



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 362 403**

51 Int. Cl.:  
**B01J 8/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09738035 .6**

96 Fecha de presentación : **21.04.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2237871**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **13.10.2010**

54 Título: **Método para convertir una corriente de materia prima en una corriente de producto utilizando un lecho fluidizado y aparato para el uso en el mencionado método.**

30 Prioridad: **29.04.2008 EP 08155330**

73 Titular/es: **CLEAN FUELS B.V.  
University of Twente/Langezijds Postbus 217  
7500 AE Enschede, NL**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**04.07.2011**

72 Inventor/es: **Siemons, Roland**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**04.07.2011**

74 Agente: **Izquierdo Faces, José**

**ES 2 362 403 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

Método para convertir una corriente de materia prima en una corriente de producto utilizando un lecho fluidizado y aparato para el uso en el mencionado método.

### CAMPO TECNICO DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere a un método y un aparato para fabricar un producto utilizando al menos un lecho fluidizado operado intermitentemente.

### ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10 Los reactores de lecho fluidizado son habitualmente recipientes que son llenados con partículas de uno o más tipos de materia sólida a través de la cual se fluyen corrientes de gas o líquido para llevar a las partículas a un estado de fluidización. Los reactores de lecho fluidizado son habitualmente diseñados para llevar a cabo un proceso químico o físico dentro del lecho fluidizado bajo condiciones físicas o químicas sustancialmente estacionarias.

Para mantener las condiciones físicas o químicas estacionarias deseadas en el reactor de lecho fluidizado es a menudo necesario retirar o añadir regularmente, si no es constantemente, material y/o energía de/al reactor de lecho fluidizado.

15 Ejemplos de los mencionados procesos son conocidos de, por ejemplo, la GB 789228A; la GB 832143A; la EP-A-0235531; la EP-A-0765849 y la US-A-2.667.448.

20 Para la retirada y/o adición de sólidos y/o energía al reactor de flujo fluidizado, se necesitan instalaciones específicas, como medios de transporte, ciclones, intercambiadores de calor, y medios de ajuste de presión y algunas veces estas instalaciones necesitan ser integradas con el reactor de flujo fluidizado. Las mencionadas instalaciones específicas son relativamente caras de instalar y/o explotar y pueden requerir mantenimiento y/o reparación por su carácter vulnerable.

25 Es conocido en la técnica el introducir calor en el lecho fluidizado de un reactor para asegurar que las condiciones térmicas dentro del lecho permanezcan constantes a lo largo del tiempo. Una opción particular para proporcionar energía a un lecho fluidizado estacionario, es el uso de un quemador interno que libera productos de la combustión directamente en el lecho fluidizado. Estos productos de la combustión, sin embargo, se mezclan con el producto de la reacción primario y/o el reactivo. Por lo tanto, hay un riesgo de contaminación y/o rendimiento del producto reducido. Además, esta disposición particular tiene la desventaja de que puede necesitar la separación de reactivos y/o los productos de la reacción de los productos de la combustión.

30 Además, se observa que las instalaciones periféricas particulares algunas veces no son técnicamente efectivas en el mantenimiento de las condiciones estacionarias dentro del reactor de lecho fluidizado. Por ejemplo, la transferencia de calor a través de la pared del reactor puede limitar la tasa e interferir con la ampliación más allá de los límites que están determinados por la tasa de la superficie del reactor exterior y el volumen del reactor del reactor de lecho fluidizado.

35 La presente invención proporciona un método y aparato para fabricar un producto utilizando al menos un reactor de lecho fluidizado que evita y/o minimiza los inconvenientes o desventajas anteriormente mencionadas.

### RESUMEN DE LA INVENCION

40 La presente invención proporciona un método para convertir una corriente de materia prima en una corriente de producto pasando la mencionada corriente de materia prima a través de un lecho de partículas sólidas fluidizadas y permitiendo que se produzca intercambio de calor entre el lecho de partículas sólidas fluidizadas y la corriente de materia prima, estando caracterizado el mencionado método en que emplea alternativamente un modo de producción y un modo de restauración para controlar la temperatura del lecho de las partículas sólidas fluidizadas:

- 45 – el mencionado modo de producción comprende pasar la corriente de materia prima a través del lecho de partículas sólidas fluidizadas y permitir que la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas disminuya o aumente como resultado de la energía de producción asociada con la conversión de la corriente de materia prima en la corriente de producto, y
- 50 – el mencionado modo de restauración comprende restaurar la temperatura del lecho de partículas sólidas fluidizadas pasando una corriente de restauración a través de las partículas sólidas fluidizadas para disminuir la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas en caso de que la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas haya aumentado durante el modo de producción o para aumentar la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas en caso de que la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas haya disminuido durante el modo de producción;
- y que las partículas sólidas fluidizadas se mantienen en el mismo reactor.

La invención se basa en las siguientes apreciaciones:

- 5 1) operando un reactor de lecho fluidizado en un modo de producción sin mantener las condiciones físicas y/o químicas dentro del estacionario reactor de lecho fluidizado, las condiciones de producción cambiarán sólo gradualmente (en oposición a abruptamente) a un nivel en el cual la producción no procederá más tiempo a un ritmo no práctico o no económico;
- 2) este cambio gradual de las condiciones de producción se debe a menudo al intercambio de energía gradual con las partículas sólidas fluidizadas, estas partículas como resultado pierden gradualmente su capacidad de absorber o liberar energía de producción;
- 10 3) La capacidad de las partículas sólidas fluidizadas para absorber o liberar energía de producción puede ser restaurada pasando una corriente de restauración a través del lecho fluidizado que causa el enfriamiento o calentamiento de las partículas sólidas fluidizadas a un nivel adecuado;
- 4) Los cambios en las condiciones de producción pueden ser a menudo tolerados dentro de un escaparaté de temperaturas relativamente amplio;
- 15 5) Se pueden llevar a cabo ventajas significativas operando un reactor de lecho fluidizado en un modo de producción sin mantener constantes las condiciones físicas o químicas, siempre que las últimas condiciones sean restauradas durante un posterior modo de restauración antes de que los rendimientos de producción y/o la calidad del producto lleguen a niveles inaceptables;
- 6) Los anteriormente mencionados modo de producción y modo de restauración pueden ser operados alternativamente de una manera continuada durante un periodo de tiempo indeterminado;
- 20 7) El modo de restauración, que es definido en relación al modo de producción que produce la corriente de producto primaria, puede ser diseñado de tal manera que también produce un producto útil, significando que tanto el modo de producción como el modo de restauración son de hecho modos productivos.

25 Una ventaja importante de la presente invención reside en el hecho de que las instalaciones externas específicas ya no son requeridas para mantener las condiciones del proceso físicas y/o químicas dentro del reactor de lecho fluidizado, y para la de provisión o retirada de energía del proceso. Más particularmente, el presente método permite la operación continua del reactor de lecho fluidizado sin la necesidad de equipamiento especial para la recirculación de las partículas sólidas externamente calentadas o enfriadas, y sin la necesidad de intercambiadores de calor localizados dentro o rodeando el lecho fluidizado.

30 Se apreciará que el proceso de la presente invención, utilizando un lecho fluidizado intermitente, resuelve los problemas particulares unidos a la operación de un lecho fluidizado de una manera continuada (proceso del estado de la técnica).

Estos problemas son:

- la necesidad de remover o añadir regularmente, si no es constantemente, material sólido y/o energía de/al reactor de lecho fluidizado,
- 35 – la necesidad de restauración de sólidos adicionales o acondicionar el reactor a y de donde los sólidos se van a transferir,
- la necesidad de dispositivos específicos como medios de transporte, ciclones, intercambiadores de calor y medios de ajuste de presión,
- la necesidad de medios para evitar la mezcla de los reactivos y los gases de regeneración.
- 40 – la idoneidad de accesorios para alta temperaturas
- resistencia al desgaste de los accesorios,
- consumo de energía de los accesorios, y
- controles de proceso complejos.

#### BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

45 La Figura 1 es una vista esquemática de un reactor de lecho fluidizado que puede ser operado intermitentemente en un modo de producción y en un modo de restauración.

La Figura 2 muestra una vista esquemática de dos reactores de lecho fluidizado acoplados que pueden ser individualmente operados intermitentemente de una manera coordinada con cada uno (es decir en contra-

fase), y en donde los dos modos operacionales son ambos productivos, y, por lo tanto, cada modo de producción es el modo de restauración del otro modo de producción.

La Figura 3 muestra una vista esquemática de un proceso del estado de la técnica utilizando lechos fluidizados estacionarios de los cuales es retirado regularmente material sólido y/o energía.

- 5 La Figura 4 muestra una vista esquemática de un proceso de acuerdo a la presente invención, utilizando lechos fluidizados operados intermitentemente y que comprende una licuefacción pirolítica de biomasa (modo de producción) y una reacción de combustión (modo de restauración).

#### DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

10 Por lo tanto, un aspecto de la invención, se refiere a un método de convertir una corriente de materia prima en una corriente de producto pasando la mencionada corriente de materia prima a través de un lecho de partículas sólidas fluidizadas y permitiendo que se produzca intercambio de calor entre las partículas sólidas fluidizadas y la corriente de materia prima, estando caracterizado el mencionado método en que emplea alternativamente un modo de producción y un modo de restauración para controlar la temperatura del lecho de partículas sólidas fluidizadas:

- 15 – el mencionado método de producción comprende pasar la corriente de materia prima a través del lecho de partículas sólidas fluidizadas y permitir que disminuya o aumente la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas como resultado de la energía de producción asociada con la conversión de la corriente de materia prima en la corriente de producto, y
- 20 – el mencionado modo de restauración comprende restaurar la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas pasando una corriente de restauración a través del lecho de partículas sólidas fluidizadas para disminuir la temperatura del lecho de partículas sólidas fluidizadas en caso de que la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas haya aumentado durante el modo de producción o para aumentar la temperatura del lecho de partículas sólidas fluidizadas en caso de que la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas haya disminuido durante el modo de producción y que
- las partículas sólidas fluidizadas se mantienen en el mismo reactor.

