este a su vez se genera en una etapa previa del procedimiento por pirólisis de carbón u otros materiales carbonosos. Los gases de pirólisis resultantes de la pirólisis se queman, y los gases de combustión calientes que contienen dióxido de carbono sirven como un agente de gasificación para el coque, y también como un proveedor externo de energía térmica.

En otro tipo de procedimiento, el coque se gasifica con la adición de aire/oxígeno, generando la energía térmica principalmente por la combustión parcial del carbono del coque. El gas de pirólisis de una etapa de pirólisis anterior se mezcla a continuación en el gas de síntesis caliente, donde es craqueado, de modo que se forma una mezcla de gas combustible libre de alquitrán.

Los procedimientos conocidos para la producción de gas de síntesis están diseñados y optimizados para producir gas de síntesis de carbón fósil más económico para la industria química, por ejemplo, para la producción de combustible líquido y otros productos finales de alta calidad. En estos procedimientos, una parte del material de partida se quema para producir energía, de modo que al producir productos finales de alta calidad se obtienen grandes cantidades inutilizables de dióxido de carbono. Debido al calentamiento global provocado por el hombre, estos procedimientos ineficientes son cada vez menos aceptables en la actualidad.

Otros procedimientos están diseñados principalmente para producir un combustible gaseoso más fácilmente manejable a partir de materiales sólidos carbonosos como, por ejemplo, carbón fósil, biomasa o mezclas heterogéneas como los desechos combustibles. Con este, por ejemplo, se pueden operar turbinas de gas. Dichos procedimientos se dan a conocer, por ejemplo, en los documentos DE 102007041624 A1 y DE 2325204 A1. Sin embargo, incluso en estos procedimientos, parte de la energía química almacenada en el material de partida sólido se consume en la conversión, ya sea en la fabricación de coque o en la producción de gas, y se libera dióxido de carbono de manera correspondiente.

Una desventaja de los procedimientos conocidos es la generación de emisiones, la baja eficiencia y la complicada construcción y operación, en particular, en plantas donde el coque se gasifica en corrientes inducidas o flujo arrastrado.

Además, se conocen varios procedimientos con los que se pueden producir combustibles líquidos a partir de la biomasa. En el artículo de G.W. Huber y col., "Synthesis of Transportation Fuels from Biomass: Chemistry, Catalysts, and Engineering", Chem. Rev. 106 (2006), p. 4044, se ofrece una visión general de los diferentes enfoques. En una determinada versión básica de estos procedimientos, la biomasa se gasifica, y de la mezcla de gases resultante se sintetizan hidrocarburos gaseosos y/o líquidos y/u otros compuestos carbonosos, que sirven como combustible o material de trabajo.

Dicho procedimiento para la producción de combustible sintético a partir de biomasa se describe en "Verfahren zur Herstellung des synthetischen Biokraftstoffs SunDiesel", B. Hoffmann, Mineral Processing, 49 (1-2) (2008), p. 6. En este procedimiento llamado "Carbo-V", la biomasa gruesa (material vegetal triturado) se piroliza con aire en una primera etapa a baja presión (4 bar) a 400-500 °C, considerándose esta etapa como una etapa de pretratamiento térmico. El resultado es gas de pirólisis y coque de pirólisis. Un sistema adecuado se da a conocer, por ejemplo, en el documento DE 19807988 A1. El gas de pirólisis se vuelve a oxidar a alta temperatura (1400-1500 °C) con aire precalentado u oxígeno para degradar los hidrocarburos de cadena larga. Por separado, el coque de pirólisis se muele y se inyecta en forma de polvo en la corriente de gas de la segunda etapa del procedimiento, donde el polvo de coque se gasifica endotérmicamente en el flujo arrastrado para formar gas de síntesis. Un procedimiento correspondiente se da a conocer en el documento EP 1749872 A2. Después del tratamiento, se produce combustible análogo al diesel a partir del gas de síntesis resultante en una síntesis de Fischer-Tropsch de múltiples etapas. Los gases resultantes, incluido el dióxido de carbono producido en la etapa de pirólisis y gasificación, se liberan a la atmósfera.

Para aumentar la eficiencia de la reacción de Fischer-Tropsch, los gases residuales y los productos de síntesis de Fischer-Tropsch gaseosos que contienen hidrógeno y monóxido de carbono sin reaccionar, así como los compuestos de hidrocarburos C1-C4, pueden pasar nuevamente por la etapa Fischer-Tropsch, siendo devueltos a la etapa de gasificación. (Véase H. Boerrigter, R. Zwart, "High efficiency coproduction of Fischer-Tropsch (FT) transportation fuels and substitute natural gas (SNG) from biomass", Informe ECN del Energy Research Center de los Países Bajos, ECN-C-04-001, febrero de 2004.) Por ejemplo, el documento US 2005/0250862 A1 muestra un procedimiento para la producción de combustibles líquidos a partir de biomasa, donde los gases de bajo peso molecular y las fracciones no deseadas de mayor peso molecular se devuelven a la etapa de gasificación después de la síntesis de Fischer-Tropsch.

Sin embargo, en todos estos procedimientos, los gases de escape compuestos principalmente de dióxido de carbono y posiblemente gases inertes como el nitrógeno del aire se liberan a la atmósfera.

Los documentos DE 2807326 y US 4092825 describen plantas de energía donde se produce gas de síntesis a partir de carbón, que a continuación se usa como gas combustible para la generación de vapor. Una turbina de vapor produce energía eléctrica a partir del vapor. Una parte del gas de síntesis se desvía y se usa para producir metanol o hidrocarburos líquidos. Estos combustibles líquidos se almacenan temporalmente y se usan según sea necesario para generar energía eléctrica. Los gases de combustión resultantes se liberan a la atmósfera.

El contenido de la descripción de los documentos del estado de la técnica citados en esta solicitud forma parte

integral de la siguiente descripción de la invención.

Objetivo de la invención

5 El objetivo de la invención es proporcionar procedimientos y dispositivos para la generación de energía sin emisiones mediante el procesamiento y el aprovechamiento térmico-químico de materiales y mezclas sólidos, líquidos y gaseosos carbonos, en particular de desechos, biomasa, carbón y otros materiales heterogéneos, que no presentan las desventajas mencionados anteriormente ni otras desventajas. En particular, los procedimientos y dispositivos según la invención deberían ser lo más exentos posible de emisiones.

10 Otro objetivo de la invención es proporcionar procedimientos y dispositivos con los que los desechos, la biomasa o el carbón se puedan convertir con poca energía y sin emisiones en otros productos de alta energía como, por ejemplo, los productos que contienen hidrocarburos sintéticos.

15 Otro objetivo más de la invención es proporcionar procedimientos y dispositivos con los que los materiales difíciles de explotar como el esquisto bituminoso, las arenas bituminosas o el lodo bituminoso se puedan convertir sin emisiones en productos más ricos energía y útiles, o se puedan usar para la generación de energía sin emisiones.

20 Otro objetivo de la invención es proporcionar procedimientos y medios por los cuales los materiales sólidos, líquidos o gaseosos pueden convertirse eficientemente en combustibles gaseosos o líquidos.

Otro objetivo de la invención es proporcionar procedimientos y medios por los cuales se puedan generar combustibles y carburantes sólidos, líquidos y gaseosos sin emisiones.

25 Otro objetivo más de la invención es optimizar la eficiencia energética de dichos procedimientos y dispositivos evitando pérdidas químicas y/o energéticas por emisiones y convirtiendo las sustancias no emitidas recogidas en combustibles adicionales de alta calidad tales como combustibles y carburantes.

30 Un dispositivo según la invención para la generación de energía debería permitir en particular proporcionar energía química y/o eléctrica y/o mecánica y/o térmica de manera eficiente y según sea necesario dentro de una amplia banda de energía.

35 Ventajosamente, dicho dispositivo según la invención para la generación de energía sin emisiones debe almacenar una parte de la energía generada y poder emitir de nuevo esta energía almacenada como energía química y/o eléctrica y/o mecánica y/o térmica en caso de una mayor demanda de energía.

40 Un dispositivo para la generación de energía sin emisiones debería ser ventajosamente capaz de usar una amplia gama de materiales y mezclas sólidos, líquidos y/o gaseosos carbonos, en particular desechos, biomasa, carbón y otros materiales heterogéneos para la generación de energía.

45 Otro objetivo de la invención es proporcionar un dispositivo para la generación de energía sin emisiones que sea independiente de condiciones externas tales como presión, temperatura, humedad u otros parámetros externos. Por ejemplo, en emplazamientos a mayor altura, la presión ambiental más baja tiene un impacto negativo en el rendimiento de las centrales eléctricas convencionales.

Estos y otros objetivos se consiguen mediante procedimientos y dispositivos según la invención, según las reivindicaciones independientes. Otras formas de realización ventajosas se describen en las reivindicaciones dependientes.

50 Descripción de la invención

En un procedimiento según la invención para producir energía y/o hidrocarburos y metanol mediante el aprovechamiento de materiales carbonosos sin emitir dióxido de carbono a la atmósfera, los materiales carbonosos se suministran y pirolizan en una primera etapa del procedimiento, donde se producen coque de pirólisis y gas de pirólisis. En una segunda etapa del procedimiento, el coque de pirólisis de la primera etapa del procedimiento se gasifica, produciendo gas de síntesis, y se eliminan la escoria y otros residuos. En una tercera etapa del procedimiento, el gas de síntesis de la segunda etapa del procedimiento con una síntesis Fischer-Tropsch o una síntesis de metanol en fase líquida se convierte en hidrocarburos y/o metanol, que se eliminan. Las tres etapas del procedimiento forman un ciclo cerrado.

60 El gas de pirólisis de la primera etapa del procedimiento se pasa a la segunda etapa del procedimiento. En la segunda etapa del procedimiento, se inyecta oxígeno y opcionalmente vapor de procedimiento en un lecho de ascuas formado por el coque de pirólisis. El gas de pirólisis se inyecta por separado desde el punto de entrada del oxígeno a la fase gaseosa por encima del lecho de ascuas, donde las moléculas poliatómicas contenidas en el gas de pirólisis se craquean y se descomponen. La temperatura en la segunda etapa del procedimiento es de 850 °C o más, y el coque de pirólisis y el gas de pirólisis permanecen en la segunda etapa del procedimiento durante al

menos 2 segundos. El gas de síntesis de la segunda etapa del procedimiento es dirigido a la tercera etapa del procedimiento. El exceso de gas de la tercera etapa del procedimiento se pasa como gas de retorno a la primera etapa del procedimiento.

5 En una variante ventajosa de este procedimiento, se suministra hidrógeno, preferentemente en la tercera etapa del procedimiento, y/o se suministra dióxido de carbono, preferentemente en la primera etapa del procedimiento o segunda etapa del procedimiento.

10 El procedimiento puede llevarse a cabo bajo presión en las tres etapas del procedimiento. El gas de pirólisis de la primera etapa del procedimiento puede pasarse a la segunda etapa del procedimiento y/o a la tercera etapa del procedimiento. El gas de síntesis de la segunda etapa del procedimiento a su vez puede pasar a la tercera etapa del procedimiento y/o la primera etapa del procedimiento.

15 Ventajosamente, el flujo de gas dentro del ciclo discurre en una determinada dirección. La corriente de gas puede, por ejemplo, fluir dentro del ciclo desde la primera etapa del procedimiento a través de la segunda etapa del procedimiento a la tercera etapa del procedimiento y nuevamente a la primera etapa del procedimiento, o desde la primera etapa del procedimiento a través de la tercera etapa del procedimiento a la segunda etapa del procedimiento y nuevamente a la primera etapa del procedimiento.

20 De forma particularmente ventajosa, hay un gradiente de presión a lo largo del ciclo. Esto permite que el flujo de gas se transporte a lo largo del ciclo sin la necesidad de un sistema transportador adicional, con la excepción de un compresor para crear el gradiente de presión.

25 La primera etapa del procedimiento del procedimiento de recuperación puede llevarse a cabo en uno o más reactores de presión.

30 El suministro de energía térmica para las reacciones de pirólisis en la primera etapa del procedimiento puede llevarse a cabo parcial o completamente devolviendo parte del gas de síntesis caliente desde la segunda etapa del procedimiento a la primera etapa del procedimiento, y/o mediante la oxidación parcial del material de partida carbonoso y el coque de pirólisis resultante.

La primera etapa del procedimiento se lleva a cabo de manera ventajosa a una temperatura de entre 300 y 800 °C, preferentemente entre 450 y 700 °C, y con especial preferencia entre 500 y 600 °C.

35 La segunda etapa del procedimiento del procedimiento de recuperación también puede llevarse a cabo en uno o más reactores de presión segundos. Para la reacción de gasificación en la segunda etapa del procedimiento, se puede usar oxígeno y/o vapor de agua y/o dióxido de carbono como agente de gasificación.

40 El coque de pirólisis puede estar completamente gasificado o solo parcialmente. En el último caso, el coque sin procesar se puede descargar junto con la escoria resultante.

45 La energía térmica necesaria para la reacción de gasificación en la segunda etapa del procedimiento puede suministrarse parcial o completamente desde el exterior, por ejemplo, mediante dispositivos de calentamiento y/o intercambiadores de calor, y/o mediante la oxidación de una parte del coque de pirólisis con un agente oxidante, en particular oxígeno.

La segunda etapa del procedimiento se lleva a cabo ventajosamente a una temperatura de entre 850 y 1600 °C, preferentemente entre 850 y 1400 °C, y con especial preferencia entre 850 y 1000 °C.

50 La temperatura en la segunda etapa del procedimiento es según la invención de 850 °C o más, y el coque de pirólisis y los gases de pirólisis permanecen en la segunda etapa del procedimiento durante al menos 2 segundos. De esta forma, se cumplen las normativas vigentes en muchos países sobre el tratamiento de materiales contaminados y residuos.

55 Ventajosamente, la primera etapa del procedimiento y/o la segunda etapa del procedimiento del procedimiento de recuperación según la invención se llevan a cabo a una presión de entre 1 y 60 bares, preferentemente entre 5 y 25 bares, y más preferentemente entre 10 y 15 bares.

60 En otra variante ventajosa del procedimiento de recuperación según la invención, la primera etapa del procedimiento y la segunda etapa del procedimiento se llevan a cabo en el mismo reactor de presión.

65 La tercera etapa del procedimiento del procedimiento de recuperación se lleva a cabo de manera ventajosa en uno o más reactores de presión. La conversión en la tercera etapa del procedimiento se lleva a cabo con una síntesis de Fischer-Tropsch o una síntesis de metanol en fase líquida.

En una variante particularmente ventajosa del procedimiento según la invención, la energía eléctrica y/o mecánica

se genera por oxidación de los hidrocarburos y/o metanol de la tercera etapa del procedimiento para formar un gas de oxidación que consiste sustancialmente en dióxido de carbono y agua. Como agente oxidante, se usa ventajosamente oxígeno puro. A partir de los gases de oxidación, el agua puede condensarse y/o separarse.

5 En una variante ventajosa de dicho procedimiento según la invención, al menos parte de los gases oxidantes del dispositivo de accionamiento se retroalimentan en la primera etapa del procedimiento y/o la segunda etapa del procedimiento y/o la tercera etapa del procedimiento del procedimiento.

10 En una variante particularmente ventajosa de un procedimiento según la invención, el gas de síntesis se enfría en un intercambiador de calor para producir vapor de agua y/u otro gas caliente, a partir del cual se genera energía eléctrica y/o mecánica mediante un motor térmico, preferentemente una turbina de vapor.

15 Un dispositivo según la invención para generar energía (y/o hidrocarburos y/o metanol mediante el aprovechamiento de materiales carbonosos sin emitir dióxido de carbono a la atmósfera) comprende una planta de recuperación, que comprende una unidad de recuperación con una primera subunidad para llevar a cabo una pirólisis de los materiales carbonosos a coque de pirólisis y un gas de pirólisis; una segunda subunidad para llevar a cabo la gasificación del coque de pirólisis en un lecho de ascuas a una temperatura de 850 °C o superior a gas de síntesis y residuos, y una tercera subunidad para llevar a cabo una conversión del gas de síntesis en una etapa de síntesis Fischer-Tropsch o una etapa de síntesis de metanol en fase líquida en hidrocarburos y/o metanol. Las tres subunidades de la unidad de recuperación están cerradas de manera resistente a la presión y forman un ciclo cerrado. Una línea de transporte para el gas de pirólisis conecta la primera subunidad de manera resistente a la presión con la segunda subunidad, donde el punto de entrada del gas de pirólisis en la segunda subunidad se encuentra en la fase gaseosa por encima del lecho de ascuas formado por el coque de pirólisis. En la segunda subunidad se proporcionan medios para inyectar oxígeno y, opcionalmente, procesar vapor en el lecho de ascuas formado a partir del coque de pirólisis, donde el punto de entrada del gas de pirólisis se separa espacialmente del lugar de entrada del oxígeno. Una línea de transporte para el gas de síntesis conecta la segunda subunidad de manera resistente a la presión con la tercera subunidad. Una línea de transporte para el gas de retorno conecta la tercera subunidad de manera resistente a la presión con la primera subunidad.

20 Ventajosamente, al menos un compresor está dispuesto a lo largo de al menos una de dichas líneas de transporte de la unidad de recuperación.

35 Pueden estar previstos medios que permitan que un flujo de gas fluya a lo largo de las líneas de transporte solo en una determinada dirección, preferentemente desde la primera subunidad a través de la segunda subunidad a la tercera subunidad y de regreso a la primera subunidad, o desde la primera subunidad a través de la tercera subunidad a la segunda subunidad y de regreso a la primera subunidad.

40 Las subunidades de la unidad de recuperación pueden presentar uno o más reactores de presión. En una variante ventajosa, la primera y/o la segunda subunidad presentan dispositivos de calentamiento y/o intercambiadores de calor.

Puede estar prevista una bifurcación de la línea de transporte del gas de síntesis, con que se puede devolver desde la segunda subunidad una parte del gas de síntesis al primer reactor de presión.

45 En otra variante ventajosa de una planta según la invención, la primera subunidad y la segunda subunidad de la unidad de recuperación presentan un reactor de presión común.

50 La tercera subunidad de la unidad de recuperación comprende una etapa de síntesis Fischer-Tropsch o una etapa de síntesis de metanol en fase líquida.

55 Particularmente ventajoso es una planta de recuperación, que puede ser conducida de tal manera que haya un gradiente de presión desde la primera subunidad a través de la segunda subunidad hasta la tercera subunidad. De esta manera, el transporte de masa a lo largo de la corriente de gas cíclico es impulsado por la diferencia de presión entre los diversos reactores de presión. Esta es una ventaja significativa porque significa que el sistema requiere la menor cantidad posible de componentes móviles.

60 Una ventaja particular de la invención es que el dispositivo es independiente de condiciones externas tales como presión, temperatura, humedad o cualquier otro parámetro externo. Dado que el flujo de material está cerrado en los dispositivos según la invención, el procedimiento es sustancialmente independiente de la presión ambiental.

Una ventaja significativa adicional de un dispositivo según la invención es que el sistema cerrado no requiere tratamiento de gases. Otra ventaja es que la formación y separación de productos líquidos de los gases de síntesis en la tercera etapa del procedimiento conduce inevitablemente a la precipitación de partículas.

65 Una realización particularmente ventajosa de un dispositivo según la invención comprende una planta de energía que está configurada para generar energía eléctrica y/o mecánica y/o térmica aprovechando hidrocarburos y/o

metanol de la planta de recuperación como materiales de trabajo. Ventajosamente, está previsto un dispositivo de accionamiento en la planta de energía para generar energía eléctrica y/o mecánica a partir de los materiales de trabajo, donde dicho dispositivo de accionamiento obtiene la energía necesaria para la operación de la oxidación de los materiales de trabajo a un gas de oxidación que consiste sustancialmente en dióxido de carbono y agua, y comprende un dispositivo para la compresión y/o condensación del gas de oxidación.

