

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 414 079**

51 Int. Cl.:

**B01J 8/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.08.2008 E 08782815 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2013 EP 2178630**

54 Título: **Sistema de reactores de lecho fluidizado**

30 Prioridad:

**14.08.2007 AT 12722007**

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

**18.07.2013**

73 Titular/es:

**TECHNISCHE UNIVERSITAT WIEN (100.0%)  
KARLSPLATZ 13  
1040 WIEN, AT**

72 Inventor/es:

**PRÖLL, TOBIAS;  
KOLBITSCH, PHILIPP;  
BOLHAR-NORDENKAMPF, JOHANNES y  
HOFBAUER, HERMANN**

74 Agente/Representante:

**DÍAZ NUÑEZ, Joaquín**

**ES 2 414 079 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

Sistema de reactores de lecho fluidizado.

La presente invención se refiere al campo de sistemas de reactores de gas-sólido, especialmente de lechos fluidizados circulantes.

5 Se usan reactores de gas-sólido para hacer que los sólidos, o partes de los mismos, participen directamente en una transformación química, ya sea como un reactante, como un catalizador, o como un portador de calor. Los sistemas de reactores de gas-sólido que comprenden dos zonas de reacción separadas permiten separaciones en dos cámaras de reacción de gas separadas que estén sólo conectadas por la corriente de sólidos, por lo que se puede impedir básicamente la mezcla de las corrientes de gases. Tales conjuntos se han usado ya satisfactoriamente en varios campos, tales como para el craqueo catalítico rápido en el campo del refinamiento de petróleo, para la transformación termomecánica de combustibles sólidos en gases combustibles (por ejemplo, para la gasificación o pirólisis de carbón o biomasa), para la combustión con transportadores de oxígeno para separar intrínsecamente dióxido de carbono en el transcurso de una combustión carbonosa de combustible (documento US 2 665 972), para el reformado con transportadores de oxígeno para separar intrínsecamente dióxido de carbono cuando se proporciona un gas de síntesis, y para el bucle de carbonato para absorber el CO<sub>2</sub> procedente de corrientes de gases o de los reactores de combustión o de gasificación (documento EP 1 637 574). El sólido circula de una zona de reacción a la otra y vuelve a la primera de nuevo. Son posibles varias realizaciones técnicas de dichos reactores, en las que los tiempos de retención que se han de conseguir y las características fluidodinámicas de los lechos fluidizados tienen que adaptarse al problema que se plantea. A continuación, las dos zonas de reacción que se han mencionado anteriormente se denominarán como dos reactores de lecho fluidizado conectados a través de la corriente de sólidos circulantes.

Generalmente, la expresión "lecho fluidizado circulante" se usa para referirse a un reactor de lecho fluidizado (rápido) que transporta sólidos y que incluye un dispositivo para separar sólidos de la corriente de gas saliente (tal como un conjunto de separador centrífugo o de gravedad). Se proporcionan una corriente de gas saliente y una corriente de sólidos separados. En una realización común de un lecho fluidizado circulante, el sólido se lleva de vuelta al reactor de lecho fluidizado.

La cantidad de sólidos descargados a menudo se regula por la distribución del gas fluidizado introducido en el reactor en sitios diferentes a lo largo de la altura del reactor (equilibrado de gases o graduación del aire). A continuación, se entenderá que un "lecho fluidizado circulante" se refiere a un lecho fluidizado en el que las partículas se fluidizan por medio de fluido y, después de haber separado el fluido, al menos parte de las partículas se introduce de nuevo en el mismo u otro lecho fluidizado. Preferentemente, el lecho fluidizado circulante es un lecho fluidizado turbulento o rápido.

La expresión "lecho fluidizado estático" describe un lecho fluidizado que forma burbujas, no transporta sólidos y se dispone en un reactor en el que los sólidos han de separarse del lecho fluidizado. Por encima del lecho fluidizado, hay un espacio de gas (francobordo) que casi no tiene sólidos.

Generalmente, se usan sifones fluidizados, canales de conexión fluidizados o deslizaderas fluidizadas, y similares, para sellar herméticamente los espacios de gas de dos reactores de lecho fluidizado entre sí. Estos elementos de conexión o de sellado se fluidizan preferentemente por medio de fluidos que no interfieren fuertemente con ninguno de los dos reactores de lecho fluidizado. El vapor de agua sería un ejemplo de un fluido de este tipo que puede usarse para numerosas aplicaciones.