25 El término “corriente” como se usa en la presente se refiere a un flujo de material que puede incluir componentes gaseosos, líquidos y/o sólidos.

30 El término “corriente de materia prima” como se usa en la presente se refiere al flujo total de material que entra en el lecho fluidizado del presente método mientras es operado en el modo de producción y que deja el lecho fluidizado como la corriente de producto. Se debe entender que la corriente de materia puede estar compuesta de varias corrientes que se mezclan antes de entrar en el lecho fluidizado o que se mezclan mientras pasan a través del lecho fluidizado.

35 El término “corriente de restauración” como se usa en la presente se refiere al flujo total de material que entra en el flujo fluidizado de la presente invención mientras es operado en el modo de restauración. La corriente de restauración puede estar también compuesta de varias corrientes que se mezclan antes de que entren en el lecho fluidizado o que se mezclan mientras pasan a través del lecho fluidizado. La corriente de restauración empleada en la presente invención libera energía o absorbe energía mientras pasa a través del lecho fluidizado, Esto se puede conseguir, por ejemplo, empleando una corriente de restauración que tiene una temperatura diferente de la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas en el lecho y permitiendo que se produzca el intercambio de calor. La invención también abarca el uso de una corriente de restauración que comprende componentes que experimentarán una reacción química endotérmica o exotérmica en el lecho fluidizado o un cambio de fase física, absorbiendo por lo tanto energía de o liberando energía a las partículas sólidas fluidizadas.

45 La terminología “convertir una corriente de materia prima en una corriente de producto” como se usa en la presente se refiere tanto a la conversión química como a la física. Por lo tanto, la presente invención abarca un método en el que uno o más reactivos contenidos en la corriente de materia prima son convertidos en entidades químicas diferentes. El método también abarca un proceso en donde no se producen reacciones químicas, pero en donde, por ejemplo, el estado físico de uno o más componentes en la materia prima es cambiado (por ejemplo, de líquido a vapor) o en donde la energía de la corriente de materia prima se altera durante su paso a través del lecho fluidizado (por ejemplo conversión de vapor saturado en vapor sobrecalentado).

50 El término “energía de producción” se refiere a toda la energía asociada con la conversión de la corriente de materia prima en la corriente de producto, y comprende la energía de conversión como la energía de reacción y la energía de transición de fase (por ejemplo, evaporación), y también la energía asociada con el enfriamiento o calentamiento de la corriente de materia prima en el interior del lecho fluidizado. Durante el modo de producción del presente método la “energía de producción” es térmicamente liberada o absorbida por las partículas sólidas fluidizadas.

Como se usa en la presente, un “flujo positivo” de energía de producción implica energía de producción que es liberada por las partículas sólidas fluidizadas en el lecho en el modo de producción y un “flujo negativo” de energía de producción es energía de producción que es absorbida por el lecho de partículas sólidas fluidizadas en el modo de producción. Las reacciones químicas endotérmicas son una causa de flujos positivos de energía de producción, y las reacciones químicas exotérmicas son una causa de flujos negativos de energía de producción.

En el presente método la composición química de la corriente de materia prima y de la corriente de restauración son diferentes. No obstante, a pesar de estas diferencias de composición ambas corrientes pueden contener los mismos componentes, por ejemplo, agua, vapor, nitrógeno, etc.

El presente método puede ser manejado de una manera eficiente monitorizando continuamente un parámetro que es indicativo de la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas y cambiando del modo de producción al modo de restauración y viceversa dependiendo del mencionado parámetro. De acuerdo a una realización particularmente preferida el modo de producción se continúa hasta que la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas ha cambiado a un valor donde la producción no puede ser llevada a cabo favorablemente, es decir, ha aumentado a un valor máximo preestablecido o ha disminuido a un valor mínimo preestablecido y en donde durante el posterior modo de restauración la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas es restaurada a un valor objetivo preestablecido. Cabe señalar que esta realización de la invención puede ser realizada monitorizando uno o más parámetros que son indicativos de la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas. Un ejemplo de un parámetro que puede ser adecuado para este propósito es la temperatura de la corriente de producto.

En la realización anteriormente mencionada, el valor objetivo de la temperatura típicamente se encuentra en el intervalo de 50-1200° C. Más preferiblemente, el mencionado valor objetivo está en el intervalo de 110-1000° C, más preferiblemente en el intervalo de 300-900° C. La diferencia entre el valor mínimo preestablecido y el valor objetivo o entre el valor máximo preestablecido y el valor objetivo habitualmente se encuentra dentro del intervalo de 5-400° C. Preferiblemente la mencionada diferencia está en el intervalo de 10-200° C y más preferiblemente en el intervalo de 20-150° C.

La duración de tanto el modo de producción como del modo de restauración puede variar dentro de amplios intervalos. Ventajosamente, la duración del modo de producción es de 1-200 minutos y la duración del modo de restauración es de 0,5-60 minutos. Más preferiblemente, la duración del modo de producción es de 3-60 minutos y la duración del modo de restauración es de 1-60 minutos.

En una realización preferida del presente método al menos una parte de la corriente de materia prima es reemplazada por la corriente de restauración cuando el método cambia del modo de producción al modo de restauración. Típicamente al menos 5 % de peso, más preferiblemente al menos 10 % de peso y más preferiblemente al menos 20 % de peso de la corriente de materia prima es reemplazada por la corriente de restauración cuando el método cambia del modo de producción al modo de restauración.

Como se ha explicado antes en la presente, el presente método puede ser operado durante un periodo de tiempo indefinido ya que el método es extremadamente robusto debido al hecho de que no emplea equipamiento complejo (sensible) y porque el modo de restauración impide que el proceso se “desvíe”. Por lo tanto, de acuerdo con otra realización preferida, el método comprende una secuencia ininterrumpida de al menos 3 modos de producción y al menos 3 modos de restauración. Más preferiblemente, el presente método comprende una secuencia ininterrumpida de 10 ciclos, en donde cada ciclo comprende un único modo de producción y un único modo de restauración.

Debido a su robustez, el presente método puede ser operado adecuadamente de una manera continuada durante al menos 24 horas, preferiblemente durante al menos 72 horas.

El presente método ofrece la ventaja de que no requiere la recirculación de partículas sólidas calentadas o enfriadas externamente en el lecho fluidizado, ni la transferencia de calor a través de las paredes (incluyendo paredes de tubería de intercambiadores de calor) que bordean el lecho fluidizado, para asegurar que la temperatura de las partículas del lecho sólidas sea mantenida a un nivel estacionario. Por lo tanto, de acuerdo con una realización ventajosa, el método no depende de la transferencia de energía por medio de la recirculación de partículas sólidas calentadas o enfriadas externamente ni por medio de intercambiadores de calor localizados en el interior o rodeando el lecho fluidizado. Más particularmente, se prefiere que al menos un 20%, más preferiblemente al menos un 30% de la energía de producción sea proporcionada o absorbida por la corriente de restauración. Debe entenderse que la energía proporcionada o absorbida por la corriente de restauración incluye energía que es liberada o absorbida por la corriente de restauración en el lecho fluidizado como resultado de las reacciones químicas entre los reactivos contenidos en la corriente de restauración y/o entre la materia contenida en el lecho fluidizado y los reactivos contenidos en la corriente de restauración.

Los beneficios de la presente invención son particularmente manifiestos en caso de que las partículas sólidas fluidizadas permanezcan fluidizadas en el lecho durante todo el modo de producción. De acuerdo a una realización particularmente preferida, las partículas sólidas fluidizadas también permanecen fluidizadas en el lecho

durante todo el ciclo de restauración, significando que las partículas sólidas fluidizadas permanecen fluidizadas en el lecho durante todo el ciclo que comprende un único modo de producción y un único modo de restauración.

5 El presente método puede ser operado con partículas sólidas fluidizadas de diámetro variable. Típicamente, las partículas sólidas fluidizadas tienen un diámetro medio ponderado de volumen en el intervalo de 10-5000  $\mu\text{m}$ , preferiblemente en el intervalo de 50-3000  $\mu\text{m}$  y más preferiblemente en el intervalo de 100-2000  $\mu\text{m}$ .

10 Las partículas sólidas empleadas en el lecho fluidizado pueden ser inertes o pueden participar realmente en la conversión de la corriente de materia prima en la corriente de producto y/o la corriente de restauración, por ejemplo, catalizando una reacción química. Ejemplos de partículas sólidas fluidizadas que pueden ser adecuadamente empleadas en el presente método incluyen partículas mayormente consistentes de silicato (por ejemplo arena), catalizador heterogéneo, metal, óxido de metal y combinaciones de los mismos.

15 Se prefiere que en el presente método la corriente de restauración cause que la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas disminuya debido a la absorción de energía por la corriente de restauración y/o debido a la aparición de reacciones químicas endotérmicas o, alternativamente, que la corriente de restauración cause que la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas aumente debido a la liberación de energía de la corriente de restauración y/o debido a la aparición de reacciones químicas exotérmicas.

20 En una realización preferida, el presente método se refiere a un modo de producción en el que la conversión de la corriente de materia prima en la corriente de producto causa una disminución de temperatura de las partículas sólidas fluidizadas (es decir su procesamiento por el lecho fluidizado requiere un flujo positivo de energía de producción). Típicamente, de acuerdo con esta realización de la invención, la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas disminuye en al menos 10° C, preferiblemente en al menos 20° C y más preferiblemente en 30° C durante el modo de producción.