El dispositivo de accionamiento puede estar configurado como una pila de combustible o como un motor térmico. En una variante particularmente ventajosa, el dispositivo de accionamiento puede funcionar con oxígeno puro como agente oxidante.

En una realización adicional de un dispositivo según la invención, está previsto un intercambiador de calor para enfriar el flujo de gas de oxidación corriente arriba y/o corriente abajo del dispositivo para comprimir y/o condensar el gas de oxidación.

En otra realización más de un dispositivo según la invención, está previsto un dispositivo para la condensación y/o separación de agua del gas de oxidación. Esto reduce, entre otras cosas, la cantidad de gas residual restante.

Otra variante de un dispositivo según la invención comprende un depósito para recoger el gas de oxidación o el gas residual después de la compresión y/o condensación del gas de oxidación.

Para devolver los gases de oxidación o gases residuales a una de las tres etapas del procedimiento de la planta de recuperación de dicho dispositivo, se puede proporcionar una línea de transporte.

En otra realización ventajosa de uno de los dispositivos según la invención mencionados anteriormente, el dispositivo de accionamiento de la planta de energía está configurado como un motor de combustión interna, con al menos una cámara de combustión para la combustión de combustible líquido o gaseoso con oxígeno, con medios para convertir la presión de gas resultante o el volumen de gas en trabajo mecánico, con un dispositivo de suministro para introducir oxígeno en la cámara de combustión, y con un dispositivo de ventilación para eliminar los gases de oxidación de la cámara de combustión.

En una variante particularmente ventajosa de dicho dispositivo según la invención para generar energía, está previsto un dispositivo de suministro para introducir agua y/o vapor de agua en la cámara de combustión y/o en el flujo de gas de oxidación después de salir de la cámara de combustión en el dispositivo de accionamiento de la planta de energía. El dispositivo de accionamiento puede comprender, por ejemplo, un dispositivo de turbina que funciona con el flujo de gas de oxidación.

En otra realización ventajosa de un dispositivo según la invención, la planta de recuperación comprende una unidad de energía para generar energía eléctrica y/o mecánica, con al menos un dispositivo de accionamiento para generar energía eléctrica y/o mecánica a partir de vapor de agua y/u otros gases calientes, que se ha generado y/o sobrecalentado en la unidad de recuperación de la planta de recuperación.

En una variante particularmente ventajosa, la unidad de energía de la planta de recuperación presenta un dispositivo de accionamiento para generar energía eléctrica y/o mecánica a partir del vapor de agua u otros gases calientes que se han generado y/o sobrecalentado en la unidad de recuperación. En la circulación de la unidad de recuperación, está previsto al menos un intercambiador de calor para calentar vapor de agua y/u otros gases y/o para generar vapor de agua.

Otro dispositivo particularmente ventajoso comprende una planta para la producción de hidrógeno y medios para suministrar el hidrógeno en la unidad de recuperación.

Los hidrocarburos y otros productos sólidos, líquidos y/o gaseosos que se han producido mediante un procedimiento según la invención o con un dispositivo según la invención se pueden distinguir de los productos de petróleo análogos, por ejemplo, por la ausencia de impurezas típicas de azufre y fósforo. Cuando se producen con proporciones de material de partida de biomasa, dichos productos presentan niveles de isótopos C14 aumentados en comparación con los productos petroquímicos.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se explicará el dispositivo según la invención con referencia a los dibujos. Estos muestran solo ejemplos de realización del objeto de la presente invención.

La figura 1 muestra esquemáticamente un dispositivo según la invención para la generación de energía y/o hidrocarburos y otros productos sin emisiones mediante el aprovechamiento de materiales carbonosos.

La figura 2 muestra esquemáticamente una realización de un dispositivo según la invención con una planta de energía separado espacialmente de la planta de recuperación.

La figura 3 muestra esquemáticamente un ejemplo de realización general de una planta de recuperación de un dispositivo según la invención, con una unidad de energía de carga básica.

5 La figura 3A ilustra esquemáticamente una posible variante de realización para una unidad de energía de carga básica en la figura 3.

10 La figura 4 muestra esquemáticamente un ejemplo de realización general de un dispositivo según la invención con una planta de recuperación y con una planta de energía para generar energía de carga máxima a partir de los materiales de trabajo producidos en la planta de recuperación.

La figura 4A ilustra esquemáticamente una posible variante de realización para una planta de energía de carga máxima en la figura 4.

15 La figura 5 muestra esquemáticamente una posible realización de un dispositivo según la invención, que tiene un sistema de utilización con una unidad de energía de carga básica y una planta de energía de carga máxima.

20 La figura 6 muestra esquemáticamente un dispositivo según la invención con suministro de energía química en forma de hidrógeno.

La figura 7 muestra esquemáticamente el perfil de rendimiento (a) de una planta de energía térmica convencional, (b), (c) de un dispositivo según la invención, y (d) el perfil de carga máxima y carga básica de un dispositivo según la invención.

25 Las figuras 8 a 10 muestran esquemáticamente diversos ejemplos de realización posibles de plantas de recuperación para un dispositivo según la invención.

30 La figura 11 muestra esquemáticamente un posible ejemplo de realización de una planta de recuperación para un dispositivo que se da a conocer.

La figura 12 muestra esquemáticamente un posible ejemplo de realización de una planta de recuperación para un dispositivo según la invención.

35 Las figuras 13 y 14 muestran esquemáticamente dos realizaciones de un dispositivo de accionamiento de una planta de energía de carga máxima diseñado como un motor de combustión interna.

La figura 15 muestra esquemáticamente un dispositivo de accionamiento, configurado como una turbina combinada de gas/vapor, de una planta de energía de carga máxima.

40 **Realización de la invención**

Los ejemplos que se abordan a continuación se proporcionan para una mejor ilustración de la presente invención, pero no pretenden limitar la invención a las características que se dan a conocer en esta invención.

45 Dispositivo y procedimiento para generar energía eléctrica y mecánica

50 La figura 1 muestra esquemáticamente una posible realización de un dispositivo Z según la invención para la generación de energía y/o hidrocarburos y metanol sin emisiones mediante el aprovechamiento de materiales carbonosos, con una planta A para el aprovechamiento termoquímico de materiales carbonosos M10 a hidrocarburos y metanol M60 y/o materiales de trabajo líquidos y/o gaseosos M61 (energía química), así como para la producción de energía eléctrica y/o mecánica E1.

55 La planta de recuperación A comprende una unidad de carga AH donde el material de partida M10 a recuperar, que todavía no está tratado, se prepara para obtener material de partida carbonoso M11. Dependiendo de la naturaleza del material de partida M10, esto puede producir residuos M17, que pueden seguir usándose como, por ejemplo, metales.

60 Además del material de partida carbonoso M11 procesado, se pueden usar otros portadores de energía química, por ejemplo, metano u otros subproductos de la industria química o petrolera, que de otra manera no se pueden aprovechar de manera conveniente.

65 El núcleo de la planta de recuperación A es la unidad de recuperación AB, donde los materiales carbonosos M11 tratados se suministran y se pirolizan en una primera subunidad AC de una primera etapa del procedimiento P1, donde se forma el coque de pirólisis M21 y el gas de pirólisis M22. En una segunda subunidad AD de una segunda etapa del procedimiento P2, el coque de pirólisis M21 de la primera etapa del procedimiento se gasifica, produciendo gas de síntesis M24, y quedan la escoria y otros residuos M90. En una tercera subunidad AE de una tercera etapa

del procedimiento P3, el gas de síntesis M24 de la segunda etapa del procedimiento se convierte en productos sólidos, líquidos y/o gaseosos basados en hidrocarburos M60, M61. Las tres etapas del procedimiento están cerradas de manera resistente a la presión y forman un ciclo sustancialmente cerrado.

- 5 La energía térmica acumulada en un procedimiento de recuperación según la invención puede tomarse de la unidad de utilización AB en forma de vapor M52 y usarse en una unidad de energía AF para generar energía eléctrica y/o mecánica E1 mediante un dispositivo de accionamiento adecuado tal como una turbina de vapor (no se muestra). También es posible y ventajoso el calentamiento de medios compresibles, como nitrógeno, para operar el dispositivo de accionamiento. Durante un funcionamiento constante de la unidad de recuperación AB, se puede generar una
10 determinada potencia básica. La unidad de energía AF es un componente opcional de un dispositivo según la invención.

Una unidad de descarga AG sirve para descargar y tratar la ceniza resultante y otros residuos sólidos M90.

- 15 El dispositivo según la invención puede presentar además una planta de energía C, para la generación libre de emisiones de energía eléctrica y/o mecánica E2, o energía térmica E4, aprovechando los productos carbonosos M61 de la planta de recuperación A como materiales de trabajo. Los gases oxidantes resultantes M27 se devuelven a la planta de recuperación A, para que no se produzcan emisiones.

- 20 La planta de energía C puede diseñarse, por ejemplo, como un sistema de calefacción para generar energía térmica E4 para calentar edificios. Asimismo, la planta de energía puede estar diseñada como una planta de energía eléctrica para generar energía eléctrica E2.

- Entre la planta de recuperación A y la planta de energía C, se conecta ventajosamente una planta B para el
25 transporte y el depósito temporal de los materiales de trabajo y gases de oxidación. Dicha planta B también puede contener medios para el tratamiento de los materiales de trabajo M61 para uso en la planta de energía C.

- Los materiales de trabajo M61 carbonosos producidos en la etapa de procedimiento de síntesis P3 se almacenan de
30 forma temporal en tanques o acumuladores de presión de la planta B (no se muestran). Los materiales de trabajo M61 se retiran de estos sistemas almacenamiento según sea necesario y se convierten en energía eléctrica y/o mecánica E2 en la planta de energía C con un dispositivo de accionamiento adecuado. Esto se puede hacer, por ejemplo, mediante un motor térmico o un dispositivo de pila de combustible. El gas residual que contiene dióxido de carbono M26 de la planta de energía C se devuelve a la unidad de reciclaje AB. Opcionalmente, a su vez, se puede proporcionar un depósito temporal.

- 35 La planta de energía C ofrece la ventaja de que la salida de energía producida por el dispositivo Z según la invención se puede adaptar en muy poco tiempo a la demanda que se requiere. Los materiales de trabajo M61 químicos sirven como depósito temporal de energía. Durante un pico de consumo de energía, por ejemplo, un dispositivo de accionamiento configurado adecuadamente, por ejemplo, una turbina de gas y/o turbina de vapor
40 operada con los materiales de trabajo M61, puede ponerse en funcionamiento muy rápidamente y generar energía eléctrica y/o mecánica. Debido a la capacidad de almacenamiento de energía de los materiales de trabajo M61 químicos, la potencia máxima del dispositivo Z puede exceder brevemente la potencia térmica básica del dispositivo Z.

- 45 Es posible usar en una planta de energía C además de los materiales de trabajo suministrados por la planta de recuperación A otros materiales de trabajo M14 adicionales.

- La planta de energía C se puede instalar junto con la planta de recuperación A en la misma ubicación. Alternativamente, también es posible, tal como se muestra en la figura 2, que la planta de energía C se separe
50 espacialmente de la planta de recuperación A en un dispositivo Z según la invención. El transporte de los materiales de trabajo M61 y los gases de oxidación M27 puede realizarse, por ejemplo, por ferrocarril, barco o tubería, en cuyo caso el dispositivo de transporte (camión cisterna, tanque en barco, tubería) también sirve como depósito temporal BA, BB. El sistema global de transporte de material entre las plantas A y C debe considerarse en este caso como parte de la planta B para el transporte y depósito temporal de materiales de trabajo y gases de oxidación.

- 55 Dado que el transporte de energía química en forma de materiales de trabajo M61 a largas distancias es mucho más eficiente que la transmisión de energía eléctrica, la ubicación de la planta de energía C de carga máxima de un dispositivo Z según la invención se puede seleccionar allí donde surge la necesidad correspondiente mientras que la planta de recuperación A está ventajosamente construida allí, donde se obtienen los materiales de partida M10 carbonosos.
60

- Un dispositivo según la invención puede presentar además un sistema D para la producción y el suministro de energía química externa. Por ejemplo, el hidrógeno M32 se puede producir y suministrar como fuente de energía química externa. Dicha posible realización de un dispositivo Z según la invención se tratará con más detalle al
65 abordar la figura 6.

Una posible realización de una planta de recuperación A de un dispositivo Z según la invención se muestra esquemáticamente en la figura 3. La planta A que se muestra comprende una unidad de recuperación AB para el aprovechamiento del material de partida carbonoso M11, y una unidad de energía AF para generar una cantidad básica E1 sustancialmente constante de energía eléctrica y/o mecánica.

5 La estructura de la unidad de recuperación AB se corresponde sustancialmente con la unidad de recuperación ejemplar que se tratará más adelante con referencia a la figura 9. La unidad de energía de carga básica AF solo se muestra como un bloque. Una posible realización se abordará en la Figura 3A.

10 En el intercambiador de calor/sobrecalentador A44, donde simultáneamente el gas de síntesis M24 caliente de la segunda etapa del procedimiento P2 se enfría a la temperatura para la tercera etapa del procedimiento de síntesis P3, se produce vapor sobrecalentado M52 a partir del vapor más frío M51 (aproximadamente 550-600 °C/50 bar). Si es necesario, un intercambiador de calor adicional posterior puede enfriar aún más la corriente de gas de síntesis. El vapor sobrecalentado M52 se suministra a la unidad de energía AF, donde se aprovecha para energía eléctrica y/o

15 mecánica E1. El condensado de vapor M41 restante se devuelve a la unidad de recuperación AB, donde se convierte en vapor M51 en la tercera etapa del procedimiento P3, y este vapor M51 se convierte nuevamente en vapor sobrecalentado M52 en el intercambiador de calor/sobrecalentador A44.

20 La realización ejemplar de la unidad de energía AF en la figura 3A comprende un dispositivo de accionamiento A61 en forma de una turbina de vapor A62 u otra máquina de calor de vapor sobrecalentado M52 para generar energía mecánica, y en el ejemplo mostrado un dispositivo generador accionado por la turbina de vapor A64 que genera energía eléctrica E1. Después de relajarse en la turbina de vapor A62, el vapor de escape M53 se condensa en el condensador/economizador A63, y el calor residual se disipa a través de un ciclo de enfriamiento A65 configurado adecuadamente.

25 El condensado M41 resultante está preferentemente caliente a 60-70 °C, de modo que el agua en la etapa de caldera A32 subsiguiente de la planta de recuperación AB no tenga que calentarse demasiado. Al mismo tiempo, el agua no debe estar demasiado caliente para evitar una cavitación en la bomba A66. El condensado M41 es transportado por la bomba A66 desde un depósito temporal (no se muestra) en el intercambiador de calor/caldera A32 de la etapa de procedimiento P3, donde se evapora de nuevo a vapor M51 (aproximadamente 250-300 °C/20 bar), con enfriamiento simultáneo de la etapa de síntesis P3. El vapor M51 se almacena en un domo de vapor (no se muestra) para separar el agua restante antes de entrar en el sobrecalentador A44, y para formar un depósito desde el cual se puede tomar el vapor M50 de procedimiento para los diversos fines en la unidad de recuperación AB. Las pérdidas en el ciclo y el consumo de vapor de procedimiento M50 se compensan con un

30 nuevo suministro de agua en el tanque de condensado (no se muestra).

35 En una variante alternativa, parte del vapor puede tomarse como vapor de procedimiento M50 en la turbina de vapor A62 después de la etapa de alta presión, que se muestra en la figura 3A como una flecha discontinua. De esta manera, se puede usar una mayor cantidad de vapor M52 para generar energía, y solo entonces se puede proporcionar el vapor de procedimiento necesario.

40 El vapor de escape de los consumidores de vapor de procedimiento, como los intercambiadores de calor A45, A17, también puede condensarse M41 y retroalimentarse al agua de alimentación M40, de modo que se produce un ciclo de energía lo más cerrado posible.

45 En lugar de operar la unidad de energía AF con vapor caliente, también es posible calentar en los intercambiadores de calor A32, A44 de la unidad de recuperación un medio compresible, como nitrógeno, para operar posteriormente el motor térmico de la unidad de energía AF con este gas caliente. El uso de gas inerte en lugar de vapor caliente más agresivo tiene la ventaja, entre otras cosas, de que el daño por corrosión de los componentes del sistema es menor.

50

En consecuencia, en una planta de recuperación A, los ciclos de vapor también se pueden realizar de manera diferente a través de varios intercambiadores de calor para lograr la mayor eficiencia posible de la planta A.

55 En un dispositivo según la invención con solo una unidad de energía de carga básica AF, tal como se da a conocer, por ejemplo, en la figura 3, los productos resultantes de la etapa de síntesis P3 se pueden usar como el material de trabajo M61 para una planta de energía C convencional de combustible fósil, por ejemplo, generadores diesel o generadores de turbinas de gas, que puede usarse para cubrir cargas máximas. En dicho caso, los materiales de trabajo M61 químicos sirven, por un corto tiempo, para lograr resultados de producción muy altos, separados del sistema básico AB, AF impulsado en un estado de equilibrio. Por lo tanto, en un período de tiempo muy corto, el rendimiento total del dispositivo Z puede incrementarse de, por ejemplo, un 100 % de producción de carga básica constante P_{c2} a, por ejemplo, un 600 % de producción de carga máxima P_{e2} .

60

65 Como alternativa, los productos M60 también se pueden usar en otros lugares, por ejemplo, para la producción de combustibles o como eductos para la industria química.

Entre otras cosas, dicho dispositivo según la invención tiene la ventaja sobre los sistemas convencionales de que en la unidad de recuperación AB se puede prescindir de filtros de gases de combustión y los dispositivos catalizadores para purificar los gases de combustión debido al flujo de materia cerrada en del procedimiento de tres etapas. Esto conduce a una reducción del número de componentes de dicho sistema y, por lo tanto, a menores costes de inversión y costes operativos.

Además, dicha unidad de recuperación también requiere un espacio menor, ya que no se requieren sistemas de filtro, chimeneas, etc., y los volúmenes de las corrientes de material son menores debido a la alta presión.

En una realización particularmente ventajosa de un dispositivo Z según la invención, tal como se da a conocer esquemáticamente en la figura 4, está prevista una planta de energía C operada con materiales de trabajo M61 de la planta de recuperación A para cubrir cargas máximas E2. La planta de energía C está configurada de tal manera que el dióxido de carbono producido en la producción de energía vuelve al ciclo de la planta de recuperación A, para que no se produzcan emisiones.

Los materiales de trabajo M61 se obtienen ventajosamente de un depósito temporal BA de la planta de transporte/almacenamiento B, por ejemplo, un sistema de tanques o un acumulador de presión para salvar los picos de demanda. Del mismo modo, los gases residuales que contienen dióxido de carbono M26 resultantes de la planta de energía B pueden recogerse y almacenarse en un depósito temporal BB.

Una posible realización de una unidad de energía C se muestra en la figura 4A. Un dispositivo de accionamiento C11 genera energía eléctrica y/o mecánica E2 mediante portadores de energía química M61 desde la etapa de síntesis P3 de la unidad de recuperación AB. Dicho dispositivo de accionamiento C11 puede ser, por ejemplo, un motor térmico donde el calor producido durante una oxidación de los materiales de trabajo M61 a dióxido de carbono se convierte en trabajo mecánico, por ejemplo, para el funcionamiento de un sistema generador (no se muestra), o un sistema de pila de combustible donde la reacción de oxidación se usa directamente para la generación de electricidad E2.

Dicho dispositivo de accionamiento C11 presenta un ciclo cerrado, es decir, no provoca emisiones a la atmósfera. El resultado de la realización del trabajo mecánico de los gases oxidantes M27, que contienen esencialmente solo dióxido de carbono y opcionalmente agua, se tratan con posterioridad C12, se comprimen C13, y el gas residual M26 se devuelve al ciclo de la planta de recuperación AB.