Ya se conocen sistemas de reactores en los que un lecho fluidizado estático está implicado en la reintroducción de los sólidos en un lecho fluidizado circulante común (AT 405937 B; documento JP 2000/192056; Lyngfelt y col., Chemical Engineering Science 56 (2001), 3101-3113; documento EP 1.637.574). Lyngfelt y col., por ejemplo, describen un sistema que consiste en un reactor de aire y un reactor de combustible, entre los que se intercambia un metal/óxido metálico en ciclos. En el reactor de aire, se forma un óxido metálico por la oxidación del material del lecho, convirtiéndose de nuevo dicho óxido metálico en su forma reducida por la oxidación del combustible (tal como un hidrocarburo gaseoso) en el reactor de combustible. En la reacción total, el combustible se quema mediante el aire. Los gases de escape resultantes de esta reacción no se mezclan debido a la separación de los dos reactores de gas. Por lo tanto, por un lado, se obtienen por separado un óxido residual que contiene nitrógeno (reactor de aire) y, por otro lado, una mezcla de CO<sub>2</sub>-agua (reactor de combustible). Debido a los diferentes caudales de gas, se usa un lecho fluidizado circulante en el reactor de aire y se usa un lecho fluidizado estático en el reactor de combustible.

Dichos conjuntos, en los que un lecho fluidizado estático está implicado en la reintroducción de los sólidos en un lecho fluidizado circulante común, permiten un funcionamiento intenso sin filtrar en exceso las partículas, ya que la parte principal del sólido se localiza en el lecho fluidizado estático y las partículas pasan el ciclón solamente una vez en el transcurso de un ciclo completo. Debido a la implementación de uno de los dos reactores como un lecho fluidizado estático, el empleo de tales sistemas, sin embargo, es limitado en el caso de instalaciones de alta capacidad, ya que la sección transversal de reactor requerida en el área del lecho fluidizado estático tiene que ser muy grande. Si el procedimiento tiene el objetivo de convertir en gran medida el gas fluidizado en contacto con el sólido, el lecho fluidizado estático tiene la desventaja adicional de que hay sólo un contacto deficiente entre el gas y el sólido en la fase de

burbujeo y que la concentración de sólidos es sólo baja en el francobordo por encima del lecho fluidizado estático. Por lo tanto, hay un riesgo de fuga del gas de carga o de fluidización que no haya reaccionado.

El documento 19 808 439 C1 (documento US 6.290.775) describe la conexión de dos lechos fluidizados estáticos a través de un vertedero de agua para las partículas sólidas, incluyendo dichos lechos fluidizados estáticos conectados una cubierta en el espacio de gas para impedir que se mezclen los gases en los espacios de gas.

Se conocen también sistemas de reactores que consisten en dos o más lechos fluidizados circulantes conectados. El objetivo de algunas de estas aplicaciones consiste en el tratamiento del sólido, poniéndose en práctica dicho tratamiento por medio de un principio de etapas, pasando el sólido a través de un reactor después de otro sin una recirculación del sólido al primer reactor (documento WO 98/30497, KR 2003 0020114). En otras aplicaciones conocidas, se implementan bucles sólidos en forma de dos sistemas de lecho fluidizado circulante conectados. En estos sistemas, el sólido descargado, que posteriormente se separa de la corriente de gas, se transporta al otro reactor de lecho fluidizado rápido (documento US 6.083.862 B1) o se transporta a través de dispositivos apropiados para dividir las corrientes sólidas separadas en el separador centrífugo o de gravedad proporcionalmente al mismo o el otro reactor de lecho fluidizado rápido. Es posible transportar el material al otro reactor después de un separador de partículas o a través de una descarga de partículas en el fondo del reactor por medio de un dispositivo de transporte neumático (documento GB 1524345). Tales sistemas no presentan el problema de escalamiento descrito para montajes que usan un lecho fluidizado estático, y el contacto entre el gas y el sólido se establece a lo largo de toda la altura del reactor en los reactores fluidizados rápidos. El uso conocido de dos reactores de lecho fluidizado rápidos requiere un control de regulación de la posición de los sólidos en el sistema, y, además, el sólido tiene que descargarse y separarse al menos dos veces en el transcurso de un ciclo, poniendo las partículas a una mayor tensión mecánica.

La presente invención tiene el objeto de superar las desventajas de los sistemas conocidos y especialmente de proporcionar un sistema de reactor de lecho fluidizado que consista en al menos dos reactores de lecho fluidizado circulante en los que el transporte de sólidos de los reactores individuales puede ajustarse de forma independiente. Por lo tanto, el contacto entre el gas y el sólido puede optimizarse en todos los reactores de lecho fluidizado implicados y, al mismo tiempo, el procedimiento puede optimizarse para convertirse en una intensa operación sin filtrar en exceso las partículas y que tenga todavía una alta velocidad de ciclado de sólidos total. Estas ventajas tienen efectos positivos, especialmente cuando aumentan los procesos que se han mencionado anteriormente, que, como se sabe, se ponen en práctica en forma de combinaciones de un lecho fluidizado circulante y un lecho fluidizado estático, porque no se requiere el lecho fluidizado estático y puede reemplazarse por un lecho fluidizado circulante adicional.