25 En caso de que el modo de producción implique un flujo positivo de energía de producción, es ventajoso emplear posteriormente una corriente de restauración que comprenda un portador de energía seleccionado del grupo consistente de gases calientes, vapores calientes, líquidos calientes, o reactivos que reaccionen exotérmicamente bajo las condiciones predominantes en el lecho fluidizado durante el modo de restauración y combinaciones de los mismos.

En caso de que el modo de restauración aumente la temperatura del lecho fluidizado, puede ser ventajoso si durante el modo de restauración las partículas sólidas fluidizadas catalizan una reacción química exotérmica de reactivos contenidos en la corriente de restauración.

30 Otra realización preferida para aumentar la temperatura del lecho fluidizado es un método en donde, durante el modo de restauración, ocurre una reacción química exotérmica entre reactivos contenidos en la corriente de restauración y la materia que fue acumulada en el lecho de partículas sólidas fluidizadas durante el modo de producción. Un ejemplo de la mencionada materia es el carbono. Un reactivo adecuado que puede reaccionar exotérmicamente con la materia de carbono es el oxígeno.

35 En una realización preferida adicional de la invención el modo de restauración es realizado introduciendo un medio de combustión, como combustible y/o oxígeno o aire en el lecho fluidizado de tal forma que ocurra una reacción de combustión en el lecho fluidizado.

40 De acuerdo a aún otra realización, el modo de restauración es realizado pasando una corriente de gas caliente a través del lecho fluidizado. Esta opción es mucho más preferida en circunstancias en donde hay disponible una fuente de gas caliente.

45 En las realizaciones anteriormente descritas del presente método que están caracterizadas por un flujo positivo de energía de producción y, por lo tanto, un aumento de temperatura del lecho fluidizado durante el modo de restauración, preferiblemente al menos un 30%, más preferiblemente al menos un 50% y más preferiblemente al menos un 70% de la energía de producción es proporcionada por la corriente de restauración. Incluso más preferiblemente, los últimos porcentajes de energía son generados por reacciones químicas exotérmicas que ocurren dentro del lecho fluidizado concurrente con el paso de la corriente de restauración.

50 Ejemplos de procesos de un flujo positivo de energía de producción que ocurren en el lecho fluidizado durante el modo de producción del presente método incluyen el calentamiento de corrientes de materia prima, pirolisis, deshidrogenación, evaporación, reformado con vapor, desvolatilización, y combinaciones de los mismos. Estos procesos pueden ser realizados utilizando una corriente de materia prima que comprende una materia prima seleccionada del grupo consistente de biomasa, carbón, agua, vapor, alcanos C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>, polímeros de residuos y más preferiblemente polímeros de residuos reciclados tales como de ruedas de neumáticos y de botellas, alfombras, material de embalaje, muebles y equipos de oficina, y combinaciones de los mismos tales como los contenidos en mezclas de residuos de construcción y demolición, así como aceite pirolítico como el derivado de los materiales anteriores.

55

De acuerdo a una realización particularmente preferida, al menos un 50% del peso, más preferiblemente al menos un 70% del peso y más preferiblemente al menos un 80% del peso de la corriente de materia prima consiste de los materiales brutos anteriormente mencionados.

5 El término "biomasa" como se usa en la presente se refiere a materiales, que se originan de plantas y animales, que son adecuados para el uso como material de partida para productos industriales, incluyendo fracciones y derivados de estos materiales biológicos. Más comúnmente, la biomasa se refiere a materia vegetal cultivada para su uso como biocombustible, pero también incluye materia vegetal o animal usada para la producción de fibras, químicos o calor. La biomasa puede también incluir residuos biodegradables que pueden ser quemados como combustible. El término biomasa excluye material orgánico que ha sido transformado por procesos geológicos  
10 en sustancias tales como el carbón o el petróleo, Ejemplos de la mencionada biomasa son astillas de madera, bagazo de caña de azúcar, bagazo de remolacha de azúcar, paja, hierba de cáñamo y similares.

15 Un ejemplo adecuado de un proceso de un flujo positivo de energía de producción que puede ser ejecutado durante el modo de producción del presente método es una reacción de desvolatilización de biomasa de carbón llevada a cabo a una elevada temperatura por encima de 600° C. En la mencionada reacción, el reactivo de biomasa o carbón es descompuesto y desvolatilizado en ausencia de materiales oxidantes en particular como el oxígeno o el aire. Donde no se emplean medios de llevar la energía de producción asociada al lecho fluidizado, la temperatura predominante en el lecho fluidizado disminuye a un nivel donde las condiciones de proceso dentro del lecho fluidizado y las condiciones térmicas de las partículas sólidas ya no son favorables para la deseada reacción de desvolatilización.

20 De acuerdo a otra realización el modo de producción comprende la producción de vapor sobrecalentado de 120-150° C (o cualquier otro intervalo de temperatura deseado) y una salida de presión adecuada de vapor de una temperatura inferior y la misma presión adecuada. Si el material del lecho consiste de partículas de arena, y si el modo de producción se comienza en el momento en el tiempo donde la temperatura del lecho iguala la parte superior del intervalo de temperatura deseado (por ejemplo 150° C), entonces, con el paso del tiempo las partículas de arena se enfriarán hasta un momento en el tiempo cuando ya no serán capaces de proporcionar energía suficiente al vapor. Posteriormente, las condiciones del proceso en el interior del lecho fluidizado y la temperatura de las partículas sólidas pueden ser restauradas durante el modo de restauración, por ejemplo, realizando una reacción de combustión en el interior del lecho fluidizado.

25 En otra realización preferida, el presente método se refiere a un modo de producción en el que la conversión de la corriente de materia prima en la corriente de producto causa un aumento de temperatura de las partículas sólidas fluidizadas (es decir su procesamiento por el lecho fluidizado requiere un flujo negativo de energía de producción).

30 Típicamente, de acuerdo con esta realización de la invención la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas aumenta por lo menos 10° C, preferiblemente por lo menos 20° C y más preferiblemente por lo menos 30° C durante el modo de producción.

35 En una realización ventajosa de la invención, una reacción química exotérmica de los reactivos contenidos en la corriente de materia prima que es catalizada por las partículas sólidas fluidizadas causa el flujo negativo de energía de producción durante el modo de producción.

40 En otra realización preferida del modo de producción con un flujo negativo de energía de producción, al menos un 60%, preferiblemente al menos un 90% y más preferiblemente al menos un 95% de la energía de producción es generada por reacciones químicas exotérmicas que ocurren dentro de lecho fluidizado concurrente con el paso de la corriente de materia prima.

45 Ejemplos de materias primas que pueden contribuir al flujo negativo de energía de producción en el modo de producción incluyen hidrocarburos, biomasa, aceite pirolítico, monóxido de carbono, agua, vapor, carbono, oxígeno y combinaciones de los mismos. De acuerdo a una realización particularmente preferida, al menos el 50% del peso, más preferiblemente al menos un 70% del peso, y más preferiblemente al menos un 80% del peso de la corriente de materia prima consiste de las materias primas anteriormente mencionadas. Preferiblemente, los hidrocarburos reactivos son seleccionados del grupo consistente de alcanos C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> saturados y/o no saturados, cetonas, aldehídos y combinaciones de los mismos.

50 Se pueden llevar a cabo una variedad de reacciones exotérmicas en el modo de producción del presente método. Ejemplos de procesos que tienen un flujo negativo de energía de producción que pueden ocurrir en el lecho fluidizado durante el modo de producción del presente método incluyen oxidación, reacción de cambio agua gas y combinaciones de los mismos.

55 En caso de que el modo de producción produzca un flujo negativo de energía de producción, la energía puede ser adecuadamente retirada del mismo lecho fluidizado durante el modo de restauración empleando una corriente de restauración que contenga uno o más componentes seleccionados del grupo consistente de biomasa, carbón, agua, vapor, alcanos C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>, y combinaciones de los mismos. Ventajosamente, al menos un 50% del peso,

más preferiblemente un 70% del peso y más preferiblemente un 80% del peso de la corriente de restauración consiste de estos componentes.

Un ejemplo de tal reacción exotérmica que puede ventajosamente ocurrir en el modo de producción del presente método es la reacción de cambio agua gas. En esta reacción CO y H<sub>2</sub>O reaccionan para formar H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Típicamente, la reacción de cambio agua gas es llevada a cabo a una temperatura de alrededor de 700 a 800° C. Donde no se emplean medios de retirara de la energía de reacción asociada del lecho fluidizado, la temperatura predominante en el lecho fluidizado aumenta a un nivel donde las condiciones del proceso en el interior del lecho fluidizado y las condiciones térmicas de las partículas sólidas ya no son favorables para la reacción de cambio agua gas deseada.

La restauración de las condiciones del proceso en el interior del lecho fluidizado y de las condiciones térmicas de las partículas sólidas en el lecho puede ser llevada a cabo siguiendo varias alternativas o combinaciones de las mismas. De acuerdo con una alternativa particular, esto es conseguido proporcionando un gas o flujo de vapor frío durante el modo de restauración. Esta es una opción elegante bajo circunstancias donde una fuente de gas o vapor frío está disponible y en donde la corriente de gas o vapor calentado resultante es útil para otras aplicaciones. Por ejemplo, si el medio refrigerante es vapor y el mencionado vapor está ganando recalentamiento durante esta acción, el modo de restauración es en sí mismo un modo productivo para la generación de calor sobrecalentado. Por lo tanto, el modo de restauración dado de la reacción de cambio agua gas es en sí misma un modo de producción para la generación de vapor sobrecalentado.