Si la planta de recuperación A y la planta de energía de carga máxima C se encuentran en la misma ubicación, el retorno del gas residual M26 puede tener lugar directamente. En una variante ventajosa, está previsto un depósito temporal BB, tal como se muestra en la figura 4. Como ya se indicó anteriormente, la planta C del dispositivo Z según la invención puede estar dispuesta de forma separada de la planta de recuperación A.

La reacción de oxidación que genera energía térmica o eléctrica tiene lugar en el dispositivo de accionamiento C11 con oxígeno puro M31 en vez de con aire. Por un lado, el uso de oxígeno M31 en lugar de aire evita la formación de óxidos de nitrógeno debido a la ausencia de nitrógeno atmosférico en una reacción termoquímica a altas temperaturas, pero, sobre todo, solo quedan dióxido de carbono y vapor de agua en los gases de oxidación M27 resultantes. Dependiendo de la estequiometría de la reacción, los gases resultantes también pueden contener determinadas proporciones de monóxido de carbono y material de trabajo sin reaccionar. Estos se pueden introducir fácilmente en el ciclo de la planta de recuperación A.

Los productos de reacción M27 de la reacción de oxidación generadora de energía son sustancialmente gaseosos. La correspondiente mezcla de gases de oxidación ahora se comprime C13 para reducir el volumen. Con la ayuda de un intercambiador de calor C12, la mezcla de gases de oxidación M27 puede enfriarse antes y/o después de la compresión. El agua M41 se condensa y se separa, por lo que en el gas residual M26 solo queda dióxido de carbono, en su caso con proporciones de monóxido de carbono y combustible sin reaccionar. El gas residual M26 se suministra ahora a la primera etapa del procedimiento P1 de la unidad de recuperación AB de la planta A, de modo que hay un ciclo de material cerrado. Alternativamente, el gas residual M26 también se puede introducir a la segunda etapa del procedimiento P2 o la tercera etapa del procedimiento P3, lo que se indica en la figura 4 mediante flechas punteadas.

Por lo tanto, es posible que se produzcan hidrocarburos líquidos o gaseosos y derivados de hidrocarburos a partir de materiales carbonosos M11 en un dispositivo Z según la invención, y la mezcla de combustible M61 resultante de alta calidad se convierte posteriormente en energía eléctrica E2. El dióxido de carbono producido se recicla y se convierte parcial o completamente en la planta de recuperación A nuevamente en material de trabajo M61. De esta manera, las emisiones efectivas de dióxido de carbono del sistema generador de carga máxima C pueden reducirse en gran medida o incluso evitarse por completo.

El dispositivo de accionamiento también se puede operar fácilmente en combinación con hidrógeno M32 como carburante adicional. En tal caso, el contenido de hidrógeno conduce a una reducción de la cantidad de gas residual M26 que surge después del intercambiador de calor/condensador y compresor, ya que, en la oxidación de hidrógeno

con oxígeno, solo se obtiene agua.

Otras realizaciones posibles de dispositivos de accionamiento adecuados para una planta de energía se analizan a continuación en las figuras 13 a 15.

5 Otra realización ventajosa de un dispositivo Z según la invención se muestra en la figura 5. Además de la unidad de recuperación AB, esto incluye tanto una unidad de energía de carga básica AF como una planta de energía de carga máxima C.

10 En otra variante ventajosa de un procedimiento de recuperación según la invención, se introduce energía química en forma de hidrógeno molecular en grandes cantidades en el procedimiento. Dicha realización de un dispositivo Z según la invención se muestra esquemáticamente, por ejemplo, en la figura 6(a). La planta de recuperación A acoge materia en forma de material de partida carbonoso M10, tal como se trató anteriormente. También es adecuado como fuente de carbono el dióxido de carbono M33. La fuente de energía primaria utilizada en la realización
15 ilustrada es principalmente la energía química del hidrógeno molecular M32. Por un lado, el hidrógeno sirve para reducir los eductos y, por otro lado, la oxidación con oxígeno conduce al suministro de energía térmica.

El hidrógeno molecular M32 se puede preparar por electrólisis de agua, donde también se genera oxígeno molecular M31. La energía eléctrica E3 se puede convertir en energía química de esta manera. Sin embargo, el hidrógeno molecular gaseoso tiene una densidad de energía significativamente menor en comparación con los materiales de trabajo líquidos, pero también con los hidrocarburos gaseosos, por lo que hasta el momento no pudo establecerse para su uso como combustible para vehículos.
20

En un procedimiento de recuperación según la invención, la energía química del hidrógeno puede convertirse eficientemente en energía química en forma de hidrocarburos de alta calidad y otros productos. También es ventajoso usar el oxígeno M31 obtenido en la electrólisis para introducir toda la energía química acumulada en el procedimiento, o un máximo de la energía eléctrica insertada en la electrólisis.
25

En el ejemplo que se muestra, una planta D proporciona hidrógeno molecular M32 y oxígeno M31. La energía eléctrica E3 para la reacción de electrólisis se origina preferentemente a partir de fuentes de energía regenerativa (energía eólica, energía solar, energía del agua, etc.). Esto tiene la gran ventaja de que se puede superar una desventaja inherente de las turbinas eólicas DA y las plantas de energía solar DB, a saber, la cíclica y debido a la dependencia de factores externos que no siempre garantizan la producción de energía. Esto conduce a precios de mercado consecuentemente bajos que se pueden alcanzar para la energía eléctrica generada. Por otro lado, al convertirlo en energía química (hidrógeno molecular M32 y oxígeno M31), la producción de energía generada puede almacenarse temporalmente. Posteriormente, el hidrógeno, y si es posible también el oxígeno, se utiliza en un procedimiento según la invención para, por ejemplo, producir materiales de trabajo líquidos que sean más fáciles de manejar con una mayor densidad de energía u otros productos de alta calidad.
30
35

La energía de las unidades generadoras de energía DA, DB de la planta D se transporta como energía eléctrica E3 a la unidad de electrólisis DC, que se encuentra en la ubicación de la planta de recuperación A, y donde se genera localmente hidrógeno M32 y oxígeno M31. Una parte del oxígeno no se necesita y puede aprovecharse en otro lugar, por ejemplo, en una planta de energía C del dispositivo Z según la invención. Las unidades de depósito temporal DE, DF, por ejemplo, en forma de tanques de presión, sirven como amortiguadores para compensar la producción de energía fluctuante de las unidades de generación de energía DA, DB.
40
45

Como ya se explicó anteriormente, la planta de recuperación A produce hidrocarburos de alta calidad y otros productos de síntesis M60, y opcionalmente energía E1. Los residuos M90 se eliminan del sistema de forma continua. También es fácil eliminar el agua del sistema, por ejemplo, por condensación M41. En el ejemplo de realización ilustrado, el agua se usa principalmente como agente oxidante y gasificante cuando no hay oxígeno disponible. Sin embargo, el agua eliminada del sistema M41 también sirve como sumidero para el oxígeno. Esto es particularmente relevante si el sistema absorbe grandes cantidades de dióxido de carbono M33 como fuente de carbono.
50

En una constelación tal como se muestra en la figura 6(a), un procedimiento de recuperación según la invención también puede producir productos de hidrocarburos M60 de alta calidad y ricos energía a partir de fuentes de carbono comparativamente bajas en energía. En casos extremos, el procedimiento puede, en principio, llevarse a cabo exclusivamente con dióxido de carbono puro como fuente de carbono. Dado que la energía eléctrica suministrada proviene directa o indirectamente (energía eólica, energía hidroeléctrica) del sol, resulta entonces, visto desde un punto de vista fundamental, casi una fotosíntesis artificial, es decir, la producción de compuestos de carbono a partir de dióxido de carbono, agua y luz solar.
55
60

La combinación de la planta de recuperación A con una planta de energía C es opcional.

65 Si la ubicación de la energía regenerativa es demasiado remota, puede ser más eficiente transportar el hidrógeno M32 producido localmente a la planta de recuperación, en lugar de la energía eléctrica. Dicha variante se muestra,

por ejemplo, en la figura 6(b). La energía E3 se genera en otras unidades de generación de energía DA, DB, a partir de las cuales se produce hidrógeno molecular M32 en una unidad de electrólisis DC. Esto se almacena en una unidad de depósito temporal DE y se lleva a la planta de recuperación A con los medios de transporte DG adecuados. Como una fuente adicional de hidrógeno molecular M32, el hidrógeno se puede usar como subproducto en plantas industriales productoras.

La diferencia en el espectro de potencia de un dispositivo Z según la invención en comparación con una central eléctrica convencional que funciona con combustibles carbonosos se explica con más detalle en las figuras 7(a) a (d).

La figura 7 (a) muestra esquemáticamente el perfil de rendimiento de una planta de energía térmica convencional. El eje vertical representa la potencia P, y el eje horizontal el tiempo t. La planta de energía presenta un contenido de calor adicional P_a, es decir, la energía térmica o la energía contenida en el combustible como energía química, y una energía térmica efectiva P_b, es decir, la energía térmica que puede convertirse efectivamente en energía eléctrica o mecánica por unidad de tiempo. La demanda de energía eléctrica P_e en una red eléctrica convencional varía tanto durante el día como durante la semana. Para poder cubrir con una planta de energía las cargas máximas además de la carga básica P_c, la potencia nominal general de dicha planta de energía debe orientarse hacia la carga máxima. Esto significa que el dimensionamiento de la planta es mayor debido a la potencia máxima requerida de lo que realmente sería necesario debido a la potencia media total.

Sin embargo, en un dispositivo según la invención para generar energía, esto no es necesario. Dicho dispositivo Z, tal como se muestra, por ejemplo, en la figura 1, convierte una parte constante de la energía química suministrada en forma de los materiales carbonosos M10, M11 en energía térmica en forma de vapor de agua en la planta de recuperación A, que luego se convierte en energía eléctrica P_f, por ejemplo, con una turbina de vapor de la unidad de energía de carga básica AF. Una proporción adicional de la energía química suministrada en forma de materiales que contienen carbono M10, M11 se convierte en la etapa de síntesis P3 de la unidad de recuperación AB con un rendimiento de producción P_g constante en energía química en forma de materiales de trabajo carbonosos M61 de alta calidad, por ejemplo, productos similares al diesel o productos gaseosos como el propano. Estos materiales de trabajo pueden almacenarse BA en cualquier cantidad, y/o tal como se muestra en la figura 2, pueden transportarse a distancias cortas o largas.

La figura 7(d) muestra esquemáticamente el perfil de la potencia total P_e de un dispositivo según la invención en el transcurso de una semana. La planta de energía de carga máxima C genera energía eléctrica a partir de los materiales de trabajo M61 químicos durante la demanda de carga máxima durante los días laborables, que luego se pueden introducir en una red eléctrica a un precio correspondientemente alto. La demanda de materiales de trabajo M61 químicos excede sustancialmente el rendimiento de producción P_g de la planta de recuperación A, y está marcada con (-). Este consumo superior a la media se toma del depósito de materiales de trabajo BA. Durante la noche y el fin de semana, la demanda cae bruscamente y el rendimiento de producción P_g supera la demanda de P_e, y se marca con (+). Como resultado, el depósito de materiales de trabajo BA se vuelve a llenar.

Durante los períodos de carga básica, la planta de energía C puede bajarse a un nivel de potencia mínimo, tal como se muestra en la figura 7(d), o se pone la unidad de energía C completamente fuera de servicio, de modo que la carga básica P_c quede completamente cubierta por la unidad de energía de carga básica AF.

Por lo tanto, un dispositivo según la invención tiene la ventaja significativa de que solo se obtiene una parte P_f de la potencia efectiva constante P_d en forma de energía térmica, que debe convertirse en energía eléctrica y/o mecánica como en una planta de energía convencional. Esta parte P_f se puede utilizar para suministrar la potencia para la base de carga básica P_c. Por otro lado, otra parte P_g de la potencia efectiva P_d se almacena de forma temporal en el depósito BA en forma de materiales de trabajo M61. La demanda que supera la potencia térmica de la unidad de energía de carga básica AF (P_e - P_f) puede ser cubierta por la planta de energía de carga máxima C desde el depósito de materiales de trabajo BA. Esto hace posible diseñar un dispositivo según la invención de tal manera que la potencia efectiva P_d compuesta por la potencia térmica P_f de la unidad de energía de carga básica AF y el rendimiento de producción de la etapa de síntesis P3 de la unidad de recuperación AB, se corresponda con la demanda media promedio, tal como se muestra en la figura 7 (b). Esto conduce a una situación en la cual, en el caso de una instalación según la invención con la misma potencia térmica efectiva P_d que la potencia térmica P_b de una planta de energía convencional, se logra una potencia de carga básica comparativamente más alta P_{c1} y una potencia de carga máxima más alta, por lo que la potencia máxima puede exceder considerablemente la potencia térmica efectiva P_d en el corto plazo.

Por el contrario, un dispositivo Z según la invención puede diseñarse con una potencia térmica instalada mucho más pequeña para poder cubrir un perfil de demanda específico, por ejemplo, el 75 % o el 50 % de la potencia térmica de una planta de energía convencional comparable. Esto conduce a costes de inversión significativamente más bajos.

Un dispositivo según la invención puede diseñarse y optimizarse de modo que la potencia P_f generada directamente a partir de energía térmica se reduzca en favor de la potencia P_g generada a partir de los materiales de trabajo M61. Dicha variante se muestra en la figura 7(c). Dicho dispositivo según la invención puede almacenar una cantidad

significativamente mayor de energía cuando cubre una base de carga básica reducida P_{c2} . La energía almacenada correspondiente finalmente se puede utilizar para generar la potencia de carga máxima P_{e2} , que luego se puede vender a un precio más alto.

- 5 Puede ser posible optimizar un dispositivo según la invención con el fin de generar de manera flexible energía de carga máxima, de modo que la potencia de carga básica de la unidad de energía AF sea mínima, y posiblemente solo suficiente para cubrir el requerimiento interno de energía del dispositivo.

Procedimiento de recuperación y planta de recuperación

10 Una primera variante posible de una estructura de una planta A para el aprovechamiento termoquímico de sólidos carbonosos con un procedimiento según la invención o en un dispositivo según la invención se muestra esquemáticamente en la figura 8. La planta de recuperación A del dispositivo Z según la invención comprende una
 15 unidad de recuperación AB, con tres subunidades AC, AD, AE para llevar a cabo las tres etapas de procedimiento P1, P2, P3 del procedimiento según la invención, que están conectadas con un ciclo cerrado de manera, que permiten una corriente de gas cíclica cerrada. De la unidad de procesamiento AH, solo se muestra el silo A91 para proporcionar el material carbonoso M11 procesado. A su vez, de la unidad de descarga AG solo se muestra el almacenamiento de escoria A92. La planta de recuperación A puede o no incluir una unidad de energía (no se muestra). Esto no es relevante para la funcionalidad del procedimiento de recuperación.

20 Las tres subunidades AC, AD, AE de la unidad de recuperación AB están conectadas para formar un ciclo cerrado de tal manera que permiten un flujo de gas cerrado y cíclico. En la primera fase del procedimiento P1 (fase de pirólisis) o en la primera subunidad AC, el material de partida carbonoso M11 se piróliza a presión, dando lugar al coque de pirólisis M21 y a los gases de pirólisis M22. En la segunda etapa de procedimiento P2 (etapa de gasificación) o en la segunda subunidad AD, el coque de pirólisis M21 se gasifica a gas de síntesis M24, que finalmente reacciona en una tercera etapa de procedimiento P3 (etapa de síntesis) o en la tercera subunidad AE a hidrocarburos y/o productos sólidos, líquidos o gaseosos M60.

30 Los materiales de partida carbonosos M11 a procesar se introducen de forma continua en el ciclo desde un dispositivo de suministro AH, P6 a través de la primera etapa de procedimiento P1. Al mismo tiempo, los productos M60 y M61 producidos a partir del gas de síntesis M24 se retiran de forma continua de la tercera fase del procedimiento P3. Los diversos residuos M91, M92, M93 se eliminan de forma continua del ciclo.

35 Una pluralidad de materiales carbonosos puede servir como material de partida M11 para un procedimiento de recuperación según la invención, en particular residuos, biomasa, carbón y otros materiales heterogéneos como, por ejemplo, suelo contaminado, pero también residuos ya depositados, por ejemplo, de vertederos. Esto permite un desmantelamiento ecológico y rentable de los vertederos abiertos. Incluso los materiales que contienen petróleo sólido y líquido, como el esquisto bituminoso, las arenas bituminosas o el lodo bituminoso, pueden ser reciclados en un procedimiento según la invención. Los agregados M12 también pueden incluir subproductos carbonosos de la
 40 industria química o petrolera que, de otro modo, no serían aprovechables e incluso podrían tener que ser quemados.

El valor calorífico de los materiales de partida, el contenido de carbono, el contenido de agua y el contenido de residuos no combustibles tales como metal, vidrio y cerámica puede variar enormemente. El material de partida puede triturarse hasta un tamaño adecuado para una planta de recuperación específica, donde el tamaño de pieza
 45 preferido resulta de la consistencia del material y de la configuración concreta del primer reactor de presión o del sistema de transporte interno del reactor. Por ejemplo, un tamaño de pieza de aprox. 5-10 cm es muy adecuado para el procesamiento con una rejilla móvil.

50 En el ejemplo mostrado, la primera etapa de procedimiento P1, AC comprende un primer reactor de presión A13, donde la pirólisis del material de partida carbonoso M11 tiene lugar bajo presión. El material de partida M11 se introduce en el reactor de pirólisis presurizado A13 a través de una esclusa de aire A11 adecuada. En la configuración mostrada, el reactor de pirólisis A13 consiste en un cuerpo de presión horizontal A14, donde el material grumoso es transportado horizontalmente a lo largo del reactor durante la pirólisis mediante una rejilla móvil A15 representada esquemáticamente con placas de rejilla desplazables. También se puede usar cualquier otro
 55 dispositivo de transporte adecuado para la alimentación continua del material de partida a procesar, por ejemplo, parrillas de rodillos, transportadores de cadena, transportadores de tornillo, etc.... También se puede utilizar un horno rotativo.

60 En el reactor de pirólisis A13, el material es transportado de forma continua a través del reactor de presión A13 a una temperatura de aprox. 300-800 °C y una presión de 1 a 60 bar y se piróliza sin oxígeno. Entre otras cosas, se selecciona la temperatura para que, además de mantener la reacción de pirólisis, se mantenga la presión de funcionamiento deseada, en primer lugar, debido a la expansión de los gases debido a la temperatura, y en segundo lugar debido a la nueva producción de gases de pirólisis. Una temperatura mínima de 450 °C asegura una liberación constante de los compuestos de oxígeno libre durante la pirólisis. Una temperatura de funcionamiento de 500-600 °C
 65 y una presión de funcionamiento entre 5 y 25 bar son particularmente adecuadas.

La energía térmica necesaria para las reacciones de pirólisis procede de la corriente de gas de retroalimentación M24b caliente del segundo reactor A21, que se abordará más adelante. El vapor de procedimiento M50 también sirve para mantener la temperatura de funcionamiento del primer reactor. También puede haber una fuente de calor externa, como un intercambiador de calor o un calefactor externo. Esto último también es ventajoso cuando se pone en marcha la planta de recuperación A desde el estado en frío.

El gas de retorno M25 de la tercera etapa del procedimiento (etapa de síntesis) P3 se conduce al primer reactor de presión A13 después de pasar por un compresor A42. El gas de retorno M25 contiene principalmente dióxido de carbono, así como vapor de agua y, en la etapa de síntesis, monóxido de carbono e hidrógeno sin reaccionar, así como contenidos residuales de hidrocarburos de bajo peso molecular. Para controlar el procedimiento, se puede introducir carbono adicional con un alto valor calorífico en el reactor A13, por ejemplo, en forma de carbón o petróleo. Estos agregados M12 se pueden añadir al material de partida M11 de antemano, o se pueden introducir por separado en el reactor A13. La mezcla de los agregados M12 viscosos con el material de partida M11 sólido facilita el transporte de material viscoso dentro del reactor. Los agregados M12 líquidos además aumentan la cantidad de gas de pirólisis y, por lo tanto, la presión de funcionamiento.