Por lo tanto, la presente invención se refiere a un sistema de reactores de lecho fluidizado que consiste en al menos dos reactores de lecho fluidizado que comprende al menos un reactor principal en forma de un lecho fluidizado circulante y un reactor secundario en forma de un lecho fluidizado circulante, constituyendo dichos reactores dos espacios separados llenos de gas para realizar reacciones químicas y que están conectados entre sí por una corriente de sólidos circulante, así como un conducto de partículas que comprende un separador de partículas y que sirve para transportar partículas de lecho fluidizado del reactor principal al reactor secundario. La presente invención está caracterizada porque el reactor principal y el reactor secundario están conectados hidráulicamente a través de un conducto de partículas fluidizadas en sus mitades inferiores. En particular, el conducto del reactor secundario al reactor primario conecta estos reactores en sus terceras o cuartas partes inferiores, preferentemente por debajo del nivel de llenado de los lechos sólidos en el sistema de reactor después de detener la fluidización.

En realizaciones específicas del sistema de la presente invención, el conducto conecta el fondo de los dos reactores. "Superior" e "inferior" deben entenderse en relación con la gravedad o el sentido del flujo del fluido entrante (o el fluido/gas de la reacción o el portador), ya que el flujo de fluido actúa contra la gravedad al mantener las partículas en el lecho fluidizado. En realizaciones específicas, se proporcionan dispositivos mecánicos adicionales (tales como aletas o deslizadores) para que afecten a la resistencia del flujo en el conducto de partículas durante el transporte de partículas del lecho fluidizado del reactor principal al reactor secundario.

Generalmente, la presente invención es un sistema de reactor que consiste en al menos dos lechos fluidizados rápidos en comunicación en dos reactores con un modo nuevo de dirigir la corriente de sólidos circulante, que conduce a una productividad optimizada en las reacciones químicas debido a la gran cantidad de partículas y el largo tiempo de permanencia del gas en las zonas de reacción. Al mismo tiempo, el sistema proporciona una buena regulación de la distribución de partículas dentro del sistema.

Son ventajas adicionales del sistema de la presente invención, por ejemplo, que la fluidización del segundo reactor (reactor secundario) u otros reactores opcionales pueda adaptarse de forma óptima a las exigencias de la reacción sin afectar a la circulación de sólidos total; que la localización de los sólidos en el sistema sea estable y que no tenga que supervisarse y regularse constantemente; que la circulación de sólidos total pueda ajustarse simplemente equilibrando el fluido de fluidización o el gas a través de la altura del reactor transportador de partículas (reactor principal); y que el diseño de los reactores que no son responsables del transporte total de partículas (por ejemplo el reactor secundario y otros reactores opcionales) pueda optimizarse para proporcionar una baja tensión mecánica de las partículas.

La presente invención se refiere especialmente a un sistema de reactores con lechos fluidizados, en el que el reactor principal y el reactor secundario están en contacto hidráulico directo entre sí, estableciéndose dicho contacto a través de

una conexión fluidizada (que se fluidiza con un gas inerte, por ejemplo, para sellar herméticamente los espacios de gas de los dos reactores y, por ejemplo, puede estar diseñado en forma de sifón, una deslizadera de conexión, o un conducto de conexión), lo que significa que los lechos fluidizados o los niveles de llenado, respectivamente, del reactor principal y el reactor secundario pueden equilibrarse. Preferentemente, las partículas son partículas sólidas y/o el fluido introducido es preferentemente un gas, especialmente uno que sea apropiado para fluidizar las partículas en un lecho fluidizado (por ejemplo, un lecho fluidizado turbulento o rápido).

Como alternativa, las partículas del reactor secundario pueden introducirse de nuevo en el reactor principal o, cuando se usa un dispositivo apropiado para dividir la corriente de partículas, parcialmente en el reactor secundario y parcialmente en el reactor principal. Por lo tanto, una realización preferida se refiere a un sistema según la presente invención que está caracterizado porque el conducto de partículas, que sirve para transportar partículas de lecho fluidizado del reactor principal al reactor secundario y comprende un separador de partículas, también dirige una parte de la corriente de partículas directamente de vuelta al reactor principal, usando un dispositivo adecuado para dividir la corriente de partículas. En realizaciones preferidas, el reactor secundario tiene un bucle de retorno de partículas que dirige las partículas del lecho fluidizado del reactor secundario de vuelta a uno cualquiera de los reactores de lecho fluidizado, o, cuando se usa un dispositivo apropiado para dividir la corriente de partícula, de vuelta a diferentes reactores de lecho fluidizado.

El bucle de retorno de partículas del reactor secundario comprende canales o conductos que se proporcionan independientemente del reactor, por ejemplo después de separadores de partículas (tales como separadores centrífugos o de gravedad), y se llevan de vuelta al reactor (reactor principal o secundario). Preferentemente, el conducto de conexión en el área inferior de los reactores para el transporte de partículas de lecho fluidizado del reactor secundario al reactor principal se proporciona independientemente del bucle de retorno de partículas del reactor secundario.