Para un método continuo para fabricar un producto, es ventajoso el utilizar dos o más lechos fluidizados. En consecuencia es posible cuando se utilizan dos lechos fluidizados que en un lecho fluidizado el modo de producción tenga lugar y en el otro lecho fluidizado el modo de restauración. Cambiando intermitentemente cada lecho fluidizado de un modo al otro y no teniendo ambos lechos fluidizados al mismo tiempo en el mismo modo de producción o en el mismo modo de restauración, es posible llevar a cabo el método para fabricar el producto de manera continuada. Bajo circunstancias en la que el periodo de tiempo para llevar a cabo el modo de producción no es sustancialmente el mismo que el periodo de tiempo para llevar a cabo el modo de restauración es posible utilizar diferentes números de lechos fluidizados en el modo de producción y/o en el modo de restauración.

Por consiguiente, una realización especialmente preferida del presente método emplea al menos dos lechos de partículas sólidas fluidizadas que son cada una alternativamente operadas en el modo de producción y en el modo de restauración, los mencionados al menos dos lechos incluyen un primer lecho que es operado en el modo de producción y un segundo lecho que es operado simultáneamente en el modo de restauración, en donde el primer lecho es cambiado del modo de producción al modo de restauración desviando al menos parte de la corriente de materia prima del primer lecho al segundo lecho y simultáneamente el segundo lecho es cambiado del modo de restauración al modo de producción desviando al menos parte de la corriente de restauración del segundo lecho al primer lecho cuando (i) la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas en el primer lecho ha aumentado a un valor máximo preestablecido o ha disminuido a un valor mínimo preestablecido o (ii) la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas en el segundo lecho ha sido restaurada a un valor objetivo preestablecido.

Esta configuración particular del presente método es particularmente ventajosa en caso de que el modo de producción sea endotérmico y de que el modo de restauración sea exotérmico y al menos una parte de la corriente de producto generada durante el modo de producción en cualquiera de los dos lechos sea introducido como reactivo en la corriente de restauración que es alimentada al otro lecho. En una configuración particularmente preferida de esta realización el modo de producción comprende la conversión por reformado con vapor de una corriente de materia prima que comprende agua y un hidrocarburo y el modo de restauración comprende la conversión por reacción de cambio agua gas de una corriente de restauración que comprende vapor y al menos una parte del monóxido de carbono generado durante el modo de producción. En esta realización particularmente ventajosa de la presente invención tanto el modo de producción y el modo de restauración son productivos ya que ambos producen hidrógeno.

Los beneficios de la presente invención pueden ser obtenidos operando el método de una manera manual o automática. Preferiblemente, el método comprende monitorizar la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas y el cambio automático entre el modo de producción y el modo de restauración en dependencia de la temperatura medida.

En el presente método el modo de producción es ventajosamente llevado a cabo en un sistema adiabáticamente aislado, es decir un sistema que no usa calentamiento o enfriamiento externos.

Se apreciará que el proceso de la presente invención proporciona una inversión y unos costos de mantenimiento significativamente inferiores por unidad de producto, debido a los considerables ahorros en equipo externo adicional utilizado en, y a la complejidad de control reducida de, los procesos del estado de la técnica.

Otro aspecto de la invención se refiere a un aparato para llevar a cabo el método de la presente invención, que comprende al menos dos recipientes conteniendo un lecho de partículas sólidas fluidizadas, el mencionado recipiente comprendiendo:

- una o más entradas para una corriente fluidificada localizada en un lado del lecho;
- una o más salidas localizadas en el lado opuesto del lecho;
- medio de conmutación primario para alimentar alternativamente la corriente de materia prima o la corriente de restauración a través de una o más entradas.

5 Ventajosamente, el aparato anteriormente mencionado puede ser adecuadamente utilizado para operar dos procesos concurrentes como se ha descrito en la presente anteriormente. Por consiguiente, en una realización preferida, el aparato comprende dos o más recipientes conteniendo un lecho de partículas sólidas fluidizadas, incluyendo un primer recipiente y un segundo recipiente en donde el medio de conmutación primario es capaz de redirigir la corriente de restauración del segundo recipiente al segundo recipiente mientras que simultáneamente redirige la corriente de restauración del segundo recipiente o de otro de los dos o más recipientes al primer recipiente. En una realización particularmente ventajosa de este último aparato al menos una de las entradas del primer recipiente está conectada a al menos una de las salidas del segundo recipiente y al menos una de las entradas del segundo recipiente está conectada a al menos una de las salidas del primer recipiente y el aparato además contiene un medio de conmutación secundario para alimentar alternativamente un corriente de la salida de un recipiente a la entrada del otro recipiente, en donde la operación del segundo medio de conmutación está sincronizada con la operación del medio de conmutación primario.

A pesar de que el aparato puede estar provisto con varias entradas, puede ser práctico que las entradas estén combinadas (también para las varias salidas) y que las fuentes para las varias corrientes de material puedan ser conmutadas en una entrada o salida combinada, y que las corrientes de restauración usadas y que los productos preparados puedan ser dirigidos a diferentes servicios de una salida combinada.

Para equilibrar adecuadamente un modo de producción y un modo de restauración de un reactor de lecho fluidizado, o de una formación de múltiples reactores de lecho fluidizado, puede ser ventajoso operar secciones de un lecho fluidizado en diferentes regímenes de fluidización, tales como burbujeante, slugging o turbulenta. Las ventajas asociadas con esta disposición están asociadas con la capacidad de almacenaje de energía y la capacidad de transferencia de energía de las partículas del lecho sólidas en las diferentes secciones del lecho. Los medios para crear diferentes regímenes de fluidización en secciones del lecho distinguidas incluyen pero no están limitadas a: la instalación de tubos o deflectores de aspiración internos, y la instalación y operación de instalaciones para flujos de gas modulados que son específicamente calentados o enfriados.

La Figura 1 muestra un aparato **1** por medio del cual se puede llevar a cabo una desvolatilización de biomasa. El aparato **1** comprende una unidad de lecho fluidizado **2** que tiene un reactor de lecho fluidizado cilíndrico **3** provisto en su parte inferior con una placa de distribución **4** y en su parte superior con un espacio abierto **5** para la separación de partículas sólidas y medio de fluidización.

En el reactor **3** se mantiene un lecho fluidizado de partículas de arena **6** (a un tamaño medio de partícula de alrededor de 0,4 mm) como se muestra en el área sombreada.

El lecho fluidizado **6** está provisto con una entrada **16**, que está conectada por una válvula **15** con una fuente de biomasa fría **14**. Una sección inferior **7** del reactor **3** está provista con dos entradas **8** y **9**. La entrada **8** está conectada por una válvula **10** con una fuente de aire de combustión **11**. La entrada **9** está conectada por una válvula **12** con una fuente de combustible **13**.

El espacio libre **5** está provisto con dos salidas **17** y **22**. La salida **17** está conectada por una válvula **18** a una salida para el gas de escape **19**. La salida **22** está conectada por una válvula **21** a una salida para el producto de desvolatilización **20**.

Durante el modo de restauración las válvulas **10** y **20** están abiertas y por lo tanto el aire de combustión y el combustible son fluidos en el reactor **3**. El gas de escape **19** deja el aparato **1** por la válvula abierta **18**. La energía de la combustión es recogida por las partículas de arena, de tal modo las condiciones del proceso son reconstituidas en el lecho fluidizado y el material del lecho sólido llevado a una condición de temperatura permitiendo la provisión de energía de proceso para el proceso pretendido durante el posterior modo de producción. Después de que las condiciones del proceso han sido reconstituidas junto con la capacidad de las partículas de arena de proporcionar energía de proceso, las válvulas **10**, **12** y **18** son cerradas y las válvulas **15** y **20** abiertas. La biomasa fría **14** entra en el reactor **3** y la desvolatilización de biomasa añadida tiene lugar dentro de un marco de temperatura de alrededor de 650-550° C. A continuación de la reacción de desvolatilización, y como resultado del consumo de energía de la biomasa fría para calentar y/o de la reacción química (que puede ser o no ser endotérmica), la temperatura del lecho fluidizado **6** ya no es favorable para la reacción de desvolatilización deseada y las partículas de arena que comprenden el lecho fluidizado **6** ya no son capaces de proporcionar la energía de proceso a la temperatura deseada de manera que la reacción de desvolatilización se producirá a una tasa baja y/o a un bajo rendimiento. A la mencionada temperatura (como por debajo de 550° C) el reactor **3** es cambiado a operación en el modo de restauración como se ha descrito anteriormente.

La Figura 1 también sirve para ilustrar esquemáticamente un método y aparato por medio del cual puede ser llevada a cabo una deshidrogenación de parafinas C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub> (alcanos) a sus monoolefinas correspondientes. La deshidrogenación de parafinas C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub> es un ejemplo de una reacción endotérmica, que es preferiblemente llevada a cabo utilizando un catalizador basado en cromo o platino sólido, y a una temperatura por encima de 1000° C para minimizar la formación de subproductos y para maximizar el rendimiento. La materia sólida catalizadora puede formar parte de o todas las partículas del lecho fluidizado sólidas. Durante el modo de producción, de acuerdo a la invención, la válvula **15** es abierta para admitir las parafinas C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub> en el reactor de lecho fluidizado **3**. De este modo, las partículas del lecho fluidizado sólidas, por su enfriamiento, proporcionarán la energía de proceso para llevar a cabo el modo de producción, hasta que la temperatura del lecho fluidizado ya no sea favorable para la reacción de deshidrogenación deseada y las partículas sólidas que comprenden el lecho fluidizado ya no sean capaces de proporcionar la energía de proceso a la temperatura deseada de tal manera que la reacción de deshidrogenación ocurrirá a una tasa baja o a un rendimiento bajo. A tal temperatura el reactor **2** es cambiado a operación en el modo de restauración como se ha descrito anteriormente. En una realización preferida el modo de restauración es llevado a cabo por la combustión del carbono depositado en las partículas del lecho sólidas o presentes de otra forma dentro del lecho fluidizado como resultado de la formación de carbono durante el modo de producción. La válvula **12**, de otra manera admitiendo el combustible **13** en el reactor de lecho fluidizado **3**, puede entonces permanecer cerrada durante el modo de restauración. Este método intermitente es una alternativa para el llamado proceso Snamprogetti/Yarsintez descrito por Domenico Sanfilippo, Franco Buonomo, Giorgio Fusco, Maria Lupieri e Ivano Niracca (Reactores de lecho fluidizado para deshidrogenación de parafinas, Chemical Engineering Science. Vol. 47, N° 9-11, pp. 2313-2318, 1992).