La pirólisis en la primera fase del procedimiento P1 produce el coque de pirólisis M21, que consiste sustancialmente en carbono sólido y residuos inorgánicos. El coque de pirólisis M21 se descarga al final del reactor de presión A13. Los gases de pirólisis M22 producidos durante la pirólisis contienen materiales gaseosos, pero también materiales líquidos y materiales sólidos a temperatura ambiente. La composición de los gases de pirólisis M22 depende en gran medida de los materiales de partida y también puede contener sustancias nocivas.

El coque de pirólisis M21 se bombea a presión al reactor de presión A21 de la segunda etapa de procedimiento P2. Una vez más, es adecuado un transportador de tornillo cerrado. También puede estar prevista una esclusa de aire. Los gases de pirólisis M22 también se transportan a través de una línea de transporte separada al segundo reactor de presión A21. Un compresor A41 dispuesto en la línea de transporte transporta los gases de pirólisis al segundo reactor de presión A21, que se encuentra a una presión de funcionamiento o superior.

En la segunda etapa del procedimiento P2 la temperatura de funcionamiento está entre 850 y 1600 °C. En esta segunda fase del procedimiento, el carbono sólido del coque de pirólisis M21 se gasifica con dióxido de carbono y, si es necesario, oxígeno y/o vapor de agua como agentes de gasificación para formar monóxido de carbono e hidrógeno según las reacciones I, II y III.

El dióxido de carbono proviene principalmente del gas de retorno M25. También se puede introducir en el ciclo dióxido de carbono M33 adicional. El vapor de agua consiste principalmente en la humedad residual del material de partida M11. También se puede introducir vapor de procedimiento M50.

La energía térmica necesaria para estas reacciones de pirólisis endotérmica proviene, por ejemplo, de una oxidación parcial del carbono sólido (reacción III) con oxígeno M31 suministrado al segundo reactor de presión A21. La reacción exotérmica de desplazamiento de gas de agua IV también puede contribuir a ello.

Para poner en marcha la unidad de recuperación A y controlar el procedimiento, puede ser necesario añadir combustibles M13 adicionales como, por ejemplo, coque, aceite o gas natural, al segundo reactor A21 y/o aumentar el suministro de oxígeno para aumentar temporalmente la producción de calor.

La relación entre el monóxido de carbono y el hidrógeno, que es importante para la posterior síntesis en la tercera fase del procedimiento P3, viene dada por la reacción de desplazamiento de gas de agua IV, y puede verse influenciada hacia el lado derecho por la adición de vapor de procedimiento M50; sin embargo, es ventajoso mantener la cantidad total de agua en el sistema lo más baja posible, y en su lugar introducir hidrógeno M32 adicional directamente en la tercera fase del procedimiento.

En el ejemplo mostrado de una unidad de recuperación AB, la segunda etapa del procedimiento comprende igualmente un cuerpo de presión A22, donde el transporte del coque de pirólisis dentro del reactor A21 se efectúa mediante una rejilla móvil A23. También son posibles otros sistemas de transporte, como ya se ha mencionado para el primer reactor de presión A13. Esto tiene la ventaja de que el coque de pirólisis puede procesarse en la segunda fase del procedimiento sin más preparación.

En principio, el segundo reactor también puede estar configurado de forma diferente. Por ejemplo, el coque de pirólisis puede ser triturado o molido de antemano, lo que permite que el coque sea gasificado en corrientes inducidas o flujo arrastrado. Sin embargo, esta variante tiene la desventaja de que las partículas presentan un tiempo de retención más corto en el reactor, lo que requiere un suministro de material y una preparación más homogéneos. Además, estos sistemas requieren un control más exacto y rápido de la velocidad del flujo de gas y de otros parámetros del procedimiento.

La superficie reactiva del coque de pirólisis grumoso es comparativamente pequeña en comparación con una posible reacción en corrientes inducidas, pero esto se compensa con el tiempo de permanencia relativamente largo en el

reactor A21 debido a la alta capacidad de masa del reactor de presión. Otra ventaja es la escalabilidad más fácil. Con una simple ampliación del reactor de presión o una ampliación de la sección transversal se puede aumentar la capacidad y, por lo tanto, el rendimiento sin tener que modificar los parámetros de procedimiento relevantes, tales como la presión o la temperatura. Por otro lado, los reactores con flujo arrastrado o corrientes inducidas no pueden escalar tan fácilmente y sin problemas.

El oxígeno M31 necesario para la oxidación parcial y, si es necesario, el vapor de procedimiento M50 son inyectados en el lecho de ascuas formado por el coque de pirólisis, que genera la energía térmica necesaria y mantiene el reactor A21 a la temperatura de funcionamiento. En lugar de oxígeno puro, también se podría usar aire, pero el nitrógeno atmosférico inerte infla el flujo de materia gaseosa que circula dentro de la unidad de recuperación y es difícil de eliminar. Esto reduce significativamente la eficiencia del sistema, por lo que siempre es preferible el oxígeno puro. Además, la ausencia de nitrógeno en el sistema también evita la formación de óxidos de nitrógeno.

Los gases de pirólisis M22 se introducen en la fase gaseosa por encima del lecho de ascuas del reactor de presión A21, donde las moléculas poliatómicas contenidas en los gases de pirólisis M22 se craquean y descomponen muy rápidamente a las altas temperaturas predominantes en el ejemplo de realización mostrado en la figura 8. Por lo tanto, el gas de síntesis M24 formado en la segunda fase del procedimiento ya no contiene moléculas orgánicas y puede utilizarse para la síntesis de Fischer-Tropsch en la tercera fase del procedimiento. Los contaminantes como, por ejemplo, las dioxinas también se descomponen.

El suministro de oxígeno M31 al lecho de ascuas y el punto de entrada de los gases de pirólisis M22 en el reactor de presión se eligen ventajosamente de tal manera que no puedan formarse dioxinas, lo que puede conseguirse mediante una separación espacial adecuada. Del mismo modo, no debe haber oxígeno en el gas de síntesis que sale.

Para materias primas no problemáticas, tales como astillas de madera o paja u otra biomasa no contaminada, también es posible incinerar los gases de pirólisis M22 de antemano con oxígeno en un quemador separado, y también dirigir los gases de escape calientes hacia el lecho de ascuas para el suministro de energía térmica, o inyectarlos sin quemarlos directamente en el lecho de ascuas, donde también se oxidan.

Al final del reactor de presión A21 quedan residuos M91 en forma de cenizas y residuos inertes, así como opcionalmente carbono sin procesar. Si se desea escoriación, se pueden añadir agregados para reducir el punto de fusión de la ceniza. Para ello, por ejemplo, se puede añadir cal en polvo al material de partida M11. La escoria se descarga desde el segundo reactor de presión A21 a través de una esclusa de aire A28 adecuada desde la zona de presión de la planta de recuperación AB.

Como alternativa, la segunda etapa de procedimiento puede diseñarse de tal manera que el coque de pirólisis no reaccionado al final del reactor de presión vuelva a ser transportado al principio y pueda pasar por el reactor por segunda vez. Esto permite un diseño más corto del reactor de presión.

La corriente de gas de síntesis M24 se descarga desde el segundo reactor de presión A21, y una porción principal M24a se hace pasar a través de un intercambiador de calor A44 adecuado, donde el flujo de gas se enfría a una temperatura adecuada para la síntesis de Fischer-Tropsch en la tercera etapa del procedimiento P3 en una unidad de energía AF (no se muestra), generando, por ejemplo, vapor de procedimiento M50 para fines internos del procedimiento y/o vapor M52 para la generación de energía. Debido a las temperaturas más bajas, la presión disminuye y el equilibrio de las reacciones I, II y IV cambia, por lo que la proporción de dióxido de carbono en el gas de síntesis vuelve a aumentar. El carbono M94 sólido en forma de grafito también puede separarse de la corriente de gas. El carbono M94 puede ser devuelto al ciclo como material de partida M11, M12, reciclado como material reciclable o retirado del sistema como material residual.

Posteriormente, la corriente de gas de síntesis M24a se lleva a un ciclón A47, donde se separa el polvo M92, que consiste principalmente en coque residual y cenizas. El polvo residual M92 puede ser devuelto al primer reactor de presión A13 o al segundo reactor de presión A21, o puede ser procesado y/o eliminado. En lugar de un ciclón, también se puede utilizar otro dispositivo de limpieza de flujo de gas adecuado.

Si el carbono M94 no se excreta, entra en el reactor Fischer-Tropsch A31 con la corriente de gas de síntesis, donde puede ser excretado o filtrado junto con el carbono producido como subproducto en la reacción Fischer-Tropsch.

Dependiendo del material de partida, puede además estar prevista una preparación de corriente de gas para eliminar las sustancias que interfieren en el gas de síntesis. En particular, los materiales residuales que son desfavorables para la etapa de síntesis subsiguiente son eliminados ventajosamente. Por ejemplo, los compuestos de azufre pueden actuar como un veneno catalítico en la síntesis de Fischer-Tropsch.

El gas de síntesis M24 se conduce a través de un regulador de presión A48 a un tercer reactor de presión A31 de la tercera etapa de procedimiento P3, donde se lleva a cabo la síntesis Fischer-Tropsch. El regulador de presión A48 reduce la presión al valor requerido para la tercera etapa del procedimiento. Para ajustar la relación monóxido de

carbono/hidrógeno deseada, se puede introducir hidrógeno M32 adicional en el reactor Fischer-Tropsch A31. También se suministran los catalizadores de estado sólido M37 necesarios.

5 En la síntesis de Fischer-Tropsch de la tercera etapa del procedimiento, el monóxido de carbono y el hidrógeno tienen una reacción exotérmica fuerte (aproximadamente 158 kJ/mol por miembro de la cadena de hidrocarburos a 250 °C) en catalizadores heterogéneos (por ejemplo, hierro, cobalto, rutenio, catalizadores de níquel) a alcanos, olefinas, alcoholes, aldehídos y otros compuestos y derivados de hidrocarburos. Los subproductos son el metano y el carbono sólido, que también se forman en reacciones fuertemente exotérmicas. Los parámetros exactos de la síntesis de Fischer-Tropsch, en particular la presión y la temperatura, dependen principalmente de los productos a 10 fabricar, y no son directamente relevantes para el principio funcional básico de un dispositivo según la invención o el procedimiento según la invención. Las temperaturas de procedimiento más altas tienden a dar como resultado longitudes de cadena más cortas y una mayor captura de carbono, mientras que presiones más altas resultan en longitudes de cadena más largas. Además, especialmente las actuales presiones parciales de monóxido de carbono, hidrógeno y agua tienen una fuerte influencia en los productos de síntesis.

15 Adecuado para la etapa de síntesis son, por ejemplo, el procedimiento Fischer-Tropsch a baja temperatura, que funciona, por ejemplo, a 210 a 250 °C, y especialmente productos similares a diesel y porciones de cadena larga en forma de ceras. Se puede seguir aprovechando este último, por ejemplo, por hidrocrqueo. Los procedimientos de alta temperatura con temperaturas entre 320 y 350 °C, a su vez, proporcionan proporciones significativas de metano, 20 alcanos y alquenos de cadena corta, así como niveles más altos de gasolina ligera. Para procedimientos de baja temperatura, por ejemplo, los reactores de haz de tubos donde el gas de síntesis fluye de arriba a abajo a través de tubos refrigerados llenos de catalizador. El gas de retorno y los productos abandonan el tubo en la parte inferior.

25 Particularmente adecuados son los reactores de suspensión modernos (se muestran esquemáticamente en la figura 8) donde el catalizador sólido flota finamente distribuido en el producto líquido (denominado procedimiento de suspensión Sasol-Slurry-Fischer-Tropsch). Los productos de reacción se separan de la fase líquida, mientras que los productos gaseosos salen del reactor como parte del gas de retorno M25. La disipación de calor tiene lugar a través de tubos de enfriamiento A32 enganchados, y genera vapor M51, M50.

30 Los reactores de suspensión tienen una estructura más sencilla que los reactores de haz de tubos y, por lo tanto, son más rentables. El catalizador puede usarse de manera más eficiente y es intercambiable durante la operación, lo cual es ventajoso en el procedimiento cíclico según la invención. Además, dicho procedimiento tiene la ventaja de que el catalizador heterogéneo puede regenerarse continuamente por exposición mecánica de superficies nuevas y no utilizadas de las partículas de catalizador durante la circulación. De esta manera, puede compensarse de forma 35 continua un envenenamiento por azufre del catalizador. Como resultado, puede ser innecesaria la eliminación de azufre de la corriente de gas de síntesis.

40 El vapor M51, M50 obtenido por el dispositivo de enfriamiento A32 contiene una energía térmica considerable, pero aún no está lo suficientemente caliente como para un aprovechamiento eficiente, por ejemplo, en una turbina de vapor de una unidad de energía AF. Por lo tanto, se usa ventajosamente para la producción de vapor caliente M52, por ejemplo, en el intercambiador de calor A44, para aumentar la eficiencia energética global de la planta. La interacción de una unidad de recuperación AB y otra unidad generadora de energía AF de una planta de recuperación A ya se ha abordado en las figuras 3 a 5.

45 La corriente de gas M25 que sale del reactor Fischer-Tropsch A31 contiene, además de monóxido de carbono y gas hidrógeno sin reaccionar, también vapor, dióxido de carbono y productos de reacción gaseosos M60. Una proporción de hidrocarburos volátiles M60 puede condensarse a partir de ellos, por ejemplo, con la ayuda de una columna de enfriamiento (no se muestra). Del mismo modo, el agua M41 puede condensarse y eliminarse del gas de retorno y, por lo tanto, del flujo de materia. Del resto de la corriente de gas reciclado, la parte M25b se puede separar como 50 producto del procedimiento. La corriente de gas de reciclaje restante M25a se comprime en un compresor A42 y se devuelve al primer reactor A13.

55 El transporte cíclico del flujo de gas dentro de la planta de recuperación A se debe principalmente a los diferenciales de presión predominantes a lo largo del ciclo. Estos son generados principalmente por los dos compresores A41, A42. Dependiendo del diseño del sistema, se puede prescindir de uno de los dos compresores, lo que reduce los costes generales del sistema. Si la instalación contiene solo un compresor (como en el segundo ejemplo de realización de una planta de recuperación en la figura 9 que se aborda a continuación), la disposición frente al primer reactor A13 tiene la ventaja de que el compresor correspondiente A42 debe comprimir un volumen de gas menor que un compresor A41 entre la primera y segunda etapa del procedimiento, donde además se agregan los gases de pirólisis y el volumen total es mayor debido a la temperatura más alta, o incluso entre la segunda y la tercera etapa 60 del procedimiento.

65 Si se prescinde del compresor A41, solo hay un ligero gradiente de presión entre los dos reactores A13, A21, de modo que la primera y la segunda etapa del procedimiento tienen lugar sustancialmente a la misma presión. La corriente de gas fluye desde el compresor A42 a través del primer A13, el segundo A21 y el tercer reactor A31 de regreso al compresor A42. Por otro lado, cuando se omite el compresor A42, la presión dentro del tercer reactor A31

y el primer reactor A13 es sustancialmente igual. También es posible organizar un compresor entre la segunda y la tercera etapa del procedimiento. Por razones de entropía, al menos un compresor u otro transportador debe estar presente para promover el flujo de gas y mantener el procedimiento en funcionamiento.

- 5 Para compensar las fluctuaciones transitorias en la producción de gas debido a la alimentación heterogénea, se pueden proporcionar acumuladores a lo largo del ciclo de gas M22, M24, M25 (no se muestra). Análogamente, también es posible proporcionar un depósito temporal para la pirólisis M21.

10 Si la unidad de recuperación A de la figura 8 está dimensionada para ser relativamente pequeña, y si el flujo de volumen M22 entre el primer A13 y el segundo reactor de presión A21 es comparativamente bajo, el compresor A41 puede generar una diferencia de presión de varios bares con un gasto de energía razonable. La primera etapa del procedimiento podría ejecutarse a una presión mucho más baja que la segunda etapa del procedimiento. La primera etapa del procedimiento puede llevarse a cabo incluso a presión atmosférica o incluso a baja presión.

15 Puesta en marcha de una planta de recuperación

A continuación, se abordará un posible procedimiento para poner en marcha una planta de recuperación A, tal como se muestra en la figura 8. Para poner en marcha la planta de recuperación A, el ciclo y las tres etapas del procedimiento se lavan y se llenan con un gas libre de oxígeno, ventajosamente con dióxido de carbono y/o monóxido de carbono y/o gas de hidrógeno o mezclas de los mismos, es decir, gas de síntesis. Posteriormente, el segundo reactor de presión A21 previamente presurizado con coque se calienta, por ejemplo, con quemadores de gas. El segundo reactor se separa del ciclo, cerrando los compuestos correspondientes. Durante el calentamiento hasta la temperatura de funcionamiento deseada, el transporte A23 del coque dentro del reactor de presión A21 aún no está activado. Opcionalmente, puede estar previsto un cortocircuito temporal entre el intercambiador de calor A44 y el reactor de presión A21 en el ciclo (no se muestra) para hacer circular el gas calentado en el sistema y calentar la sección completa del sistema de manera uniforme. La presión también aumenta hasta el valor nominal.

Al mismo tiempo, el primer reactor de presión A13, también previamente llenado con coque, se separa del ciclo y se calienta a la temperatura de funcionamiento prevista de la primera etapa del procedimiento. La presión también se lleva al valor deseado para la primera etapa del procedimiento. El transporte de material A15 en el primer reactor todavía está desactivado. Sin embargo, el calentamiento debe realizarse preferentemente sin material de partida, ya que la pirólisis del material de partida por debajo de una temperatura de funcionamiento mínima segura de 450 °C puede conducir a la formación de mezclas explosivas. El coque, por otro lado, ya está pirolizado y solo sirve para suministrar coque a la segunda etapa del procedimiento cuando el ciclo se inicia más tarde.

El reactor Fischer-Tropsch A31 también activa a las condiciones de funcionamiento cuando está desconectado del ciclo. Después de alcanzar las condiciones de funcionamiento en las diversas etapas del procedimiento de la planta de recuperación, los diversos sistemas de transporte A15, A23 se ponen en marcha lentamente, se abre el ciclo y el compresor A41, A42 se pone en funcionamiento, de modo que, en última instancia, un estado de equilibrio de la planta de recuperación AB da como resultado los parámetros operativos deseados.

Otra realización de una unidad de recuperación AB de un dispositivo Z según la invención se muestra en la figura 9. La ilustración del límite de la unidad de recuperación AB se ha omitido para mayor claridad.

45 A diferencia de la unidad de recuperación AB en la figura 8, no está dispuesto ningún compresor entre el primer reactor de presión A13 y el segundo reactor de presión A21, sino solo una válvula de retención A53, de la que, sin embargo, también se puede prescindir. La corriente de gas es transportada a través del sistema por el gradiente de presión creado por el compresor A42. Dado que esta variante ventajosa requiere un solo compresor A42, que también tiene que presentar un volumen de producción más bajo, los costes generales del sistema AB son más bajos.

En la variante mostrada, la corriente de gas de síntesis ramificada M24b no se lleva directamente de regreso al primer reactor A13, sino que pasa a través de un calentador A16 del reactor de presión A13 y luego se junta con el gas de síntesis M24a. De forma alternativa o adicional, puede estar previsto un dispositivo de calentamiento adicional A17, que funciona con vapor de procedimiento M50.

Un intercambiador de calor A45 está dispuesto en el flujo de gas reciclado M25a y sirve para calentar el flujo de gas reciclado M25a a través del vapor de procedimiento M50. El flujo de gas de retorno en esta realización también sirve para suministrar calor al primer reactor de presión A13.