Por lo tanto, la corriente de partículas circulantes total se descarga del reactor principal, se separa de la corriente fluida, y se dirige al reactor secundario a través de un dispositivo de sellado opcional, dirigiéndose las partículas del reactor secundario de vuelta al reactor principal a través del conducto en las áreas inferiores de los reactores, mientras que las partículas que pueden descargarse del reactor secundario se dirigen, después de haberse separado de la corriente fluida, de vuelta al reactor secundario (o completa o parcialmente al reactor principal). También es posible que parte de la corriente de partículas del reactor principal al reactor secundario se dirija de vuelta al reactor principal a través de un dispositivo apropiado para dividir la corriente de partículas.

Al sistema de reactores se le pueden añadir uno o más reactores de lecho fluidizado que son similares al reactor secundario, estando dichos uno o más reactores de lecho fluidizado en contacto hidráulico con el reactor principal y/o el secundario a través de una conexión implementada de manera apropiada, y, después de haberse separado de la corriente principal, las partículas circulantes del reactor principal pueden introducirse en uno de los reactores secundarios o, por medio de un dispositivo apropiado para dividir la corriente de partículas, en diferentes reactores secundarios. También es posible proporcionar varios reactores secundarios que están conectados en paralelo por medio de la división de corriente y elementos de conexión de recogida de corriente.

Como alternativa o adicionalmente, pueden conectarse uno o más reactores de lecho fluidizado adicionales al sistema que consiste en los reactores principales y secundarios, de modo que el reactor secundario funcione como un reactor principal para este o estos reactores adicionales. Esto significa que el bucle de retorno del reactor (primario) secundario conduce a un reactor secundario adicional. A partir del reactor o reactores secundarios adicionales, las partículas se reciclan en el reactor secundario anterior, en otro reactor secundario, o en el reactor principal, por ejemplo a través de un conducto de conexión en el área inferior de los reactores relevantes, como se describe en este documento para el reactor principal y el reactor (primario) secundario. En realizaciones específicas, se proporcionan dispositivos mecánicos adicionales (tales como aletas o deslizadores) para que afecten a la resistencia del flujo en el conducto de partículas para el transporte de partículas de lecho fluidizado del reactor secundario adicional al reactor primario secundario o entre el reactor secundario adicional y el reactor principal. Según esta realización, cada reactor secundario comprende un conducto de partículas que dirige todas las partículas del lecho fluidizado del reactor secundario, o al menos parte de las mismas, a un reactor secundario adicional.

En una realización específica, los reactores secundarios adicionales pueden conectarse al conducto desde el reactor principal al reactor primario secundario (que está conectado al reactor principal en su área inferior) entre los dos reactores. Según este ejemplo, el conducto de partículas que se ha descrito anteriormente conduce del reactor principal a través de uno o más reactores secundarios adicionales al reactor (primario) secundario.

En dichos sistemas con reactores secundarios adicionales, existe un conducto de partículas de al menos un reactor secundario a otro reactor secundario, o el conducto de partículas del reactor principal al reactor secundario conduce adicionalmente, al menos parcialmente, al reactor o reactores secundarios adicionales, siendo posible también combinaciones de los mismos. Además, el bucle de retorno de partículas del reactor secundario o el conducto de partículas del reactor principal al reactor secundario puede comprender un divisor de corriente de partículas que comprende preferentemente un elemento de sellado de gases, en particular se prefiere un sifón, teniendo lugar preferentemente en particular la fluidización de gas inerte en el mismo.

5 En el reactor principal y en el reactor o reactores secundarios se proporcionan entradas de fluido (portador), preferentemente entradas de gas (tales como boquillas, lanceta de gas, o similares), para formar los lechos fluidizados. Debido al acoplamiento de los reactores según la presente invención, los caudales de gas en los dos reactores pueden seleccionarse por separado y adaptarse de forma óptima a las exigencias técnicas de la reacción. En particular, la circulación de partículas en el reactor secundario se puede ajustar independientemente del ciclo de partículas principal (del reactor principal a través del reactor o reactores secundarios de vuelta al reactor principal), ya que es posible reciclar partículas en el reactor principal independientemente de la circulación de partículas en los reactores secundarios a través del conducto en el área inferior de los reactores. Puesto que los lechos fluidizados se esfuerzan por tener los mismos "niveles de relleno imaginarios" (es decir, las mismas pérdidas de presión de gas como se determina por el contenido de partículas), se puede evitar una agregación de partículas en uno de los dos reactores.

10 En el reactor principal y en el reactor o reactores secundarios se proporcionan entradas de fluido, preferentemente entradas de gas, para formar los lechos fluidizados. Se prefiere particularmente que el reactor principal y/o el reactor secundario tengan varias entradas de fluido, preferentemente entradas de gas, que sean escalonadas o se compensen entre sí a lo largo de la altura del reactor respectivo, o estén dispuestas en hileras en varios planos a lo largo de la altura de reactor. Un fluido, preferentemente gas, entra en los reactores a través de estas entradas, por ejemplo, como un reactante o un gas inerte, para transportar las partículas, pero principalmente para formar los lechos fluidizados.