Se observa que al comienzo de los procesos ilustrados en la Figura 1, cuando el lecho fluidizado todavía no está adecuadamente condicionado para la operación en modo de producción, es posible aplicar por las entradas **8** ó **9** un gas caliente o vapor, o alternativamente se puede proporcionar un combustible por la entrada **9** para la combustión dentro del lecho fluidizado.

Se observa que el único aparato **1** que comprende un reactor de lecho fluidizado, puede ser intermitentemente operado entre un modo de producción y un modo de restauración. El método resultante es entonces discontinuo en relación con la fabricación del producto del proceso. Si se desea que la fabricación del producto del proceso sea continua entonces es posible usar dos o más reactores de lecho fluidizado de tal forma que al menos un reactor de lecho fluidizado está en el modo de producción y al menos un reactor de lecho fluidizado está en modo de restauración. Por consiguiente, hay una producción continua del producto del proceso.

La Figura 2 describe otro aparato de acuerdo a la invención, que comprende dos reactores de lecho fluidizado **23** y **24** que son intermitentemente pero no concomitantemente operativos en modos diferentes. Los reactores **23** y **24** tienen sustancialmente la misma construcción que la descrita en relación con el reactor de lecho fluidizado **2** en la Figura 1.

En un modo de producción, hidrocarburos C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub> son añadidos por la entrada **25** y la válvula de tres vías **26** a la entrada **27** del reactor de lecho fluidizado **23**. Se añade vapor por la entrada **28**, válvula de dosificación **29**, y la entrada **30** al reactor de lecho fluidizado **23**. La reacción realizada en el reactor de lecho fluidizado **23** es reformada con vapor, que es una conversión de hidrocarburos a monóxido de carbono e hidrógeno. En el reactor de lecho fluidizado **23** las partículas sólidas **31** que comprenden los catalizadores basados en Ni son mantenidas en el lecho fluidizado. Este catalizador apoya la reacción de reformado con vapor, que es llevada a cabo a elevadas temperaturas de 500-1100° C, y que es endotérmica. La operación continuada del reactor de lecho fluidizado **23** en este modo de producción, en ausencia de medios específicos para la provisión de calor, resulta en un descenso gradual de la temperatura de las partículas del lecho fluidizado sólidas **31**.

Por la salida **32**, la válvula de tres vías **33** y la entrada **34**, el producto de la reacción es añadido a la unidad de separación **35** en la que el hidrógeno **36** y el monóxido de carbono **37** son separados, y el hidrógeno **36** retirado como el producto.

El monóxido de carbono **37** es alimentado al reactor de lecho fluidizado **24** por la válvula de tres vías **38** y la entrada **39**. Por la válvula de dosificación **42** y la entrada **43** es suministrado vapor **41**. En el reactor de lecho fluidizado **24** las partículas sólidas **44** que comprende un catalizador para la reacción de cambio agua gas son mantenidas en modo fluidizado. Estas partículas catalizadoras están basadas en MnCu y/o Ni. Adecuadamente, la reacción de cambio agua gas es llevada a cabo a una temperatura de alrededor de 700 a 800° C, que es más baja que la temperatura preferida para la reacción de reformado con vapor, y la reacción es exotérmica. Debido a su carácter exotérmico, y en ausencia de medios específicos para el enfriamiento, la operación continuada del reactor de lecho fluidizado **24** en su modo de producción resulta en un aumento gradual de la temperatura para las partículas del lecho fluidizado sólidas **44**, más allá del límite superior de un intervalo de temperatura de reacción adecuado para la reacción de cambio agua gas.

Por la salida **45**, la válvula de tres vías **46**, y la entrada **47**, el producto de la reacción es alimentado a una unidad de separación **48** separando el hidrógeno **36** del dióxido de carbono **49**, y el hidrógeno retirado como el producto.

Los dos reactores de lecho fluidizado **23** y **24** siendo operados simultáneamente, y cada uno haciendo otra mezcla de producto, la temperatura de un reactor de lecho fluidizado aumenta gradualmente mientras la temperatura del otro disminuye gradualmente hasta intervalos de temperatura donde las producciones respectivas ya no son efectivas y/o eficientes. De acuerdo a la invención es posible operar intermitentemente los reactores de lecho fluidizado **23** y **24** individualmente en posteriores modos de reformado con vapor y reacción de cambio agua gas, de tal manera que cuando un reactor de lecho fluidizado es operado para realizar el reformado con vapor, el otro reactor de lecho fluidizado es operado para realizar la reacción de cambio agua gas. Para que esta operación sea llevada a cabo adecuadamente, se requiere que las válvulas de tres vías **26**, **33**, **38** y **46** estén cambiadas adecuadamente, y las válvulas de dosificación **29** y **42** controladas adecuadamente. Considerando un único reactor de lecho fluidizado de los dos reactores **23** y **24**, el modo de producción de fabricación de hidrógeno por medio de la reacción de cambio agua gas, debido al aumento de temperatura de las partículas sólidas como resultado del carácter exotérmico de la reacción, sirve como el modo de restauración para la fabricación de hidrógeno por medio de la reacción de reformado con vapor, que es el modo de producción posterior llevado a cabo en ese reactor de lecho fluidizado. A su vez, el modo de producción posterior de la reacción de reformado con vapor, debido a la disminución de temperatura de las partículas del lecho sólidas como resultado del carácter endotérmico de la reacción, llevada a cabo en el reactor de lecho fluidizado considerado, sirve como el modo de restauración para la fabricación de hidrógeno por medio de la reacción de cambio agua gas, que es el modo de producción posterior llevado a cabo en ese reactor de lecho fluidizado.

Obviamente los sistemas de partículas catalíticas usados para la reacción de reformado con vapor y para la reacción de cambio agua gas deben ser seleccionados de tal manera que preferiblemente ambos sistemas catalizadores puedan estar presentes en uno y en el mismo reactor para llevar a cabo bajo las condiciones de reacción apropiadas la reacción catalítica característica.

Para la persona experta será una rutina decidir en qué etapa un reactor de lecho fluidizado tiene que ser cambiado de un modo a otro. Tal decisión puede depender de las temperaturas residentes, las entalpías de reacción, las capacidades caloríficas de las partículas sólidas, y aquellas de los fluidos reconstituyentes, y los reactivos, la tasa de reacción y el rendimiento de los productos de la reacción, y otros objetos. También será rutinario para la persona experta diseñar un aparato que consista de un reactor de lecho fluidizado, o de una combinación de múltiples reactores de lecho fluidizado actuando juntos, en modos de producción y en modos de restauración. Tal diseño puede depender de las temperaturas residentes, las entalpías de reacción, las capacidades caloríficas de las partículas sólidas, de los fluidos reconstituyentes, y los reactivos, la tasa de reacción y el rendimiento de los productos de la reacción, y otros objetos.

De acuerdo a una realización más preferida de la presente invención, es pirolizada biomasa o residuo polimérico en el modo de producción mientras un combustible es quemado con aire en el modo de restauración.

La invención es ilustrada además por medio de los siguientes ejemplos no limitativos.

## EJEMPLOS

### Ejemplo 1

Este ejemplo ilustra el uso del presente método para producir vapor sobrecalentado de 750-800° C a presión atmosférica de vapor saturado a la misma presión. El método descrito utilizó un reactor de lecho fluidizado como se describe en la Figura 1.

En el modo de restauración el reactor de lecho fluidizado fue calentado a 850° C por medio de carbón y aire de combustión. Esta corriente de materia prima también actuó como medio de fluidización. El cambio de modo fue realizado cuando la temperatura del lecho fluidizado llegó al valor objetivo anteriormente mencionado de 850° C interrumpiendo los flujos de carbón y aire de combustión, y comenzando un flujo de vapor saturado que también actuó como medio de fluidización. La salida del reactor de lecho fluidizado fue simultáneamente cambiada de gas de combustión a vapor sobrecalentado (y el vapor puede ser alimentado en un tambor de vapor). El vapor de salida fue sobrecalentado a una temperatura que es esencialmente igual a la temperatura del lecho fluidizado.

Durante el modo de producción, la temperatura del lecho fluidizado disminuyó gradualmente como resultado de la transferencia de calor de las partículas del lecho sólidas al vapor. Cuando la temperatura del vapor sobrecalentado llega al extremo inferior del intervalo de temperatura deseado (en este ejemplo 750° C), el reactor de lecho fluidizado fue cambiado al modo de restauración y una corriente de materia prima de carbón y aire fue alimentada de nuevo en el lecho en lugar del flujo de vapor saturado. Simultáneamente, la salida de gas del reactor de lecho fluidizado fue conectada a un conducto de gases de combustión.

### Ejemplo 2

Este ejemplo ilustra el uso del presente método para producir aceite pirolítico y vapor de biomasa. De nuevo, el método utilizó un reactor del lecho fluido como se describe en la Figura 1. El lecho fluidizado consistió de partículas de arena (diámetro medio = 0,5 mm).