En el ejemplo mostrado, no está prevista ninguna reducción de la presión antes del tercer reactor de presión A31. El control de presión en la tercera etapa del procedimiento se lleva a cabo directamente a través del control de presión en la segunda etapa del procedimiento y la caída de presión posterior debida al enfriamiento de la corriente de gas de síntesis M24 en el intercambiador de calor A44, y del compresor A42.

En otra posible variante del procedimiento según la invención, el reactor Fischer-Tropsch de baja temperatura de la

tercera etapa del procedimiento se reemplaza por un reactor Fischer-Tropsch de alta temperatura donde el catalizador está presente como polvo de combustión agitado. Los hidrocarburos gaseosos de cadena corta formados preferentemente en la síntesis de Fischer-Tropsch a alta temperatura, que permanecen en el gas de retorno después de una primera etapa de condensación, se separan de las moléculas más pequeñas del gas de retorno, tales como dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno por filtros de gas de permeación. Dichos sistemas son conocidos, por ejemplo, de la industria petroquímica para la purificación de gas natural. En el presente caso, sirven para generar una primera fase gaseosa rica en hidrocarburos y una segunda fase gaseosa baja en hidrocarburos. La fase gaseosa rica en hidrocarburos se usa además como combustible para una segunda etapa del generador para generar energía eléctrica, o se procesa en gas licuado y gas natural. La segunda fase gaseosa, baja en hidrocarburos y rica en dióxido de carbono, se envía nuevamente al ciclo como gas de retorno.

En otra variante más de una planta de recuperación de un dispositivo según la invención, la tercera etapa del procedimiento P3 comprende un reactor de síntesis de metanol en fase líquida en lugar de un reactor Fischer-Tropsch. La síntesis de metanol en fase líquida conocida del estado de la técnica es particularmente adecuada para producir metanol con alto rendimiento a partir de gas de síntesis con una mayor proporción de dióxido de carbono. La síntesis tiene lugar en un "Slurry-Bubble-Column-Reactor" donde el gas de síntesis se inyecta en una suspensión del catalizador en polvo en un aceite mineral inerte. La reacción es fuertemente exotérmica, por lo que es necesario un dispositivo de enfriamiento. El metanol gaseoso generado sale del reactor de presión junto con el gas de síntesis sin reaccionar. Después de la separación del aceite mineral arrastrado y el catalizador, el metanol se condensa.

El metanol es un valioso producto base para la industria química, y también puede usarse como combustible. El metanol también puede servir como un aditivo para la gasolina, por ejemplo, en Alemania, se permite una proporción de hasta el 3 % de metanol en la gasolina del vehículo. El metanol también se puede usar en particular como combustible M60 para una segunda etapa del generador.

Control y optimización de los parámetros de funcionamiento de una planta de recuperación

El procedimiento según la invención que se muestra en las figuras 8 y 9 se basa en un flujo de material cíclico a través de las tres etapas del procedimiento P1, P2, P3 de la unidad de recuperación AB, donde el material de partida carbonoso M11 se alimenta como fuente de carbono y portador de energía en el ciclo y los productos de la etapa de síntesis se desvían como materiales reciclables M60 o como materiales de trabajo M61 para la planta de energía C del dispositivo según la invención. La escoria M91 y otros materiales residuales M92, M93, M94, así como el vapor de agua en el gas de retorno M25 se eliminan continuamente del ciclo. El vapor producido en los intercambiadores de calor se utiliza como vapor de procedimiento M50 para el funcionamiento de la planta, aumentando así la eficiencia y la eficacia de la planta. Por otro lado, el vapor caliente M51, M52 puede usarse para la producción de energía en una unidad de energía AF.

Sustancialmente, en un procedimiento de recuperación según la invención, se produce a partir de un material de partida sólido M11 rico en energía, pero heterogéneo y difícil de aprovechar nuevamente un producto de alta energía M60, M61, es decir, las diversas fracciones de la etapa Fischer-Tropsch. Estos luego se pueden seguir aprovechando, por ejemplo, como combustibles líquidos o como eductos para la industria química. La energía necesaria para el funcionamiento de la planta de recuperación AB proviene de la reacción de oxidación parcial en la segunda fase del procedimiento, donde un exceso de la energía química producida allí (en forma de gas de síntesis) se convierte posteriormente en energía térmica en forma de vapor M50, M51 en la reacción exotérmica Fischer-Tropsch de la tercera fase del procedimiento.

En una variante particularmente ventajosa de un procedimiento de generación de energía según la invención o un dispositivo Z según la invención, el vapor M52 sobrecalentado para el funcionamiento continuo de una unidad de energía de carga básica AF se genera a partir del material de partida carbonoso M11, así como el material de trabajo M61 para el funcionamiento flexible de una unidad de energía de carga máxima C.

Debido al flujo circular cerrado de material en el procedimiento, existe un equilibrio dinámico durante la operación de la planta de recuperación A. Los valores necesarios de los diversos parámetros (presión, temperatura, composiciones químicas, velocidades de transporte, etc.) en las partes individuales de la planta se determinan, entre otras cosas, por el tipo de material de partida utilizado. Para mantener un estado operativo constante a pesar del material de partida heterogéneo, se pueden controlar varios parámetros operativos.

Para la producción de hidrocarburos y otros productos en la tercera etapa P3 de Fischer-Tropsch, la presión y la temperatura en el tercer reactor A31 son los parámetros decisivos. La presión se puede controlar a corto plazo con el compresor A42 aumentando o disminuyendo su capacidad. La temperatura se puede controlar a su vez por la capacidad de enfriamiento del intercambiador de calor A32. A largo plazo, la presión puede controlarse mediante la presión en la corriente de gas de síntesis M24 cambiando la presión de funcionamiento y la temperatura en la segunda etapa del procedimiento, y controlando la capacidad de enfriamiento del intercambiador de calor A44, y por tanto la temperatura y la caída de presión en la corriente de gas de síntesis M24.

El control de una planta de recuperación A es comparativamente sencillo, porque la planta está en un estado de

equilibrio con retroalimentación, y para controlar algunos parámetros relevantes, se puede cambiar una pluralidad de parámetros, los parámetros operativos individuales de los diversos componentes de la planta, lo que puede afectar el equilibrio de forma lenta o rápida.

- 5 El procedimiento de recuperación según la invención se lleva a cabo preferentemente con un mayor contenido de dióxido de carbono. Esto desplaza, entre otras cosas, el equilibrio de reacción IV hacia la izquierda (más monóxido de carbono). Este aumento del contenido de dióxido de carbono es posible gracias al aumento de la presión de funcionamiento de la planta de recuperación entre 10 y 60 bar, manteniendo al mismo tiempo las mayores cantidades absolutas posibles de monóxido de carbono y, por lo tanto, la capacidad de procesamiento. También son posibles presiones más altas o más bajas, pero son menos eficientes.

15 La planta de recuperación puede optimizarse en varios aspectos. Si, por ejemplo, se van a producir materiales reciclables como hidrocarburos y ceras análogos a diesel y gasolina, etc., a partir de biomasa neutra con respecto al dióxido de carbono, como astillas de madera, en la tercera fase del procedimiento, el procedimiento se diseñará de manera que se consiga la relación más favorable posible entre los costes de la biomasa y las operaciones actuales y el valor de los materiales reciclables producidos. Por otro lado, se debe tener menos en cuenta la emisión de dióxido de carbono, ya que es biomasa neutra en dióxido de carbono. Para mejorar aún más el equilibrio ecológico, se puede reducir el suministro de energía externa (corriente eléctrica, etc.), posiblemente con un mayor consumo de biomasa.

20 Si, por otro lado, el énfasis está en la eliminación ecológica de sustancias contaminadas con contaminantes con una producción mínima de dióxido de carbono, la planta se opera de tal manera que se elimina la menor cantidad de dióxido de carbono posible del ciclo que se libera al medio ambiente. Esto puede conducir a un aumento de la necesidad de energía externa.

25 Del mismo modo, la planta de recuperación puede optimizarse para obtener el máximo rendimiento del material de partida, de modo que el coque de pirólisis opcionalmente sin procesar abandone la tercera etapa del procedimiento junto con la escoria. El coque de pirólisis poco problemático en términos medioambientales puede depositarse junto con la escoria. Dicha variante es ventajosa, por ejemplo, si se quiere que grandes cantidades de material contaminado se conviertan en inofensivos de manera neutral respecto al dióxido de carbono.

30 La temperatura de funcionamiento de la segunda etapa del procedimiento P2 también se puede optimizar. Por ejemplo, la temperatura de funcionamiento de la segunda etapa de procedimiento P1 de la unidad de recuperación AB puede reducirse para aumentar el rendimiento en el segundo reactor A21. Esto puede provocar que algunas sustancias volátiles del gas de pirólisis M22 ya no se craqueen y entren en el reactor Fischer-Tropsch A31 con el gas de síntesis M24. Por ejemplo, el benceno del material de partida, como el aceite pesado, puede llegar en cantidades más pequeñas a los productos de síntesis de Fischer-Tropsch. Allí, estos materiales permanecen como parte de un material de trabajo M61 líquido, pero si es necesario, también se pueden separar.

40 La figura 10 muestra esquemáticamente una realización ventajosa de una unidad de recuperación AB. Entre la primera etapa del procedimiento P1 y la segunda etapa del procedimiento P2, está dispuesto un intercambiador de calor A46, que sirve para calentar los gases de pirólisis M22 antes de ingresar al segundo reactor de presión A21 con vapor de procedimiento M50 a la temperatura de funcionamiento de la segunda etapa del procedimiento. También es posible alimentar el intercambiador de calor A46 con gas de síntesis caliente M24.

45 El compresor A43 está dispuesto en la línea de transporte del gas de síntesis M24, después de un intercambiador de calor A44. Aunque el flujo de masa en este punto del sistema es mayor, debido a la temperatura mucho más baja después del intercambiador de calor A44, el volumen de gas que se manipulará para el compresor A43 es menor, y la temperatura de funcionamiento del compresor es más baja allí.

50 En la unidad de recuperación AB mostrada, no está previsto ningún ciclón para la separación de los componentes sólidos M92 en la corriente de gas de síntesis. El polvo residual M92, M94 ingresa a la tercera etapa del procedimiento P3 sin obstáculos, donde se une en la fase líquida en el reactor de síntesis A31. Dado que el polvo residual en los hidrocarburos es insoluble, se puede filtrar sin mucho esfuerzo. Prescindir del separador ciclónico reduce los costes de la planta de recuperación AB.

55 Otra realización ventajosa de una unidad de recuperación AB de un dispositivo Z que se dio a conocer se muestra en la figura 11, que es particularmente adecuada para la producción de materiales de trabajo M61 líquidos a partir de biomasa libre de contaminación como, por ejemplo, astillas de madera. En esta variante, los gases de pirólisis M22 no pasan a la segunda etapa del procedimiento P2 sino a la tercera etapa del procedimiento P3, el gas de síntesis M24 no está en la tercera etapa del procedimiento P3 sino a la primera etapa del procedimiento P1, y el gas de retorno M25 no está en la primera etapa del procedimiento P1 sino en la segunda etapa del procedimiento P2.

60 En la primera etapa del procedimiento P1, la corriente de gas de síntesis caliente M24 calienta el producto de pirólisis y mantiene la temperatura de funcionamiento. La corriente de gas de pirólisis M22 que emerge de la primera etapa del procedimiento contiene, por tanto, no solo los gases de pirólisis reales sino también la porción de gas de

síntesis de la segunda etapa del procedimiento, que, por lo tanto, hace aquí un bucle sobre la primera etapa del procedimiento.

5 En la segunda etapa del procedimiento P2, se hace reaccionar la proporción de gas de síntesis en los gases de pirólisis M22, mientras que los componentes del gas de pirólisis que aún no se condensan en el intercambiador de calor A45 M23 se disuelven en la fase líquida del reactor de síntesis A31. Dado que con un uso directo de los productos M60 de la tercera etapa del procedimiento como combustible o como combustible para el segundo dispositivo de accionamiento C11, los requisitos de pureza no son particularmente grandes, se puede prescindir del craqueo de los gases de pirólisis. El combustible o material de trabajo M61 se limpia a continuación para eliminar
10 residuos inadecuados, como ácidos orgánicos, etc. Las fracciones condensadas M23 del gas de pirólisis, que tienen un bajo punto de fusión y punto de ebullición y contienen una cantidad considerable de alquitrán, pueden suministrarse ventajosamente como agregado sólido o líquido M23 a la segunda etapa del procedimiento.

15 La corriente de gas reciclado M25 se comprime A42, se calienta A46 y se introduce en la segunda etapa del procedimiento P2, de modo que se forma nuevamente un ciclo. Como el craqueo de los gases introducidos en el reactor de presión A21 no es necesario, la segunda etapa del procedimiento puede ejecutarse a una temperatura de funcionamiento más baja.

20 La figura 12 muestra una realización de una unidad de recuperación AB donde la primera y segunda etapa del procedimiento P1, P2 se llevan a cabo en un reactor de presión A24 común. La pirólisis tiene lugar en una primera cámara A25 del reactor A24, la gasificación en una segunda cámara A26. Las dos cámaras A25, A26 están formadas por una pared de separación A27 dispuesta en el reactor de presión A24, con un paso a través del cual un sistema de transporte común transporta el coque de pirólisis M21 y fluye el gas de pirólisis M22. La pared divisoria A27 sirve principalmente para aislar térmicamente las dos cámaras A27, A26, de modo que en las dos etapas del
25 procedimiento se puedan conducir diferentes temperaturas de funcionamiento. También es posible equipar un reactor de presión tan común con más de dos cámaras separadas.

Planta de energía para la producción de energía de carga máxima

30 Si un dispositivo de accionamiento C11 de una planta de energía C de un dispositivo según la invención está diseñado como un motor de combustión interna, entonces, en una variante ventajosa de dicho dispositivo de accionamiento, se puede usar el agua M40 como un agente de expansión adicional. Para este fin, se inyecta una determinada cantidad de agua en el cilindro después del encendido del procedimiento de combustión, por ejemplo, después del autoencendido de la mezcla de combustible y aire comprimido en un motor diesel. Esta agua, que
35 preferentemente se atomiza finamente, se evapora luego por la energía térmica de la reacción de oxidación exotérmica. La presión de gas resultante o el aumento de volumen de gas debido al vapor de agua contribuyen así a la generación de energía cinética, pero al mismo tiempo disminuye la temperatura de la mezcla total de gases de combustión y vapor de agua. Sin embargo, esto no supone un problema o incluso es deseable, porque debido a la mayor densidad de energía de una reacción con oxígeno puro, surgen temperaturas de reacción mucho más altas, lo que mejora la eficiencia termodinámica, pero también puede cargar más las partes del dispositivo de
40 accionamiento C11.

45 Alternativamente, el agua también se puede introducir como vapor M50. También se puede suministrar una determinada proporción de agua líquida mezclada con el material de trabajo líquido. A altas temperaturas de reacción, el vapor sobrecalentado también actúa como agente oxidante adicional además del oxígeno.

A continuación, el modo de funcionamiento de dicho posible dispositivo de accionamiento C11 para una planta de energía C de carga máxima de un dispositivo Z según la invención se describe y explica con mayor detalle en la figura 13, utilizando el ejemplo de un motor de combustión interna en forma de un motor de pistón con un cilindro.
50 Sin embargo, de manera análoga, los dispositivos de accionamiento C11 configurados como motores de combustión interna también pueden estar configurados como turbinas o motores Wankel, etc. Los gases de combustión calientes se utilizan según el principio de funcionamiento del tipo respectivo de motor de combustión interna para la realización de trabajos mecánicos, por ejemplo, para operar un sistema generador, y, por lo tanto, de manera parcialmente relajada. Posteriormente, el gas de oxidación M27 sale de la cámara de combustión. Así, por ejemplo, en el caso de un motor de combustión configurado como un motor de pistón de cuatro tiempos, la mezcla de gases de combustión M27 se expulsa del cilindro en el tercer golpe, y luego se comprime y enfría. También es posible
55 realizar un dispositivo de accionamiento C11 como un motor térmico con combustión externa, por ejemplo, como una máquina de vapor o una turbina de vapor.

60 El motor de combustión interna C11 que se muestra en la figura 13 tiene un cilindro C22 y un pistón C23 móvil en el mismo, que juntos forman una cámara de combustión cerrada C21. Con un dispositivo de suministro C27 que se muestra solo esquemáticamente, se introduce oxígeno M31 en la cámara de combustión C21 en expansión en un primer ciclo. Posteriormente, en un segundo ciclo, el oxígeno M31 se comprime, y al final del segundo ciclo con un dispositivo de suministro C29, el combustible M61 se introduce en la cámara de combustión C21 y se quema. En el
65 tercer ciclo subsiguiente, los gases de combustión en expansión M27 realizan un trabajo mecánico, y en el cuarto ciclo, los gases de combustión parcialmente expandidos M27 se descargan de la cámara de combustión C21 a

través de un dispositivo de ventilación C24, que no se muestra.

Los gases de oxidación calientes M27, que consisten esencialmente solo en dióxido de carbono y vapor de agua, se enfrían en un intercambiador de calor C12 posterior. De esta manera se reduce el volumen de estos gases de oxidación M27. Con el enfriamiento, se condensa mayor parte del agua M41 se separa. El gas residual restante M26, que consiste esencialmente solo en dióxido de carbono y opcionalmente cantidades residuales de monóxido de carbono y materiales de trabajo sin reaccionar, se comprime en un compresor C13 dispuesto en serie y recogido en un acumulador de presión BB. La etapa de condensación C12 antes de la compresión reduce la formación no deseada de gotas de condensado en el compresor C13.

El motor de combustión interna ilustrado C11 no presenta emisiones. Dado que el dispositivo no funciona con aire o mezclas de gases similares como agente oxidante, no se pueden producir contaminantes específicos del aire como, por ejemplo, óxidos de nitrógeno. El agua que se produce durante la combustión no es problemática y puede separarse. El dióxido de carbono se introduce como gas residual M26 en el ciclo de la planta de recuperación AB. Las porciones no quemadas del material de trabajo se condensan con el agua y se separan o se comprimen junto con el dióxido de carbono. Los gases de oxidación M27 del dispositivo de accionamiento C11 también se pueden pasar sin enfriar directamente a la primera o segunda etapa del procedimiento.

Si la unidad de energía de carga máxima C está separada espacialmente de la planta de recuperación A, y un retorno directo de los gases residuales M26 no es viable, estos también pueden ser transportados muy comprimidos a alta presión en acumuladores de presión BB desde la planta de energía C de vuelta a la planta de recuperación A.

Otra posible realización de un dispositivo de accionamiento C11 configurado como un motor de combustión interna se muestra esquemáticamente en la figura 14. En esta variante, el agua M40 se introduce en la cámara de combustión C21 a través de un dispositivo de suministro C28 que se muestra solo esquemáticamente. Esto se hace preferentemente de manera que durante o después de la reacción de combustión, se inyecte una determinada cantidad de agua, líquido o vapor en la cámara de combustión C21 y se distribuya finamente. Esta agua se calienta por el calor de la combustión, por lo que el volumen total de gas en la cámara de combustión C21 aumenta y, por lo tanto, también la presión de gas o el volumen de gas disponible para la realización del trabajo mecánico. En consecuencia, la cantidad de combustible puede reducirse mientras se mantiene el mismo rendimiento.

De forma alternativa o adicional, el agua M40 también se puede introducir en la corriente de gas de oxidación M27 cuando ha salido de la cámara de combustión C21. Dicha variante tiene la ventaja de que la reacción de combustión en la cámara de combustión puede tener lugar eficientemente a las temperaturas más altas posibles, y al mismo tiempo la temperatura resultante del flujo de gas de oxidación es tan baja que los dispositivos subsiguientes C12, C13 están menos cargados.