15 El bucle de retorno de partículas del reactor secundario desemboca preferentemente a dicho reactor secundario por debajo de la entrada del conducto de partículas para transportar partículas de lecho fluidizado del reactor principal al reactor secundario. Se prefiere particularmente que el conducto de partículas para transportar partículas de lecho fluidizado del reactor principal al reactor secundario entre en el reactor secundario por encima del conducto para transportar partículas de lecho fluidizado del reactor secundario al reactor principal. Se prefiere especialmente que el conducto para transportar partículas de lecho fluidizado del reactor secundario entre en el reactor principal en el área inferior del reactor principal, preferentemente en su mitad inferior, tercio inferior, o cuarto inferior. Con respecto a las entradas de fluido, se prefiere que el conducto para transportar partículas de lecho fluidizado del reactor secundario al reactor principal entre en el reactor principal tan cerca del fondo como sea posible, pero por encima de la entrada de fluido más baja. En realizaciones específicas, esta entrada de fluido inferior del reactor principal puede reemplazarse realizando la fluidización en el área del conducto de conexión. De forma análoga, esto es aplicable para el reactor secundario: Se prefiere que el conducto para transportar partículas de lecho fluidizado del reactor secundario al reactor principal surja de la mitad inferior, preferentemente el tercio inferior o el cuarto inferior, del reactor secundario. Con respecto a las entradas de fluido, se prefiere que el conducto para transportar partículas de lecho fluidizado del reactor secundario en el reactor principal surja del reactor secundario tan cerca del fondo como sea posible, pero por encima de la entrada de fluido inferior. En realizaciones específicas, esta entrada de fluido inferior en el reactor secundario puede reemplazarse realizando la fluidización en el área del conducto de conexión.

20 25 30 El bucle de retorno de partículas del reactor secundario puede comprender independientemente un separador de partículas (tal como un separador centrífugo o de gravedad), preferentemente un ciclón. El conducto de partículas del reactor principal al reactor secundario también puede comprender un separador de partículas (tal como un separador centrífugo o de gravedad), preferentemente un ciclón.

35 En una realización específica, el conducto para transportar partículas de lecho fluidizado del reactor secundario al reactor principal comprende además un elemento de sellado de gas, preferentemente un sifón. De forma análoga, el conducto de partículas del reactor principal al reactor secundario y el bucle de retorno de partículas del reactor secundario pueden comprender un elemento de sellado de gas, preferentemente un sifón. Los elementos de sellado de gas pueden comprender independientemente una entrada de gas inerte, especialmente para fluidizar las partículas o para bloquear el flujo de gas del reactor por medio del elemento de sellado. Generalmente, los elementos de barrera o elementos de sellado de gas cumplen el objetivo de prevenir cualquier flujo de gas o intercambio de gas entre los reactores.

40 45 Además, se prefiere que la fluidización de partículas que usa un gas inerte para mantener la corriente de partículas al menos parcialmente fluidizada tenga lugar en el conducto para transportar partículas de lecho fluidizado del reactor secundario al reactor principal. Especialmente si las partículas se dirigen hacia arriba en el reactor principal, las partículas pueden mantenerse en movimiento de este modo. Como alternativa o adicionalmente, la corriente de partículas puede dirigirse (al menos parcialmente) sobre una deslizadora o un canal descendente, por ejemplo. También se prefiere que la fluidización de partículas usando un gas inerte tenga lugar en el conducto de partículas del reactor principal al reactor secundario y/o en el bucle de retorno de partículas del reactor secundario. Aquí, se entenderá que un gas inerte es un gas que no afecta negativamente a los procesos en cualquiera de los dos reactores. En el caso de procedimientos de conversión termomecánica, tales como procesos con transformadores de oxígeno, el vapor de agua será un ejemplo un gas de este tipo.

50 55 En modos de realización preferidos con varios reactores, el bucle de retorno de partículas de un reactor secundario comprende un divisor de corriente de partículas y/o el bucle de retorno de partículas del reactor principal comprende un divisor de corriente de partículas, dicho divisor comprende preferentemente un gas que sella el elemento, en particular se prefiere un sifón, preferido en particular con una entrada de gas inerte. Mediante uno o varios divisores de corriente de partículas, es posible conectar otros reactores al sistema, en serie o en paralelo.

Puede introducirse un reactor de lecho fluidizado adicional, tal como un reactor de lecho fluidizado estático, que comprende preferentemente un intercambiador de calor ("intercambiador de calor de lecho fluidizado"), en la corriente de partículas, por ejemplo en el área de la corriente de partículas del reactor principal al reactor secundario, por lo que sólo una parte de la corriente de partículas puede dirigirse a través de este reactor de lecho fluidizado adicional, opcionalmente utilizando un dispositivo apropiado para dividir la corriente de partículas. En realizaciones específicas, el bucle de retorno de partículas del reactor principal al reactor secundario y/o el conducto para transportar partículas de lecho fluidizado del reactor secundario al reactor principal y/o el conducto de partículas para transportar partículas de lecho fluidizado del reactor secundario al reactor principal comprende o comprenden de este modo un intercambiador de calor, preferentemente un lecho fluidizado estático. Usando un dispositivo para dividir la corriente de partículas, dichos reactores de lecho fluidizado adicionales a lo largo de la corriente de partículas pueden pasarse sólo por una parte de corriente de partículas presente en la posición respectiva. El resto de la corriente de partículas evita el intercambiador de calor de lecho fluidizado o se dirige al reactor principal o uno de los reactores secundarios a través de una ruta diferente.