En el modo de restauración el reactor de lecho fluidizado fue calentado a 540° C por combustión de gas natural y aire en el interior del lecho fluidizado. La mezcla de materias primas y los productos de la combustión resultantes también actuaron como medio de fluidización. El cambio de modo fue llevado a cabo cuando la temperatura del lecho fluidizado llega al valor objetivo deteniendo los flujos de materia prima de gas natural y aire de combustión, y comenzando un flujo de gas inerte (nitrógeno) a través del lecho para llevarlo al régimen de fluidización mínimo. Además de nitrógeno, la corriente de materia prima contenía partículas de biomasa frías que habían sido procesadas de tal manera que se mezclasen apropiadamente con la arena bajo las condiciones del régimen de fluidización que resultó de la reacción de pirólisis. La biomasa fue aumentada a un tamaño de partícula de menos de 2 mm y secada a un contenido de humedad del 0% para asegurar una transferencia de calor intra-biomasa óptima para que se produjese la reacción de pirólisis y para minimizar el uso de energía por la evaporación de agua.

Durante el modo de producción, la temperatura del lecho fluidizado disminuyó como resultado de la pirólisis endotérmica de la biomasa y de su calentamiento de la temperatura del reactor. Cuando el lecho fluidizado llegó al extremo inferior del intervalo de temperatura deseado (de 460° C), el reactor de lecho fluidizado fue cambiado al modo de restauración.

### Ejemplo 3

Las Figuras 3 y 4 muestran dos configuraciones de los mismos procesos llevados a cabo en los reactores de lecho fluidizado. La Figura 3 es de acuerdo a la técnica existente por medio de los procesos de lecho fluidizado estacionarios, y la Figura 4 es de acuerdo a la invención por medio de los lechos fluidizados operados intermitentemente. El proceso primario es licuefacción pirolítica de biomasa y la energía para ese proceso es proporcionada por medio de una reacción de combustión. La reacción de licuefacción pirolítica puede ser realizada favorablemente en el interior de un lecho fluidizado o partículas de arena calientes en ausencia de aire, y dentro del intervalo de temperaturas adecuadas que es al menos de 80° C de amplio, por ejemplo, entre 460 y 540° C que puede derivarse de "Fast pyrolysis of sweet sorghum and sweet sorghum bagasse", Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volumen 46, Edición 1, Junio 1998, Páginas 15-29, Jan Piskorz, Piotr Majerski, Desmong Radlein, Donald S. Scott, A.V. Bridgwater, en particular la página 24, Figura 6.

En la Figura 3, El reactor **54** es el reactor de licuefacción pirolítico. Es alimentado con biomasa a temperatura ambiente como la materia prima por la línea **55**, y un gas inerte como el nitrógeno es suministrado como un medio de fluidización por la línea **56**. (Gases alternativos que pueden servir para este propósito son gases de proceso no condensados). En el interior del reactor **54** la materia prima es calentada a la temperatura del lecho de 480° C y se descompone en vapor del producto, la temperatura del cual iguala la temperatura del lecho. El vapor del producto es retirado del Reactor **54** por la línea **57**. El proceso consume energía, y esta es suministrada por un flujo de arena calentada del Reactor **64**, por ejemplo a una temperatura de 800° C, que es esencialmente más alta que la temperatura deseada del proceso del Reactor **54** (aquí 480° C). Este flujo de arena calentada está habilitado por la gravedad, y un número de dispositivos incluyendo una Tubería de Suministro de Arena **58**, un Tornillo de Extracción de Arena actuando como un regulador del flujo **53**, una Esclusa de Arena **60**, y una Tubería de Soporte **59**. Estos dispositivos son requeridos porque es esencial controlar el flujo de arena calentada mientras se evita la mezcla de reactivos y gases de regeneración. Con este fin se proporcionan combustible y aire de combustión. En algunos casos todo o parte del combustible puede también estar presente en forma de carbón vegetal contenido en el interior de la arena relativamente fría que es alimentada al Reactor **64** para equilibrar el flujo de arena en el reactor **54**. La arena tomada del Reactor **64** para suministrar energía al Reactor **54** está equilibrada por una alimentación de arena en el Reactor **64** que esta proporcionada por medio de una tubería de elevación (conducida por aire a través de la línea **52**) que transfiere arena tomada del Reactor **54**. En algunos casos esta tubería de elevación puede ser una cinta transportadora o un elevador de cangilones, u otro dispositivo mecánico. Dispositivos adicionales necesarios para permitir una transferencia de arena del Reactor **54** al Reactor **64** incluyen: un Tornillo de Extracción **69** controlada por frecuencia, u otro medio mecánico de regulación de flujo de sólidos (como una Válvula de Manguito resistente a la temperatura), una Tubería de Soporte **65**, una Esclusa de Arena **66** y una Tubería de Transferencia de Arena **67**. Estos dispositivos son requeridos porque es esencial controlar el flujo de arena calentada mientras se evita la mezcla de reactivos y gases de la regeneración. La temperatura de la arena retirada el Reactor **54** es igual a la temperatura de lecho fluidizado en el interior del Reactor **54**. El proceso es llevado a cabo continuamente.

En la Figura 4, cada uno de los Reactores **70** y **80** actúa como en Reactor de licuefacción pirolítico y un reactor de combustión, sin embargo no en el mismo momento del tiempo, sino más bien intermitentemente. En este caso específico los dos reactores son operados en contra fase, es decir que si uno es operado en un modo de licuefacción pirolítico que está limitado en el tiempo, el otro es operado en un modo de combustión que está limitado por el mismo intervalo de tiempo, y después de que el intervalo de tiempo haya expirado los modos operacionales respectivos son cambiados de la licuefacción pirolítica a combustión y viceversa. Tomemos, por el bien del argumento, un momento en el tiempo en el que el Reactor **70** está en el modo de licuefacción pirolítica y el Reactor **80** en el modo de combustión. En ese momento, el Reactor **70** es alimentado con biomasa a temperatura ambiente como la materia prima por la línea **73**, y es proporcionado un gas inerte como el nitrógeno como un medio de fluidización por la línea **74**. Gases alternativos que pueden servir para este propósito son gases del proceso no condensados. Dentro del Reactor **70** la materia prima es calentada a la temperatura del lecho y se descompone en vapor del producto, la temperatura de la cual iguala la temperatura del lecho. El vapor del producto es retirado del

Reactor **70** por la válvula **75** y la línea **77**. El proceso consume energía, y esta es suministrada por el lecho fluidizado en el interior del Reactor **70**. Mientras proporciona energía, el lecho fluidizado en el interior del Reactor **70** se enfría. Este proceso es continuado hasta que la temperatura del lecho fluidizado en el interior del Reactor **70** alcanza una temperatura que es demasiado baja para mantener una reacción de licuefacción pirolítica favorable. En ese momento el modo operacional del Reactor **70** es cambiado de licuefacción pirolítica a combustión. Con este fin, la alimentación de materia prima es detenida, y se proporcionan combustible y aire de combustión al Reactor **70** por las líneas **71** y **72** respectivamente. En algunos casos todo o parte del combustible puede estar ya presente en forma de carbón vegetal permaneciendo como un residuo en el interior del Reactor **70**. Como resultado de la combustión, las condiciones de temperatura del lecho fluidizado en el interior del Reactor **70** son restauradas, y el ciclo intermitente de licuefacción pirolítica seguido por combustión se repite. La operación del Reactor **80** en contra-fase al Reactor **70** permite un proceso productivo continuo.

La duración del modo predominante realmente depende de los parámetros del diseño como la capacidad de producción y tamaño del lecho. El modo de licuefacción pirolítica, que es el objetivo del proceso primario, puede por ejemplo durar 30 minutos, y el modo de restauración de combustión puede durar 5 minutos.

En la tabla siguiente se comparan los dos sistemas.

Lecho fluido estacionario con circulación de sólidos externa para la licuefacción pirolítica de biomasa	Lecho fluido intermitente para la licuefacción pirolítica de biomasa
Además de un reactor de proceso principal, se requiere al menos otro reactor para reconstituir los sólidos del lecho	Un reactor es suficiente para llevar a cabo el proceso de la invención, pero para permitir la comparación de un proceso continuo se utilizaron dos reactores en el Ejemplo 3
Se requieren dispositivos que permitan la circulación de sólidos externa. Mientras permiten el flujo de sólidos, esos dispositivos deben prevenir flujos no deseados de gases (retromezcla, mezcla hacia adelante). Esos dispositivos deben ser resistentes a altas temperatura, más altas que en el caso de un lecho fluido intermitente. Esos dispositivos deben ser resistentes al deterioro. Esos dispositivos necesitan temperatura y controles de flujo. Esos dispositivos necesitan energía operacional (por ejemplo de un soplador induciendo una subida).	La circulación de sólidos externa se omite. Se requieren válvulas de flujo de gas On/off para cambiar el proceso. Esas válvulas deben ser resistentes a las temperaturas predominantes (460-540° C).
Las condiciones de proceso del proceso principal pueden ser fijadas a un punto establecido para optimizar la producción.	Las condiciones de proceso del proceso principal oscilan alrededor de un óptimo.

Se apreciará de la mencionad tabla que el concepto de un lecho fluido intermitente para la licuefacción pirolítica de biomasa conlleva un número de ventajas sobre el lecho de fluido estacionario con circulación de sólidos externa. Esas ventajas son en términos de menos complejidad de control, menos reactores, menos dispositivos de transferencia de sólidos, menos exposición al deterioro, menos energía operacional. Es razonable esperar que el lecho fluido intermitente para la licuefacción pirolítica de biomasa sea dos veces menos costoso que el lecho fluido estacionario con circulación de sólidos externa, ambos en términos de inversión (equipo) y costes operacionales (energía y mantenimiento), Una desventaja de un lecho fluido intermitente para la licuefacción pirolítica de biomasa es la oscilación de las condiciones del proceso, que puede resultar en un menor rendimiento de producción como una proporción de entrada de materia prima. La reducción de la productividad puede ser de hasta el 5%.