La cantidad de agua y el tiempo de inyección se ajustan con el suministro de combustible M61 y oxígeno M31 para que la reacción de combustión pueda tener lugar de forma eficiente. La ventaja de la temperatura resultante durante la reacción de oxidación es esencialmente que la eficiencia termodinámica del motor térmico es lo más alta posible. Cuanto mayor sea la cantidad de agua utilizada, menor será la proporción relativa de dióxido de carbono en los gases de reacción, lo que reduce la cantidad de gas residual M26 que queda tras la condensación del agua M41.

En la versión que se muestra en la figura 14, los gases de oxidación M27 se comprimen primero en un compresor C13 antes de ser enfriados en el intercambiador de calor C12. Esta variante también se puede combinar con el motor de combustión interna C11 sin inyección de agua de la figura 13, y viceversa, y generalmente se puede utilizar para un dispositivo de accionamiento C11.

La energía necesaria para el funcionamiento del compresor de una unidad de accionamiento C11 es generada ventajosamente por la propia unidad de accionamiento. Como resultado, la eficiencia alcanzable del dispositivo de accionamiento disminuye, pero al mismo tiempo se consigue el funcionamiento exento de emisiones del dispositivo de accionamiento mencionado. Además, la potencia alcanzable es mayor con las mismas dimensiones del motor, lo que a su vez compensa la pérdida de potencia. Por ejemplo, el compresor puede funcionar directamente con el cigüeñal de un motor de combustión interna de pistón a través de una caja de cambios adecuada.

Si la unidad de accionamiento C11 incluye una turbina, el compresor puede montarse directamente en el mismo cigüeñal. Los gases de oxidación pueden condensarse directamente después del procedimiento de expansión y el resto del flujo residual puede comprimirse.

En otra variante de un dispositivo de accionamiento configurado como motor de pistón, los gases de oxidación ya están precomprimidos dentro de la cámara de combustión después de la combustión en el tercer ciclo y solo entonces se descargan a través del dispositivo de ventilación C24. Si es necesario, también se puede omitir el compresor C13 posterior.

Dicha realización también es posible como variante de dos tiempos, ya que la nueva carga de la cámara de combustión con la mezcla de reacción (combustible M61, oxígeno M31, agua M40) puede llevarse a cabo muy

rápidamente en un dispositivo de accionamiento. En un segundo ciclo ascendente, los gases de combustión son precomprimidos y descargados de la cámara de combustión hacia el final del ciclo. El oxígeno gaseoso puede ser inyectado en la cámara de combustión bajo alta presión al final del ciclo ascendente, ya que se requiere relativamente poco oxígeno para una reacción de combustión completa, y se dispone de agua como agente de expansión adicional. El material de trabajo M61 líquido y el agua M40 como agente de expansión pueden inyectarse muy rápidamente y a alta presión en la cámara de combustión C21.

El consumo de energía del compresor C13 puede optimizarse mediante una combinación adecuada con uno o más intercambiadores de calor o elementos de refrigeración donde el volumen de gas puede reducirse transfiriendo la energía térmica de los gases de reacción a un disipador de calor interno o externo.

El intercambiador de calor/condensador C12 puede usarse para generar vapor, que puede usarse para aumentar la eficiencia de una unidad de energía AF de la planta de recuperación, o para generar vapor de procedimiento M50 para el funcionamiento de la unidad de recuperación AB de la planta de recuperación.

La figura 15 muestra una variante de realización particularmente ventajosa de una planta de energía de carga máxima C, con un dispositivo de accionamiento C11, que está configurado como una turbina combinada de gas/vapor. En una cámara de combustión C21 anterior, el material de trabajo M61 se quema con oxígeno M31 en un quemador C25, formando un gas de combustión muy caliente. El agua se introduce en la cámara de combustión C21, preferentemente en forma de agua líquida sobrecalentada con una temperatura de, por ejemplo, 250 °C y una presión de 50 bar. El vapor de agua resultante se mezcla con los gases de combustión, dando lugar a un gas de oxidación M27a caliente (por ejemplo, 600 °C) con una alta proporción de vapor de agua sobrecalentado, que sale de la cámara de combustión C21 y se convierte en trabajo mecánico en un dispositivo de turbina aguas abajo C30, que a su vez acciona un dispositivo generador C31. Dependiendo de la configuración, la mezcla de gases en la cámara de combustión se comporta de forma isocórica, de modo que la presión del gas aumenta, o de forma isobárica, de modo que el volumen de gas aumenta en consecuencia, o bien aumenta tanto el volumen como la presión. El dispositivo de turbina C30 posterior debe configurarse en consecuencia. Las turbinas C30 adecuadas son conocidas del estado de la técnica y suelen tener varias etapas de procedimiento. En una variante alternativa, el vapor de procedimiento M50 parcialmente relajado puede ser extraído después de una etapa de alta presión del dispositivo de turbina C30 y usado de otra manera.

El gas de oxidación expandido M27b se introduce en un condensador/economizador C12, donde el agua M41 se condensa y se separa. El gas residual M26 restante, que contiene sustancialmente dióxido de carbono, se comprime en un compresor C13 y se transporta a la primera etapa del procedimiento P1 de una planta de recuperación AB. El compresor C13 es impulsado de manera ventajosa directamente por la turbina C30.

En lugar de mezclarse en la cámara de combustión C21, el agua M40 también puede mezclarse con el flujo de gas de oxidación M27a a continuación de la cámara de combustión C21, por ejemplo, mediante una boquilla venturi.

En la unidad de accionamiento C11, la cantidad de agua M40 y la cantidad de mezcla de combustible M61, M31 y los demás parámetros seleccionables se adaptan de forma ventajosa entre sí, de modo que la siguiente turbina alcanza el mayor aprovechamiento energético posible. Al mismo tiempo, la proporción de agua en la mezcla de gases de oxidación M27b debe ser lo más alta posible. Por un lado, se consigue la mayor caída de presión posible de la mezcla de gases en el condensador C12, lo que aumenta la diferencia de presión total a través de la turbina C30 y, por tanto, su eficiencia. Por otro lado, queda menos gas residual M26, que hay que comprimir C13.

Otra ventaja de introducir vapor en la cámara de combustión es el efecto de enfriamiento del vapor M50. La oxidación exotérmica de la mezcla de combustible M61, M31 puede conducir a temperaturas muy altas de hasta 1000 °C o incluso 2000 °C. Estas temperaturas supondrían una carga muy pesada para las estructuras de la cámara de combustión C21 y el dispositivo de turbina C30 a continuación. El vapor de agua comparativamente frío se introduce preferentemente en la cámara de manera que proteja las paredes de la cámara de combustión C21 de la llama muy caliente C26. Finalmente, el vapor enfría toda la mezcla de gases a de 600 °C a 800 °C, lo que reduce la carga térmica en las aspas de la turbina y aumenta la vida útil en consecuencia.

Además de los aspectos ya mencionados, el dispositivo de accionamiento mostrado difiere de una turbina de gas convencional, por ejemplo, en que no hay ningún compresor conectado antes de la cámara de combustión. Esto permite un diseño mucho más sencillo de la cámara de combustión C21 que con una turbina de gas. Dado que los materiales de trabajo M61 se queman con oxígeno M31 puro, la densidad de energía alcanzable es mayor que cuando se utiliza aire con su contenido reducido de oxígeno. Sin embargo, para aumentar la cantidad de oxígeno que se puede introducir en la cámara de combustión C21 por unidad de tiempo, se le puede presurizar de antemano. El dispositivo de turbina C30 puede estar diseñado como una turbina de vapor, ya que los intervalos de temperatura y presión del gas de oxidación M27a son sustancialmente los mismos.

En el funcionamiento normal, el dispositivo de accionamiento C11 de la planta de energía C permanece inactivo. Una pequeña cantidad de vapor mantiene la turbina C30 en movimiento, mientras que el dispositivo generador no produce electricidad. Si la necesidad de electricidad aumenta durante un corto período de tiempo, la mezcla de

combustible M31, M61 se inyecta en la cámara de combustión C21 y se enciende con un dispositivo de encendido (no se muestra). Al mismo tiempo, la cantidad de agua inyectada M40, M50 aumenta. La turbina C30 ahora se activa y el generador C31 entra en funcionamiento.

- 5 La unidad de accionamiento C11 también puede estar permanentemente en funcionamiento, por ejemplo, entre el 10 % y el 50 % del rendimiento de la unidad generadora de carga básica AF. Si la demanda de electricidad aumenta, la planta C puede alcanzar la potencia máxima en muy poco tiempo, por ejemplo, el 500 % de la potencia de la planta generadora de carga básica AF. Un dispositivo Z según la invención puede así adaptar de manera dinámica el rendimiento global sobre un amplio intervalo. Una unidad de energía de carga máxima C también puede presentar
10 varias cámaras de combustión C21 y/o dispositivos de turbina C30.

Estructura modular de la planta

- 15 En una realización particularmente ventajosa de un dispositivo según la invención, las partes individuales del sistema están dimensionadas y configuradas para que puedan desmontarse de manera eficiente en módulos individuales, que pueden transportarse en camión y posteriormente volverse a montar. Particularmente ventajoso es el dimensionamiento máximo de los módulos, que permite un transporte sin medios de transporte especiales.

- 20 Dicha instalación modular según la invención tiene la ventaja de que también se puede crear de manera temporal, por ejemplo, para un período de funcionamiento de solo unos pocos años o incluso meses. Tan pronto como no hay más demanda, se puede desmontar y volver a montar en una nueva ubicación. Una instalación de este tipo es particularmente conveniente, por ejemplo, en la minería, cuando hay que construir una gran infraestructura energética en zonas mineras remotas en un corto período de tiempo, y que ya no es necesaria una vez finalizadas las actividades mineras. Por ejemplo, una instalación de recuperación de una instalación según la invención puede
25 usarse para producir combustible diesel para vehículos y generadores de energía de una mina a cielo abierto remota a partir de biomasa cultivada localmente y materiales de desecho carbonosos y/o energía eléctrica para el funcionamiento de la infraestructura.

- 30 Las instalaciones según la invención son especialmente adecuadas para una construcción modular. En particular, los reactores de la primera y segunda etapa del procedimiento pueden construirse como reactores horizontales con una sección transversal comparativamente pequeña sin que se reduzca el rendimiento. El reactor simplemente se alarga correspondientemente en la dirección longitudinal. El reactor puede, por tanto, construirse en dirección longitudinal a partir de varios módulos embridados entre sí. El reactor de síntesis puede escalarse utilizando varios reactores que funcionan en paralelo.
35

En la parte superior se describieron y representaron diferentes formas de realización. Para un experto en la materia, sin embargo, es obvio que se pueden hacer varios cambios y modificaciones sin desviarse del principio de la invención.

40 **Lista de referencias**

- | | |
|---------------|--|
| Z | Dispositivo para la generación de energía e hidrocarburos y otros productos sin emisiones mediante el aprovechamiento de materiales carbonosos |
| 45 A | Planta de recuperación |
| AB | Unidad de recuperación |
| 50 AC, AD, AE | Subunidades de la primera, segunda y tercera etapa del procedimiento de la unidad del ciclo |
| A11 | Esclusa de aire |
| 55 A13 | Reactor de pirólisis, primer reactor de presión |
| A14 | Cuerpo de presión |
| A15 | Parrilla móvil |
| 60 A16, A17 | Dispositivo de calentamiento |
| A21 | Reactor de gasificación, segundo reactor de presión |
| 65 A22 | Cuerpo de presión |
| A23 | Parrilla móvil |

ES 2 758 543 T3

	A24	Reactor de presión común primera y segunda etapa de procedimiento
5	A25	Primera cámara
	A26	Segunda cámara
	A27	Pared divisoria
10	A28	Esclusa de aire
	A31	Reactor Fischer-Tropsch, reactor de síntesis
15	A32	Enfriamiento etapa de síntesis, caldera en el ciclo de vapor de la unidad de energía AF
	A41, A42, A43	Compresor
	A44, A45, A46	Intercambiador de calor, sobrecalentador ciclo de vapor de la unidad de energía AF
20	A47	Separador ciclónico
	A48	Reducción de la presión
25	A49, A50, A51, A52	Válvula de cierre
	A53	Válvula de retención
30	AF	Unidad de energía de la planta de recuperación, parte de la planta para la generación de energía de carga básica exenta de emisiones
	A61	Dispositivo de accionamiento
	A62	Turbina de vapor
35	A63	Condensador, economizador
	A64	Dispositivo generador
40	A65	Circuito de refrigeración externo
	A66	Bomba
45	AG	Unidad de descarga AG; parte de la planta para la descarga y el tratamiento de cenizas y materiales residuales
	A91	Silo, tanque de almacenamiento
50	AH	Unidad de procesamiento, parte de la planta para procesar y suministrar el material carbonoso
	A92	Almacenamiento de escoria
55	B	Planta para el transporte y depósito temporal de materiales de trabajo y gases de oxidación entre la planta de recuperación y la planta de energía
	BA	Unidad de depósitos de materiales de trabajo
	BB	Unidad de almacenamiento de gas de oxidación
60	BC	Barco, tren, gasoducto, medios de transporte
65	C	Planta de energía C, parte de la planta para la generación exenta emisiones de energía de carga máxima mediante el aprovechamiento de los materiales de trabajo carbonosos de la planta de recuperación
	C11	Dispositivo de accionamiento

ES 2 758 543 T3

	C12	Condensador/economizador
	C13	Compresor
5	C14	Circuito de refrigeración externo
	C21	Cámara de combustión
10	C22	Cilindro
	C23	Pistón
	C24	Dispositivo de ventilación
15	C25	Quemador
	C26	Llama
20	C27	Dispositivo de suministro de oxígeno
	C28	Dispositivo de suministro de agua
	C29	Dispositivo de suministro de material de trabajo
25	C30	Turbina
	C31	Dispositivo generador
30	D	Planta para la producción y suministro de energía química externa, parte de la planta para la producción de hidrógeno
	DA	Unidad de energía eólica
35	DB	Unidad de energía solar
	DC	Unidad de electrólisis
	DD	Industria productora de hidrógeno
40	DE	Unidad de depósito temporal
	DF	Unidad de depósito temporal
45	DG	Barco, tren, gasoducto, medios de transporte
	E1	Energía eléctrica o mecánica (carga básica)
	E2	Energía eléctrica o mecánica (carga máxima)
50	E3	Energía eléctrica suministrada
	E4	Energía térmica
55	P1	Primera etapa del procedimiento
	P2	Segunda etapa del procedimiento
	P3	Tercera etapa del procedimiento
60	P6	Entrada de materiales carbonosos
	P7	Salida de materiales residuales
65	M10	Material de partida carbonoso que todavía no está tratado

ES 2 758 543 T3

	M11, M12	Material de partida carbonoso
	M13	Combustibles adicionales
5	M14	Materiales de trabajo adicionales
	M17	Materiales residuales descartados, Material de reciclaje
10	M21	Coque de pirólisis
	M22	Gas de pirólisis
	M23	Componentes poco volátiles del gas de pirólisis
15	M24, M24a, M24b	Gas de síntesis
	M25, M25a, M25b	Gas de retorno
20	M26	Gas residual
	M27, M27a, M27b	Gases de oxidación
	M31	Oxígeno, agente oxidante
25	M32	Gas de hidrógeno
	M33	Dióxido de carbono
30	M37	Catalizador
	M40	Agua, agua de procedimiento, agua de alimentación
	M41	Condensado, agua condensada
35	M50	vapor de procedimiento
	M51, M52, M53	Vapor en el ciclo de la turbina
40	M60	Productos de la etapa del procedimiento de síntesis
	M61	Productos de la etapa del procedimiento de síntesis, material de trabajo
	M90	Materiales residuales
45	M91	Escoria, cenizas, residuos
	M92	Polvo residual
50	M93	Materiales residuales
	M94	Grafito, carbón activo, materiales residuales que contienen carbón
	t	Tiempo
55	P	Potencia
	Pa	Contenido de calor
60	Pb	Potencia térmica en Pb de una planta de energía convencional
	Pc, Pc1, Pc2	Potencia de carga básica
	Pd	Potencia térmica efectiva de un dispositivo según la invención
65	Pe, Pe1, Pe2	Potencia total

ES 2 758 543 T3

Pf	Potencia de carga básica de la unidad de energía de carga básica
Pg	Capacidad de productiva del material de trabajo de la planta de recuperación

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la producción de energía (E1, E2, E4) y/o hidrocarburos y metanol (M60, M61) mediante el aprovechamiento de materiales carbonosos (M10, M11) sin emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, donde
- 5 en una primera etapa del procedimiento (P1), los materiales carbonosos (M10, M11) se suministran y pirolizan, donde se producen coque de pirólisis (M21) y gas de pirólisis (M22);
- 10 en una segunda etapa del procedimiento (P2), el coque de pirólisis (M21) de la primera etapa del procedimiento (P1) se gasifica, donde se forma gas de síntesis (M24), y se eliminan la escoria y otros residuos (M91, M92); y
- 15 en una tercera etapa del procedimiento (P3), el gas de síntesis (M24) de la segunda etapa del procedimiento (P2) se convierte con una síntesis Fischer-Tropsch o una síntesis de metanol en fase líquida en hidrocarburos y/o metanol (M60, M61), que se eliminan;
- 20 caracterizado porque las tres etapas del procedimiento (P1, P2, P3) forman un ciclo cerrado,
- el gas de pirólisis (M22) de la primera etapa del procedimiento (P1) se pasa a la segunda etapa del procedimiento (P2),
- 25 en la segunda etapa del procedimiento, se inyecta oxígeno (M31) y opcionalmente vapor de procedimiento (M50) en un lecho de ascuas formado por el coque de pirólisis (M21),
- el gas de pirólisis (M22) se inyecta por separado desde el punto de entrada del oxígeno a la fase gaseosa por encima del lecho de ascuas, donde las moléculas poliatómicas contenidas en el gas de pirólisis se craquean y se descomponen,
- 30 la temperatura en la segunda etapa del procedimiento es de 850 °C o más, donde el coque de pirólisis y el gas de pirólisis permanecen en la segunda etapa del procedimiento durante al menos 2 segundos,
- el gas de síntesis (M24) de la segunda etapa del procedimiento (P2) es dirigido a la tercera etapa del procedimiento (P3), y
- 35 el exceso de gas (M25) de la tercera etapa del procedimiento (P3) se pasa como gas de retorno a la primera etapa del procedimiento (P1).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque se suministra hidrógeno (M32), preferentemente en la tercera etapa del procedimiento (P3).
- 40 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque se suministra dióxido de carbono (M33), preferentemente en la primera etapa del procedimiento (P1) o en la segunda etapa del procedimiento (P2).
4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque está presente un gradiente de presión a lo largo del ciclo.
- 45 5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el suministro de energía térmica para las reacciones de pirólisis en la primera etapa del procedimiento (P1) puede llevarse a cabo parcial o completamente devolviendo parte (M24b) del gas de síntesis caliente desde la segunda etapa del procedimiento (P2) a la primera etapa del procedimiento (P1), y/o mediante la oxidación parcial del material de partida carbonoso (M11) y el coque de pirólisis (M21) resultante.
- 50 6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la primera etapa del procedimiento (P1) se lleva a cabo a una temperatura de entre 300 y 800 °C, preferentemente entre 450 y 700 °C, y con especial preferencia entre 500 y 600 °C.
- 55 7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque para la reacción de gasificación en la segunda etapa del procedimiento (P2) se usa oxígeno (M31) y/o vapor de agua (M50) y/o dióxido de carbono (M33) como agente de gasificación.
- 60 8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en la segunda etapa del procedimiento (P2) la energía térmica necesaria para la reacción de gasificación se suministra parcial o completamente desde el exterior, por ejemplo, mediante dispositivos de calentamiento y/o intercambiadores de calor; y/o por oxidación de una parte del coque de pirólisis (M21) con un agente oxidante, en particular oxígeno (M31).
- 65 9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la segunda etapa del

procedimiento (P2) se lleva a cabo a una temperatura de entre 600 y 1600 °C, preferentemente entre 700 y 1400 °C, y con especial preferencia entre 850 y 1000 °C.