La presente invención se refiere adicionalmente a un procedimiento para transportar partículas a través de un sistema de reactor de lecho fluidizado, en el que las partículas, especialmente las partículas sólidas, se dirigen a través de un lecho fluidizado en el reactor principal y a través de un lecho fluidizado en el reactor secundario, y en el que al menos parte de ellas se transportan del reactor secundario a través de un conducto en las áreas inferiores de los reactores respectivos al reactor principal. La cantidad de fluido que fluye en las entradas de fluido del reactor secundario se selecciona preferentemente de forma independiente de la cantidad de fluido que fluye en las entradas de fluido del reactor principal. La corriente de partículas total del reactor principal al reactor secundario y de vuelta al reactor principal se ve fuertemente afectada por la cantidad de fluido que fluye en las entradas de fluido del reactor principal, por ejemplo, por el transporte de partículas en el reactor principal.

Por otro lado, la corriente de partículas total es en gran parte independiente de la cantidad de fluido que fluye en las entradas de fluido del reactor secundario. Este comportamiento del sistema de la presente invención se confirma mediante resultados experimentales.

En el procedimiento según la presente invención, la cantidad de partículas descargadas de los reactores de lecho fluidizado circulantes (reactores principales y secundarios) puede aumentar con una cantidad creciente total de fluido que fluye en las entradas de fluido respectivas. Preferentemente, el procedimiento de la presente invención está caracterizado porque las cantidades de partículas descargadas del reactor principal y el reactor o reactores secundarios aumentan cuando los flujos de la masa del fluido se desplazan hacia las entradas inferiores de fluido y se reducen cuando los flujos de la masa del fluidos se desplazan hacia las entradas de fluido superiores.

En el procedimiento según la presente invención, las cantidades de partículas descargadas de los reactores de lecho fluidizado circulante (reactores principales y secundarios) pueden aumentar con una cantidad creciente de partículas en el sistema de lecho fluidizado. Además, el procedimiento se caracteriza preferentemente por que las cantidades de partículas descargadas de la reactores de lecho fluidizado circulante (reactores principales y secundarios) aumentan con una disminución del tamaño de grano de las partículas en el sistema de lecho fluidizado.

Debido a razones de hidrostática, la aplicación de una diferencia de presión entre las salidas de gas de dos reactores de lecho fluidizado que están conectados en sus áreas inferiores por un conducto de conexión para transportar partículas de lecho fluidizado (tal como un reactor principal y un reactor secundario) puede causar un desplazamiento de partículas hacia el reactor al que se aplica la presión inferior. Esto conduce a una disminución de la cantidad de partículas descargadas del reactor al que se aplica la presión inferior, mientras que, al mismo tiempo, aumenta la cantidad de partículas descargadas del reactor al que se aplica la presión más alta. Dichas diferencias de presión aplicadas adicionalmente entre las salidas de gas de los reactores de lecho fluidizado son preferentemente del mismo orden que las pérdidas de presión causadas por las partículas de lecho fluidizado en los reactores implicados, y se prefieren particularmente menores que las pérdidas de presión causadas por las partículas de lecho fluidizado en los reactores implicados.

El procedimiento según la presente invención hace posible que se vea afectada la circulación de partículas total entre el reactor principal y el reactor secundario por medio de un cambio de la resistencia del flujo en el conducto para transportar sistemas de lecho fluidizado del reactor secundario al reactor principal. Un aumento de la resistencia del flujo conduce a una reducción de la circulación de partículas. De forma similar, esto es así para la circulación de partículas del reactor secundario a otro reactor secundario, si dicho otro reactor secundario está presente en una realización específica del sistema de lecho fluidizado. En un conducto de partículas o en un elemento de sellado de gas (tal como un sifón) proporcionado en un conducto de partículas, la resistencia del flujo se ve influenciada preferentemente por un cambio del estado de fluidización de dicho conducto de partícula o el elemento de sellado de gas. En realizaciones específicas del sistema según la presente invención, se proporcionan dispositivos mecánicos adicionales (tales como aletas o deslizadoros) para afectar a la resistencia del flujo en los conductos de partículas.

Los campos de aplicación específicos para el sistema de reactores descrito son los campos de la tecnología química y la tecnología energética. El sistema de reactores es particularmente adecuado para aplicaciones en las que una alta

circulación de partículas o de sólidos total se combinará con un contacto intensivo entre el gas y partículas en más que una zona de reacción.