Ejemplo 4

Un proceso de pirolisis de residuo de polietileno de acuerdo a la presente invención en un reactor de lecho fluidizado es operado intermitentemente dentro de un intervalo de temperatura de 290° C a 340° C. El modo de producción (pirolisis) empieza a 340° C y se permite que el lecho fluidizado enfríe hasta que se alcance una temperatura de 290° C. Desde ese momento el lecho fluidizado es recalentado por combustión del carbón formado en el interior del lecho durante el modo de producción (pirolisis) por la alimentación de aire y opcionalmente un combustible adicional (modo de restauración), hasta que el lecho alcanza la temperatura de comienzo de 340° C de nuevo. El ciclo puede ser repetido siempre que se requiera y las partículas sólidas fluidizadas permanezcan en el interior del mismo reactor. El rendimiento del producto parece que varía dentro de unos intervalos aceptables.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de convertir una corriente de materia prima en una corriente de producto pasando la mencionada corriente de materia prima a través de un lecho de partículas sólidas fluidizadas y permitiendo que se produzca intercambio de calor entre el lecho de partículas sólidas fluidizadas y la corriente de materia prima, el mencionado método **estando caracterizado en que** alternativamente emplea un modo de producción y un modo de restauración para controlar la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas:
- 10 • el mencionado método de producción comprende pasar la corriente de materia prima a través del lecho de partículas sólidas fluidizadas permitiendo que la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas disminuya o aumente como resultado de la energía de producción asociada con la conversión de la corriente de materia prima en la corriente de producto; y
  - 15 • el mencionado método de restauración comprende restaurar la temperatura del lecho de partículas sólidas fluidizadas pasando una corriente de restauración a través del lecho de partículas sólidas fluidizadas para disminuir la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas en el caso de que la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas haya aumentado durante el modo de producción o para aumentar la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas en el caso de que la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas haya disminuido durante el modo de producción;
  - y que las partículas sólidas fluidizadas son mantenidas en el mismo reactor.
- 20 2. El método de acuerdo a la reivindicación 1, en donde el modo de producción se continúa hasta que la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas haya aumentado a un valor máximo preestablecido o disminuido a un valor mínimo preestablecido y en donde durante el modo de restauración posterior la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas es restaurada a un valor objetivo preestablecido.
- 25 3. El método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, en donde la duración del modo de producción es de 1-200 minutos y la duración del modo de restauración es de 0,5-60 minutos.
4. El método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde el método comprende una secuencia ininterrumpida de al menos 3 modos de producción y al menos 3 modos de restauración.
5. El método de acuerdo a las reivindicaciones 1-4, en donde durante el modo de producción se produce en el lecho fluidizado una reacción química endotérmica de los reactivos contenidos en la corriente de materia prima.
6. El método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde al menos un 20%, más preferiblemente al menos un 30% de la energía de producción es proporcionada por la corriente de restauración.
- 30 7. El método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas disminuye por lo menos 10° C, preferiblemente por lo menos 20° C y más preferiblemente por lo menos 30° C durante el modo de producción.
- 35 8. El método de acuerdo a las reivindicaciones 5-7, en donde la corriente de restauración comprende un portador de energía seleccionado del grupo consistente de gases calientes, vapores calientes, líquidos calientes, o reactivos que reaccionan exotérmicamente bajo las condiciones predominantes en el lecho de partículas sólidas fluidizadas durante el modo de restauración y combinaciones de los mismos.
9. El método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 5-8, en donde durante el modo de restauración las partículas sólidas fluidizadas catalizan una reacción química exotérmica de reactivos contenidos en la corriente de restauración.
- 40 10. El método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 5-9, en donde durante el modo de restauración se produce una reacción química exotérmica entre los reactivos contenidos en la corriente de restauración y la materia que fue acumulada en el lecho de partículas sólidas fluidizadas durante el modo de producción.
- 45 11. El método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas en el lecho aumenta por lo menos 10° C, preferiblemente por lo menos 20° C y más preferiblemente por lo menos 30° C durante el modo de producción.
12. El método de acuerdo a las reivindicaciones 1-4, en donde durante el modo de producción se produce en el lecho fluidizado una reacción química exotérmica de los reactivos contenidos en la corriente de materia prima.
- 50 13. El método de acuerdo a las reivindicaciones 11 ó 12, en donde la corriente de restauración comprende un portador de energía seleccionado del grupo consistente de gases fríos, vapores fríos, líquidos fríos, o reactivos que reaccionan endotérmicamente bajo las condiciones predominantes en el lecho de partículas sólidas fluidizadas durante el modo de restauración y combinaciones de los mismos.

14. El método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 11-13, en donde durante el modo de restauración las partículas sólidas fluidizadas catalizan una reacción química endotérmica de reactivos contenidos en la corriente de restauración.
- 5 15. El método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1-14, en donde el método emplea al menos dos lechos de partículas sólidas fluidizadas que cada una son alternativamente operadas en el modo de producción y en el modo de restauración, los mencionados al menos dos lechos incluyen un primer lecho que es operado en el modo de producción y un segundo lecho que es simultáneamente operado en el modo de restauración, en donde el primer lecho es cambiado del modo de producción al modo de producción desviando al menos una parte de la corriente de materia prima del primer lecho al segundo lecho y simultáneamente el segundo lecho es cambiado del modo de restauración al modo de producción desviando al menos una parte de la corriente de restauración del segundo lecho al primer lecho cuando (i) la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas en el primer lecho ha aumentado a un valor máximo preestablecido o disminuido a un valor mínimo preestablecido o (ii) la temperatura de las partículas sólidas fluidizadas en el segundo lecho ha sido restaurado a un valor objetivo preestablecido.
- 10 16. El método de acuerdo a la reivindicación 15, en donde el modo de producción es endotérmico y el modo de restauración es exotérmico y en donde al menos una parte de la corriente de producto generada durante el modo de producción en cualquiera de los dos lechos es introducida como reactivo en la corriente de restauración que es alimentada al otro lecho.
- 15 17. El método de acuerdo a la reivindicación 16, en donde el modo de producción comprende la conversión por reformado con vapor de una corriente de materia prima que comprende agua y un hidrocarburo y en donde el modo de restauración comprende la conversión por reacción de cambio agua gas de una corriente de restauración que comprende vapor y al menos una parte del monóxido de carbono generado durante el modo de producción.
- 20 18. El método de acuerdo a las reivindicaciones 1-10, en donde la biomasa o residuo de polímero es pirolizado en el modo de producción, mientras un combustible y preferiblemente gas natural se quema con aire en el modo de restauración.
- 25 19. Un aparato para llevar a cabo un método como se define en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, el mencionado aparato comprende al menos un recipiente conteniendo un lecho de partículas sólidas fluidizadas, el mencionado recipiente comprendiendo además:
- una o más entradas para una corriente fluidificada localizada en un lado del lecho;
  - una o más salidas localizadas en el lado opuesto del lecho;
- 30 • medio de conmutación primario para alimentar alternativamente la corriente de materia prima o la corriente de restauración a través de una o más entradas.
- 35 20. El aparato de acuerdo a la reivindicación 19, el mencionado aparato comprende dos o más de los recipientes conteniendo un lecho de partículas sólidas fluidizables, incluyendo un primer recipiente y un segundo recipiente, en donde el medio de conmutación primario es capaz de redirigir la corriente de materia prima de los primeros recipientes al segundo recipiente mientras que simultáneamente redirige la corriente de restauración del segundo recipiente o de otro de los dos o más recipientes al primer recipiente.
- 40 21. El aparato de acuerdo a la reivindicación 20, en donde al menos una de las entradas del primer recipiente está conectada a al menos una de las salidas del segundo recipiente y en donde al menos una de las entradas para el segundo recipiente está conectada a al menos una de las salidas del primer recipiente y en donde el aparato además contiene medios de conmutación secundarios para alimentar alternativamente una corriente de la salida de uno de los recipientes a una entrada del otro recipiente, en donde la operación del medio de conmutación secundario está sincronizado con la operación del medio de conmutación primario.