5 10. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la primera etapa del procedimiento (P1) y/o la segunda etapa del procedimiento (P2) se lleva a cabo a una presión de entre 1 y 60 bar, preferentemente entre 5 y 25 bar, y con especial preferencia entre 10 y 15 bar.

10 11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la primera etapa del procedimiento (P1) y la segunda etapa del procedimiento (P2) se llevan a cabo en el mismo reactor de presión (A24).

15 12. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se genera (C11, C31) energía eléctrica y/o mecánica (E2), por oxidación de los hidrocarburos y/o metanol (M61) de la tercera etapa del procedimiento (P3) a un gas de oxidación (M27) que consiste esencialmente en dióxido de carbono y agua.

13. Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado porque se usa oxígeno puro (M31) como agente oxidante.

20 14. Procedimiento según la reivindicación 12 o 13, caracterizado porque el agua se condensa de los gases de oxidación (M27) y/o se separa.

25 15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 12 a 14, caracterizado porque al menos una parte de los gases de oxidación (M27) se vuelven a introducir en la primera etapa del procedimiento (P1) y/o la segunda etapa del procedimiento (P2) y/o la tercera etapa del procedimiento (P3) del procedimiento de recuperación.

30 16. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 15, caracterizado porque la energía eléctrica y/o mecánica (E1) es generada por el gas de síntesis (M24) que se enfría en un intercambiador de calor (A44, A46), donde se produce vapor de agua (M50, M50, M51, M52) y/u otro gas caliente, a partir del cual con un motor térmico (A62), preferentemente una turbina de vapor, se genera energía eléctrica y/o mecánica (E1).

35 17. Dispositivo (Z) para generar energía (E1, E2, E4) y/o hidrocarburos y/o metanol (M60, M61) mediante el aprovechamiento de materiales carbonosos (M10, M11) sin emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, con una planta de recuperación (A), que incluye una unidad de recuperación (AB)

con una primera subunidad (AC, P1) para llevar a cabo una pirólisis de los materiales carbonosos (M11) a coque de pirólisis (M21) y gas de pirólisis (M22);

40 una segunda subunidad (AD, P2) para llevar a cabo una gasificación del coque de pirólisis (M21) en un lecho de ascuas a una temperatura de 850 °C o superior a gas de síntesis (M24) y residuos (M91, M92, M93, M94); y

una tercera subunidad (AE, P3) para llevar a cabo una conversión del gas de síntesis (M24) en una etapa de síntesis Fischer-Tropsch o una etapa de síntesis de metanol en fase líquida en hidrocarburos y/o metanol (M60, M61);

45 caracterizado porque las tres subunidades (AC, AD, AE) de la unidad de recuperación (AB) están cerradas de manera resistente a la presión y forman un ciclo cerrado;

50 una línea de transporte para el gas de pirólisis (M22) conecta la primera subunidad (AC, P1) de manera resistente a la presión con la segunda subunidad (AD, P2), donde el punto de entrada del gas de pirólisis en la segunda subunidad se encuentra en la fase gaseosa por encima del lecho de ascuas formado por el coque de pirólisis (M21);

en la segunda subunidad están presentes medios para inyectar oxígeno (M31) y, en su caso, vapor de procedimiento (M50) en el lecho de ascuas formado a partir del coque de pirólisis, donde el punto de entrada del gas de pirólisis está separado espacialmente del lugar de entrada del oxígeno;

55 una línea de transporte para el gas de síntesis (M24) conecta la segunda subunidad (AD, P2) de manera resistente a la presión con la tercera subunidad (AE, P3);

una línea de transporte para el gas de retorno (M25) conecta la tercera subunidad (AE, P3) de manera resistente a la presión con la primera subunidad (AC, P1).

60 18. Dispositivo según la reivindicación 17, caracterizado porque a lo largo de al menos una de dichas líneas de transporte de la unidad de recuperación (AB) está dispuesto al menos un compresor (A41, A42, A43).

65 19. Dispositivo según la reivindicación 17 o 18, caracterizado porque las subunidades (AC, AD, AE) de la unidad de recuperación (AB) presentan cada una uno o más reactores de presión (A14, A22, A24).

20. Dispositivo según una de las reivindicaciones 17 a 19, caracterizado porque la primera subunidad (AC) y la segunda subunidad (AD) de la unidad de recuperación (AB) presentan un reactor de presión (A24) común.
- 5 21. Dispositivo según una de las reivindicaciones 17 a 20, caracterizado porque una planta de energía (C), que está configurada para producir energía eléctrica y/o mecánica (E2) y/o energía térmica mediante el uso de hidrocarburos y/o metanol de la planta de recuperación (A) como materiales de trabajo (M61).
- 10 22. Dispositivo según la reivindicación 21, caracterizado porque en la planta de energía C está previsto un dispositivo de accionamiento (C11) para generar (C31) energía eléctrica y/o mecánica (E2) a partir de los materiales de trabajo (M61), donde dicho dispositivo de accionamiento (C11) obtiene la energía requerida para la operación de la oxidación de los materiales de trabajo (M61) a un gas de oxidación (M27) que consiste sustancialmente en dióxido de carbono y agua, y un dispositivo para la compresión (C13) y/o condensación (C12) del gas de oxidación (M27).
- 15 23. Dispositivo según la reivindicación 22, caracterizado porque el dispositivo de accionamiento (C11) de la planta de energía (C) es operable con oxígeno puro (M31) como agente oxidante.
- 20 24. Dispositivo según la reivindicación 22 o 23, caracterizado porque el dispositivo de accionamiento (C11) de la planta de energía (C) presenta un intercambiador de calor (C12) para enfriar el flujo de gas de oxidación (M27) antes y/o después del dispositivo (C13) para comprimir y/o condensar el gas oxidación (M27).
- 25 25. Dispositivo según una de las reivindicaciones 22 a 24, caracterizado porque el dispositivo de accionamiento (C11) de la planta de energía (C) presenta un dispositivo para la condensación y/o separación de agua (M41) del gas de oxidación (M27).
- 30 26. Dispositivo según una de las reivindicaciones 22 a 25, caracterizado porque en el dispositivo de accionamiento (C11) de la planta de energía (C) está previsto un depósito (BB) para recoger el gas de oxidación (M27) o el gas residual (M26) después de la compresión y/o condensación del gas de oxidación (M27).
- 35 27. Dispositivo según una de las reivindicaciones 22 a 26, caracterizado porque el dispositivo de accionamiento (C11) de la planta eléctrica (C) es un motor de combustión interna con al menos una cámara de combustión (C21) para la combustión de material de trabajo (M61) líquido o gaseoso con oxígeno (M31), con medios (C21, C30) para la conversión de la presión de gas o el volumen de gas resultante en trabajo mecánico, con un dispositivo de suministro (C27) para introducir oxígeno (M31) en la cámara de combustión (C21), y con un dispositivo de ventilación (C24) para eliminar los gases oxidantes (M27) de la cámara de combustión (C21).
- 40 28. Dispositivo según la reivindicación 27, caracterizado porque en el dispositivo de accionamiento (C11) de la planta eléctrica (C) está previsto un dispositivo de suministro (C28) para introducir agua (M40) y/o vapor de agua (M50) en la cámara de combustión (C21) y/o en el flujo de gas de oxidación (M27) después de salir de la cámara de combustión (C21).
- 45 29. Dispositivo según una de las reivindicaciones 17 a 28, caracterizado porque la planta de recuperación (A) comprende una unidad de energía (AF) para generar energía eléctrica y/o mecánica (E1), con al menos un dispositivo de accionamiento (A61) para generar (A64) energía eléctrica y/o mecánica (E1) a partir del vapor de agua (M50, M50, M51, M52) y/u otros gases calientes que se han generado y/o sobrecalentado en la unidad de recuperación (AB).
- 50 30. Dispositivo según la reivindicación 29, caracterizado porque la unidad de energía (AF) de la planta de recuperación (A) comprende un dispositivo de accionamiento (A61) para generar (A64) energía eléctrica y/o mecánica (E1) a partir del vapor de agua (M50, M50, M51, M52) u otros gases calientes que se han generado y/o sobrecalentado en la unidad de recuperación (AB); y porque en el ciclo de la unidad de recuperación (AB) está previsto al menos un intercambiador de calor (A44, A45, A32) para calentar vapor de agua (M51, M52) y/u otros gases y/o para la producción de vapor de agua (M50, M50).
- 55 31. Dispositivo según una de las reivindicaciones 17 a 30, caracterizado porque una planta (D) para producir hidrógeno (M32), y medios para suministrar el hidrógeno a la unidad de recuperación (AB).

Fig. 1

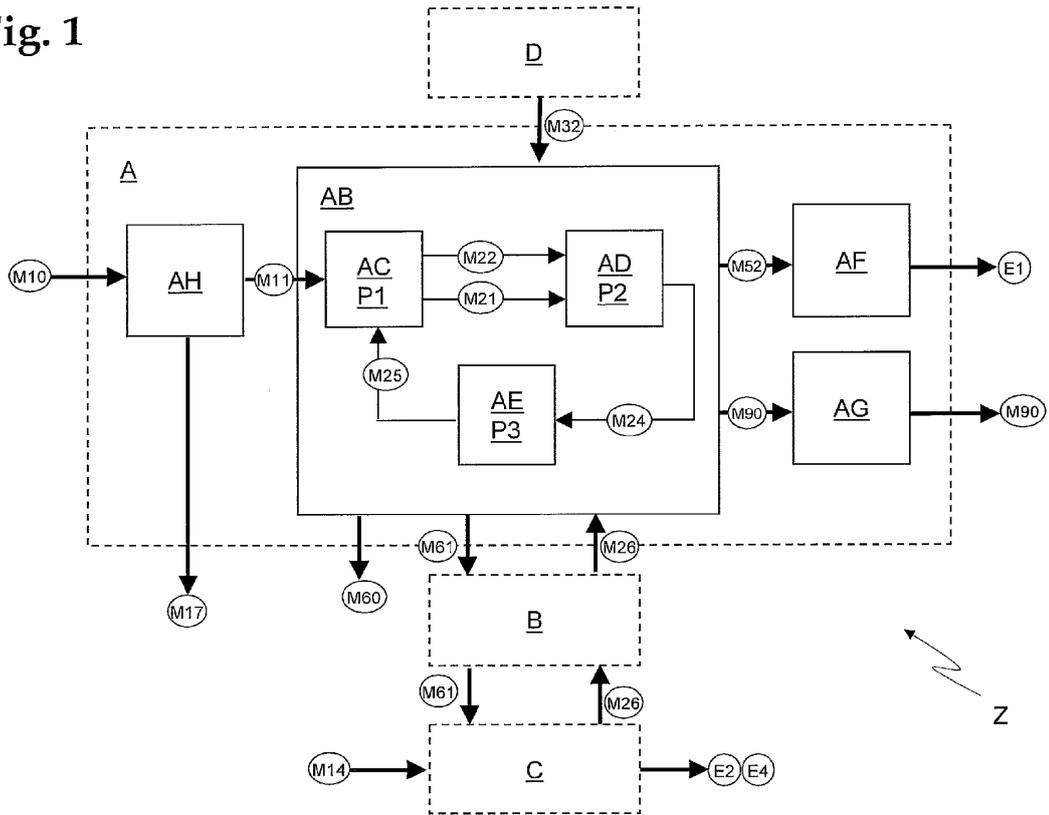


Fig. 2

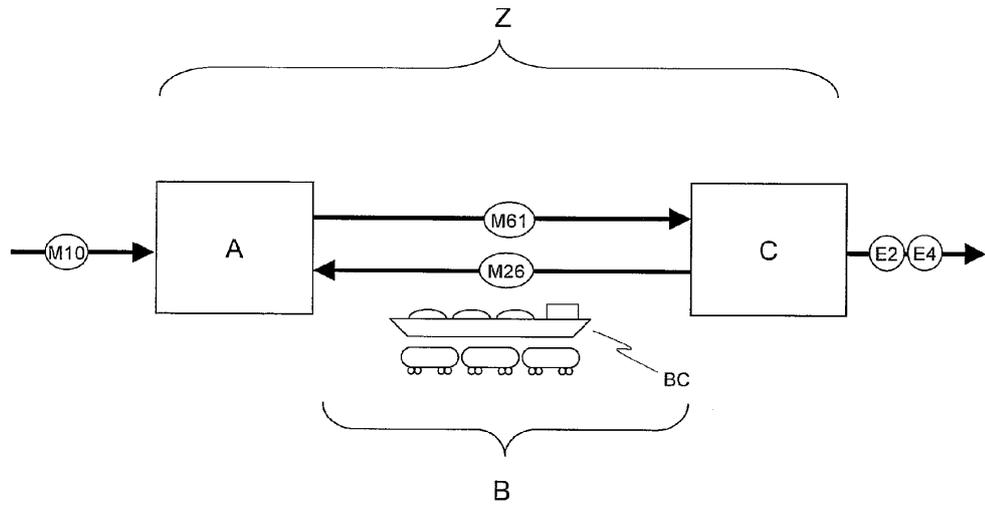


Fig. 3

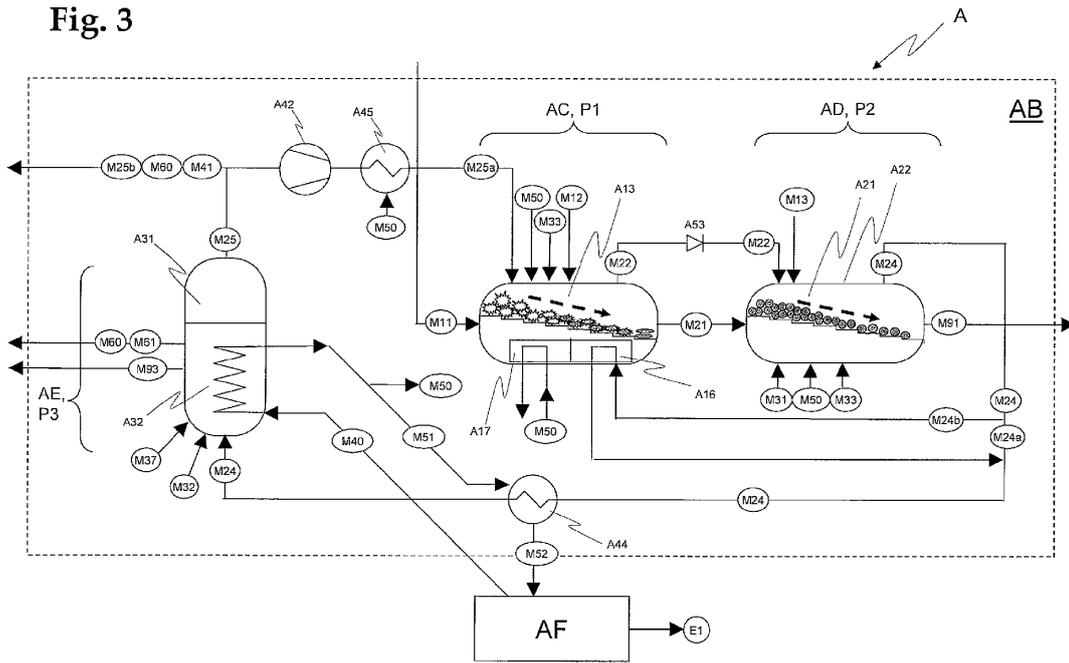


Fig. 3A

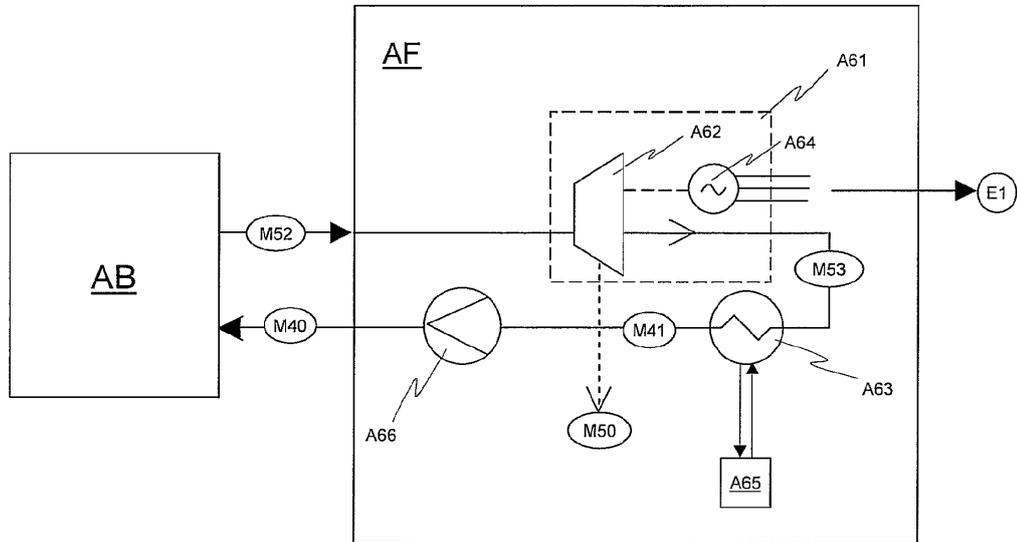


Fig. 4A

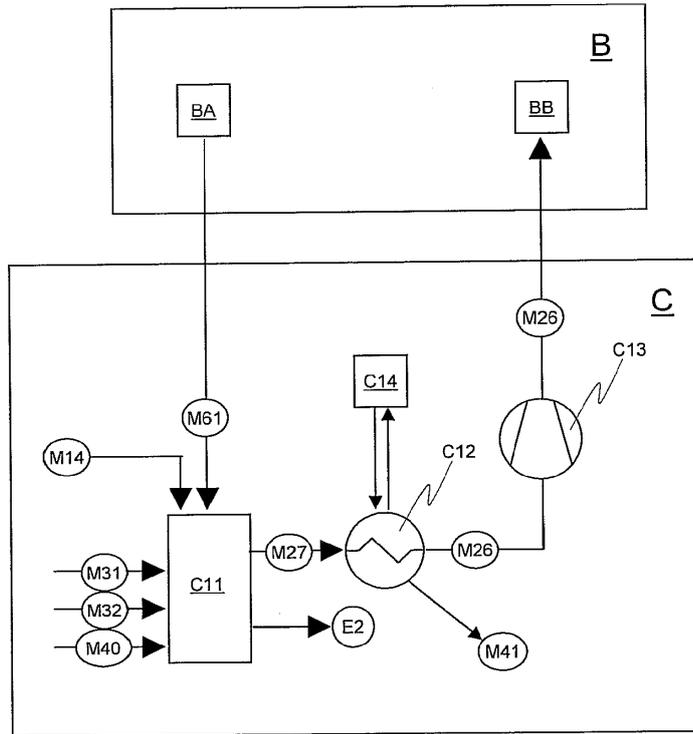


Fig. 5

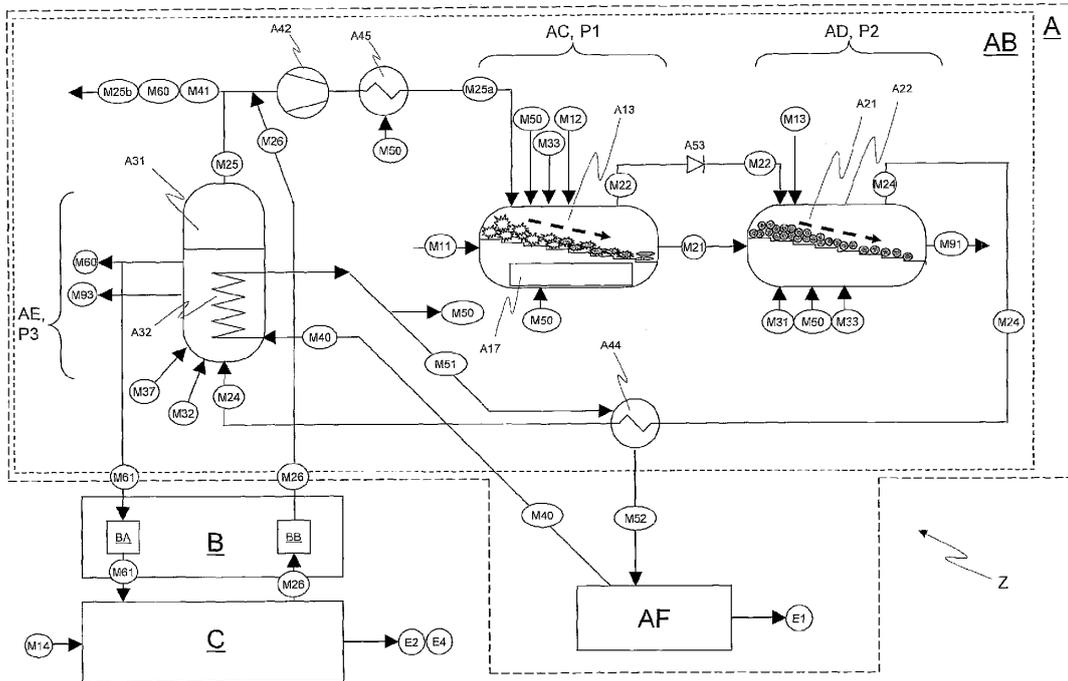


Fig. 6

(a)