Puesto que la circulación de partículas total es independiente de la condición de fluidización del reactor secundario, es posible optimizar la conversión de gas en el reactor secundario.

5 Esto es especialmente ventajoso para el procedimiento con transportadores de oxígeno para la separación cuantitativa inherente de carbono en el transcurso de la combustión de combustibles carbonosos, por ejemplo. Este procedimiento, que está sometido a análisis internacionales, se considera como la tecnología clave para la separación de carbono en procesos de combustión. En este procedimiento, se usan óxidos metálicos como sólido circulante y permiten el transporte de oxígeno de un reactor (reactor de aire) al otro reactor (reactor de combustible) por medio de una reducción y oxidación repetidas. La ventaja del procedimiento consiste en que el gas de escape del reactor de combustible sólo  
10 consiste en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O si el nivel de conversión de gas es suficientemente alto, estando el CO<sub>2</sub> presente en forma pura después de la condensación del agua. En comparación con la combustión directa del combustible, no es necesaria ninguna entrada de energía adicional. La presente invención puede usarse directamente para este procedimiento, para plantas de cualquier capacidad, pero especialmente para procesos a gran escala en centrales eléctricas. La presente invención permite un funcionamiento intensivo de la planta con un contacto optimizado entre el gas y las partículas en los dos reactores.

Usando el sistema de la presente invención, el rendimiento en los procedimientos de conversión termomecánicos (tales como pirólisis y gasificación) de combustibles sólidos (tales como carbón y biomasa) puede mejorarse en comparación con procedimientos conocidos. Un contacto más intensivo de partículas de lecho fluidizado catalíticamente activas con el gas en el reactor de producción de gas (que corresponde al reactor secundario y, en la mayor parte de casos, se fluidiza usando vapor de agua y/o gas de producto reciclado) hace posible en gran parte descomponer carbohidratos superiores (tales como alquitranes), que son en su mayor parte indeseados en procesos subsecuentes. Al mismo tiempo, la entrada de energía deseada del reactor de combustión (que corresponde al reactor principal y, en la mayor parte de casos, se fluidiza por medio de aire) puede ajustarse independientemente de las condiciones de flujo en el reactor de producción de gas ajustando la cantidad de gas que fluye en las entradas de gas del reactor de combustión y la cantidad de partículas circulantes que fluyen del reactor de combustión al reactor de producción de gas dependiendo de la cantidad de gas entrante.

La presente invención puede aplicarse adicionalmente en el campo de la absorción selectiva de componentes fuera de corrientes de gas que usan un sólido reactivo (tal como la formación de bucles de carbonato para la separación de CO<sub>2</sub> de gases de escape de combustión). En este caso, también es importante un buen contacto entre el gas y las partículas y la posibilidad de ajustar la corriente de partículas circulantes total.

A continuación, la presente invención se explicará en más detalle haciendo referencia a los dibujos y ejemplos de trabajo que se muestran a continuación, sin limitarse específicamente a los mismos.

#### Dibujos

35 La figura 1 muestra un diagrama esquemático de una realización del sistema de reactores de lecho fluidizado con dos reactores. Se transporta una corriente de partículas (17) de un reactor principal (1) (tal como un reactor de transporte de sólidos) en un reactor secundario (2) usando un medio de fluidización (un reactivo o gas inerte). Se fluidizan partículas de sólido en un lecho fluidizado en el reactor principal por medio de un gas que fluye a través de las entradas de gas (3, 4), que, por ejemplo, se puede realizar en forma de platos de válvulas, lancetas de gas, o similares, y se descargan continuamente del reactor. En un ciclón (12), las partículas se separan del gas que se evacua a través de la salida de gas (7). Las partículas separadas se transportan a un elemento de sellado estanco al gas (sifón) (9) con una entrada de gas inerte (14). Después de esto, las partículas se transportan al reactor secundario (2), donde se fluidizan de nuevo en un lecho fluidizado por medio de una corriente de gas (entradas de gas escalonadas 5 y 6 que, por ejemplo, pueden realizarse en forma de platos de válvulas, lancetas de gas, o similares). De forma análoga al reactor principal, las partículas transportadas por la corriente de gas en el reactor secundario se transportan en un separador de sólidos (tal como un ciclón) (13) en el extremo superior del reactor secundario donde el gas del reactor secundario se separa de la corriente de partículas y se descarga a través de la salida de gas (8). Las partículas se transportan de vuelta al reactor secundario a través de un elemento de sellado (11) (opcional) que tiene una entrada de gas inerte (16). En su área inferior, el reactor secundario tiene adicionalmente una salida a un conducto para transportar también las partículas al reactor principal. El conducto comprende adicionalmente un elemento de sellado (10) que sirve para sellar herméticamente los espacios de gas en los reactores principales y secundarios fluidizando las partículas usando un gas inerte (15). En la presente realización, este conducto se dispone entre las entradas escalonadas de gas del reactor secundario (5, 6) y el reactor principal (3, 4). En el reactor principal, o el reactor secundario, las entradas de corriente de partículas se disponen preferentemente en el área inferior, por ejemplo, por debajo de la superficie imaginaria del nivel de llenado de partículas cuando se detiene la fluidización, o en el cuarto inferior, el tercio inferior, o la mitad inferior del reactor principal o secundario.