Fig 1

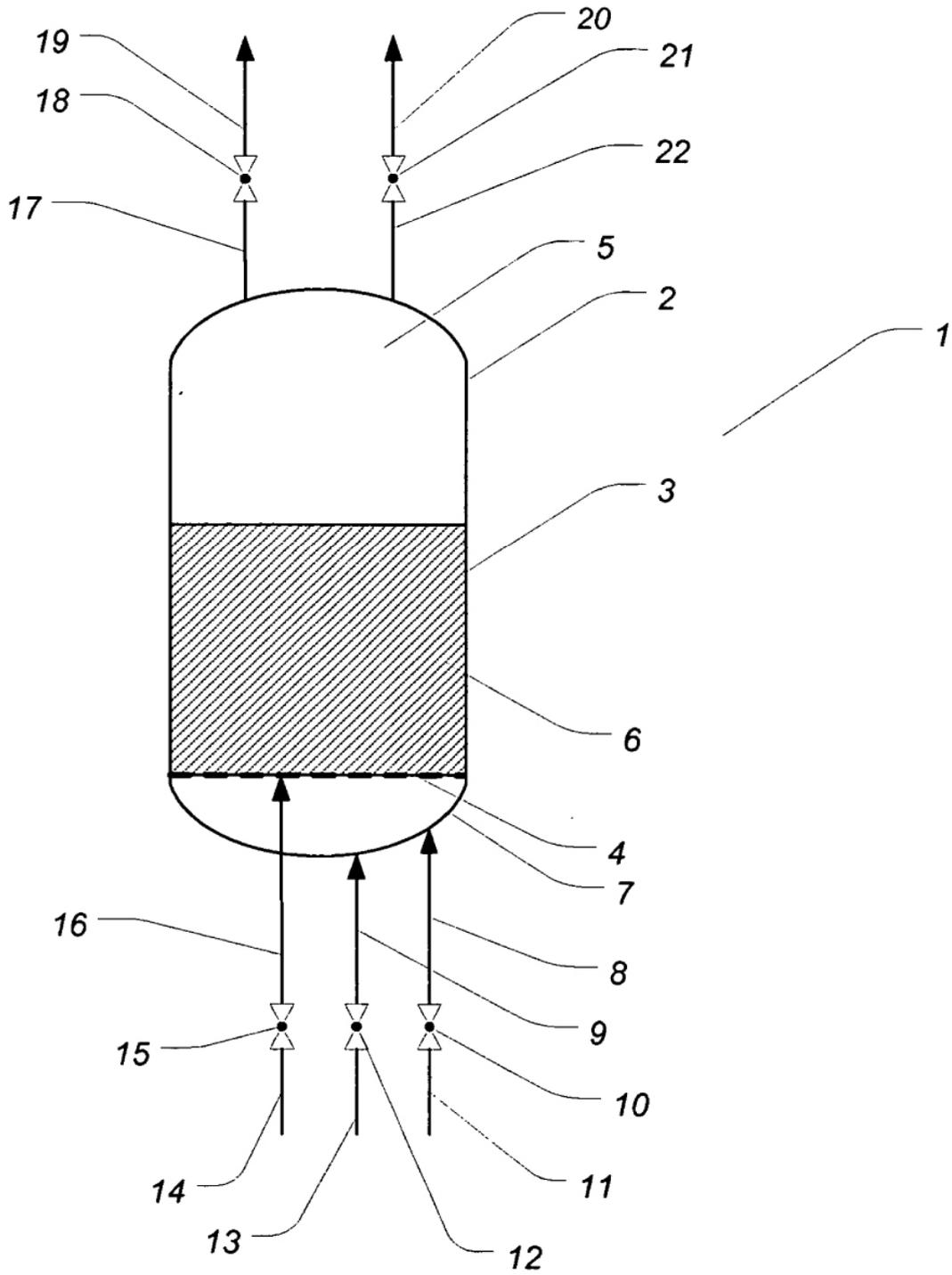


Fig 2

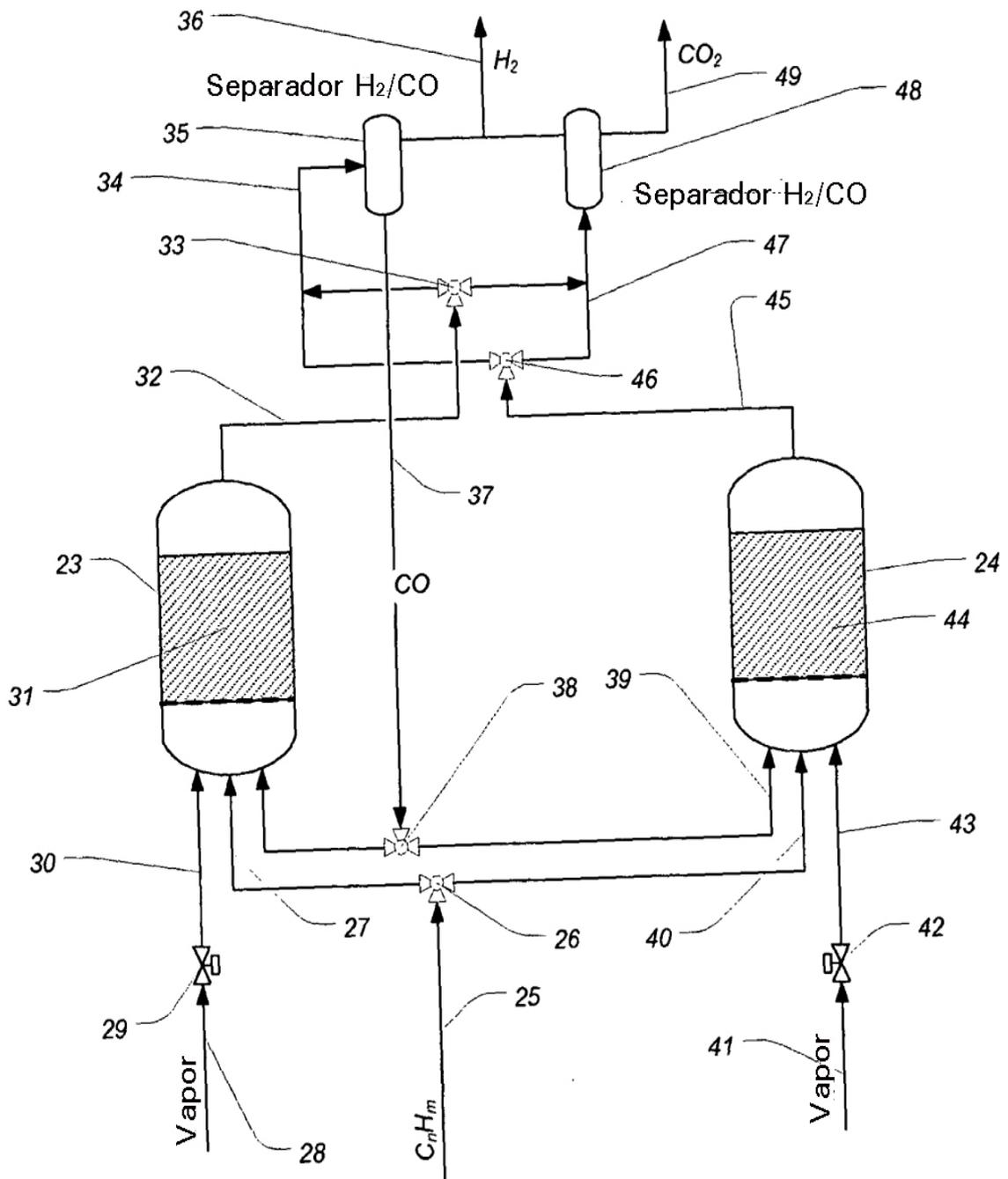


Fig 3

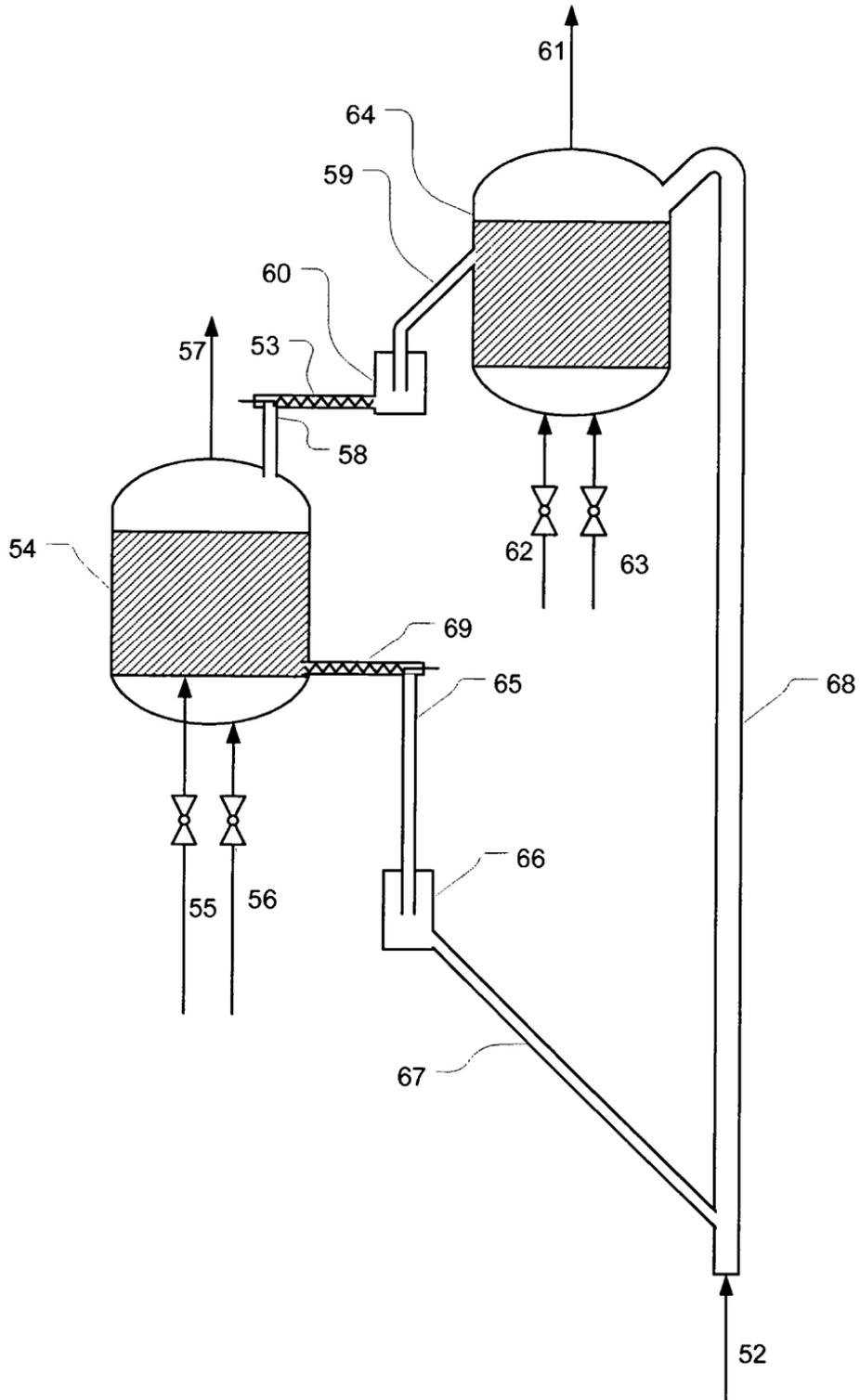


Fig 4