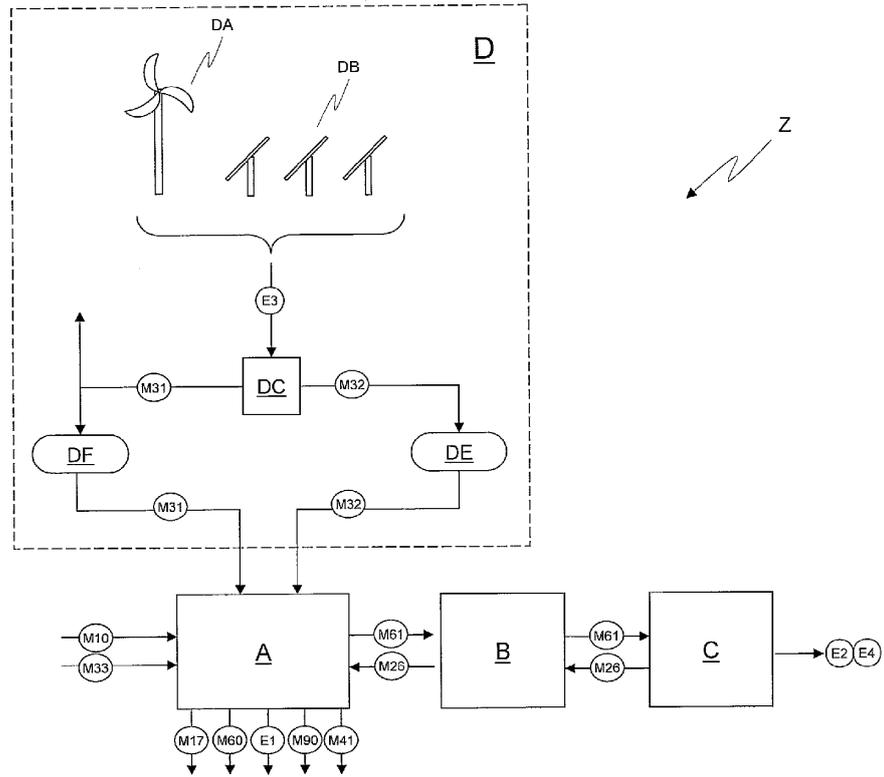


Fig. 6

(b)

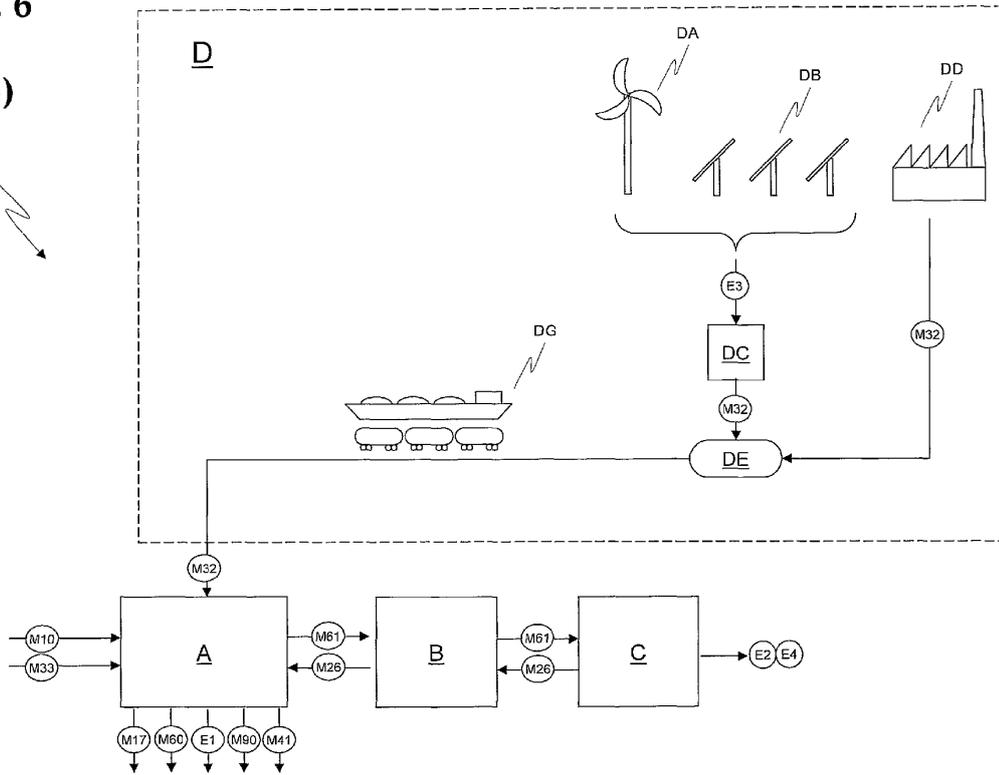
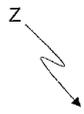


Fig. 7

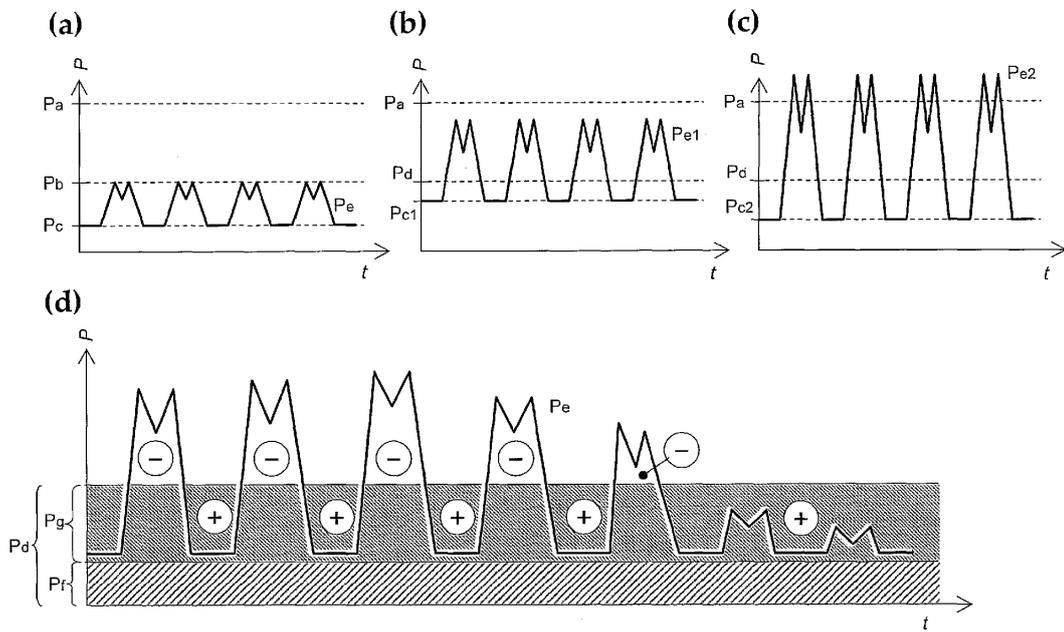


Fig. 8

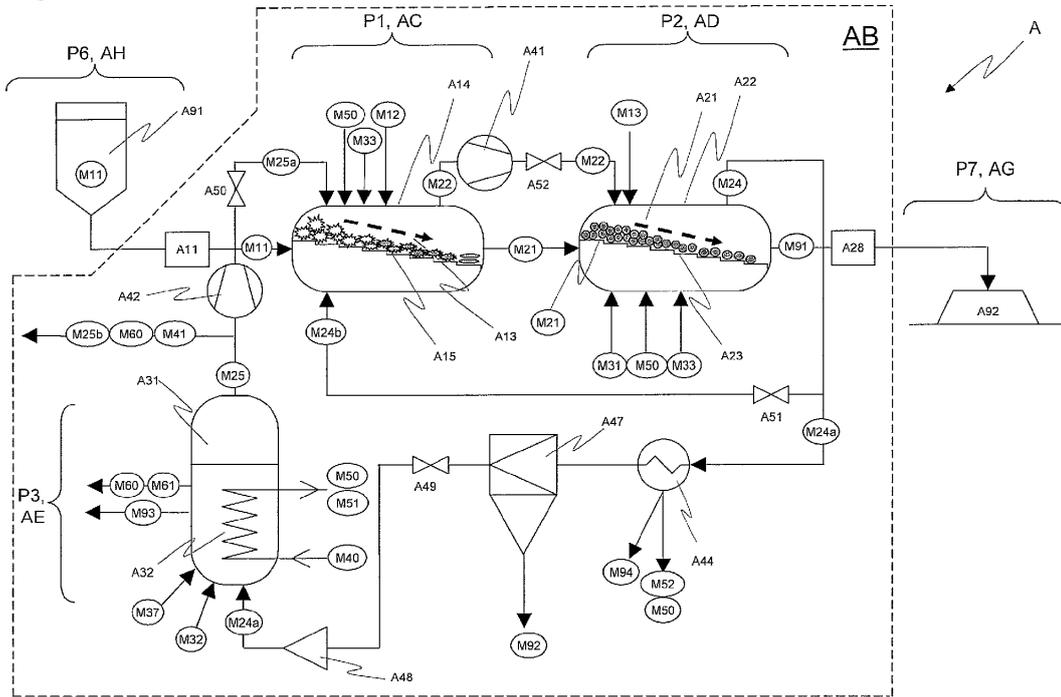


Fig. 10

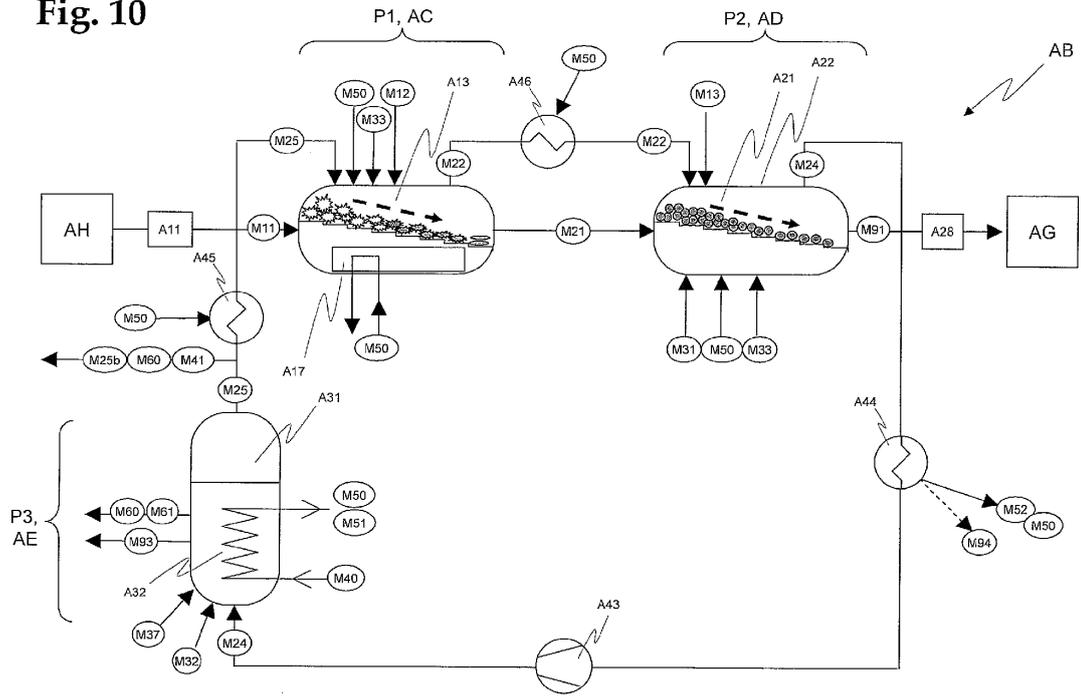


Fig. 11

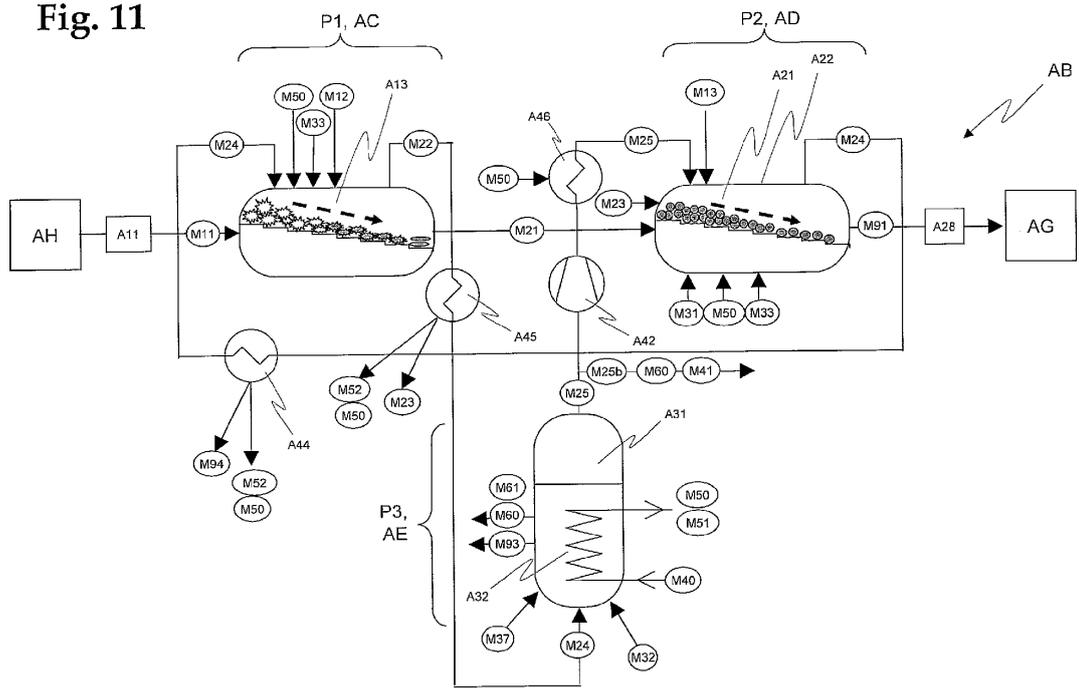


Fig. 12

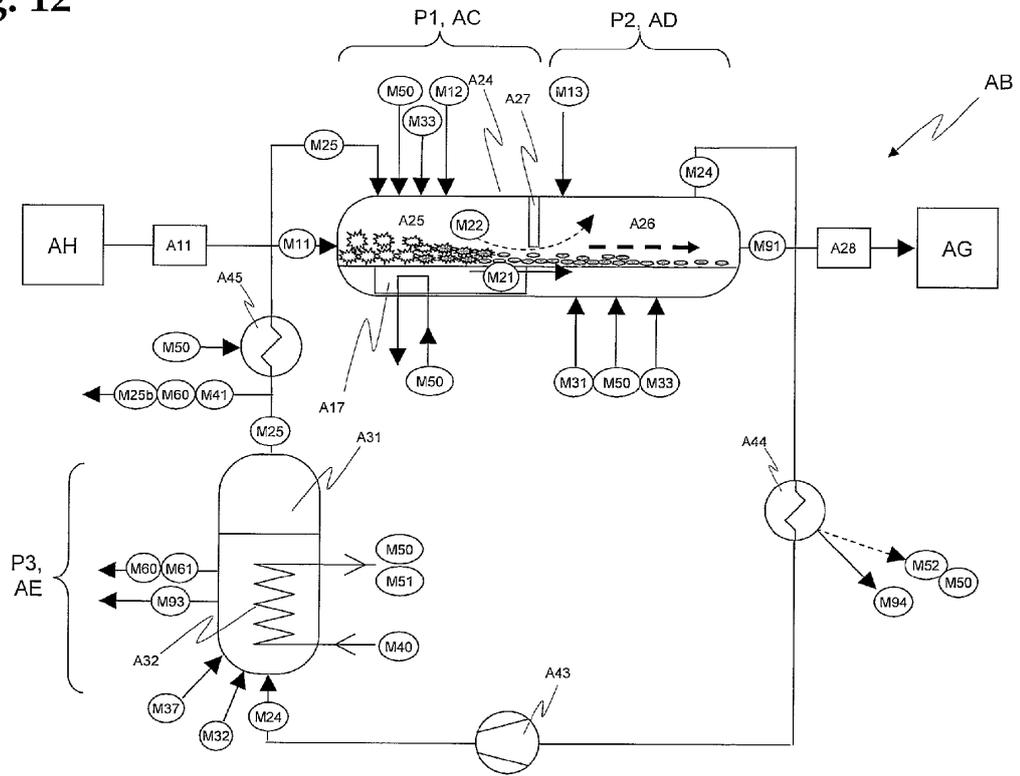


Fig. 13

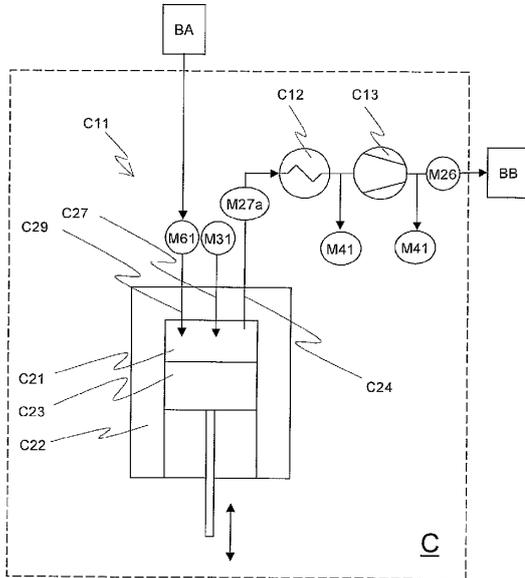


Fig. 14

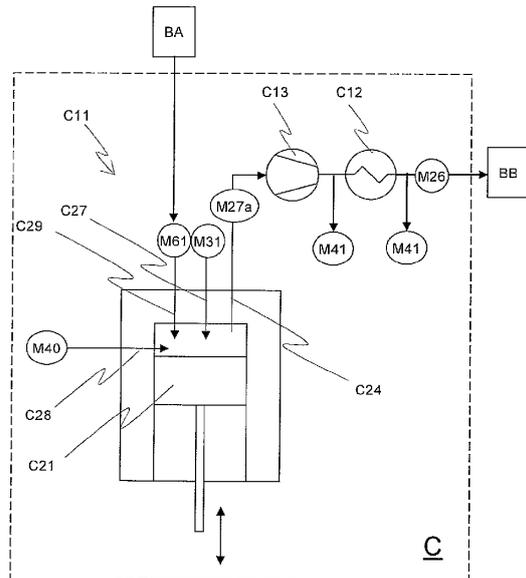


Fig. 15