La figura 2 muestra un diagrama esquemático de una realización del sistema de reactores de lecho fluidizado con dos reactores para plantas a pequeña escala. Esta realización se construye de forma análoga a la figura 1, con excepción de que el conducto de conexión entre el reactor secundario y el reactor principal se dispone bajo las entradas de gas del

reactor secundario (5, 6) y bajo las entradas de gas del reactor principal (3, 4). Adicionalmente, el transporte de partículas puede promoverse por las entradas de gas (18, 19) para soportar la fluidización.

La figura 3 muestra un diagrama de las conexiones de un elemento de lecho fluidizado estático adicional que comprende un intercambiador de calor y se dispone después de un separador de partículas (tal como un ciclón) o antes, después, o en un elemento de sellado de gas (tal como un sifón). La corriente de partículas fluidizadas (17) se transporta del separador de partículas (un ciclón, por ejemplo) (12) o el elemento de sellado de gas (un sifón, por ejemplo) (9) a un área estática en la que el sólido fluidizado entra en contacto con superficies de intercambio de calor (22). Una fluidización o gas inerte fluye hacia arriba a través de la entrada de gas (20), descargándose dicha fluidización o gas inerte a través de la salida de gas (21) después de haber estado en contacto con las partículas, durante cuyo contacto pueden tener lugar las reacciones químicas.

La figura 4 muestra un diagrama de conexiones de un divisor de corriente de partículas, por ejemplo para varios reactores secundarios. La corriente de partículas fluidizadas (17), por ejemplo, se transporta del separador de partículas (12) del reactor principal (1) a un divisor de corriente de partículas (24), tal como un sifón dividido y se transporta del divisor a dos reactores (2, 23) mediante un medio de fluidización (tal como un gas inerte) (25). Puede implementarse un reactor secundario (23) (no mostrado) de la misma manera que el reactor secundario (2), pero también puede ser un elemento de lecho fluidizado estático adicional (tal como un intercambiador de calor).

La figura 5 muestra el índice de transporte de partículas específico ( $G_s$  en  $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$ ) del reactor principal como una función de la distribución del medio de fluidización en las entradas de fluido inferior (3) y superior (4) del reactor principal de un modelo hidrodinámico del sistema de lecho fluidizado según la presente invención como se muestra en la figura 2, en el que se utiliza un aire modelo como medio de fluidización. Los parámetros mostrados en el diagrama incluyen las cantidades diferentes totales del medio de fluidización que fluye en el reactor principal (25  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (29), 30  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (30), y 35  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (31)), por una parte, y diferentes cantidades de medio de fluidización que fluyen en el reactor secundario (10  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (26), 15  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (27), y 20  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (28)). En este caso específico, el reactor secundario se fluidiza únicamente a través de la entrada de fluido inferior (5). El transporte de partículas en el reactor principal depende claramente de la cantidad total de medio de fluidización que fluye por el reactor principal y de la distribución del medio de fluidización en las entradas de fluido inferior (3) y superior (4) del reactor principal. También se muestra claramente que el transporte de partículas en el reactor principal aumenta cuando aumenta la cantidad total de medio de fluidización que fluye en el reactor principal. Además, puede observarse que un aumento de la cantidad de medio de fluidización que fluye a través de la entrada de fluido inferior (3) también conduce a un aumento significativo del transporte de partículas si la cantidad total del medio de fluidización entrante permanece constante. La fluidización del reactor secundario afecta al transporte de partículas en el reactor principal sólo en un grado leve. Esta influencia puede explicarse por el hecho que un aumento de la fluidización en el reactor secundario conduce a una mayor pérdida de presión en el reactor secundario y, por lo tanto, promueve el movimiento de partículas de sólidos a través del conducto de conexión del reactor secundario al reactor principal.

La figura 6 muestra el índice de transporte de partículas específico ( $G_s$  en  $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$ ) del reactor secundario como una función de la distribución del medio de fluidización en las entradas de fluido inferior (3) y superior (4) del reactor principal de un modelo hidrodinámico del sistema de lecho fluidizado de la presente invención como se muestra en la figura 2, en el que se utiliza aire como medio de fluidización. Los parámetros mostrados en el diagrama incluyen cantidades diferentes totales del medio de fluidización que fluyen en el reactor principal (25  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (29), 30  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (30), y 35  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (31)), por una parte, y diferentes cantidades de medio de fluidización que fluyen en el reactor secundario (10  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (26), 15  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (27), y 20  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (28)). En este caso específico, el reactor secundario se fluidiza únicamente a través de la entrada de fluido inferior (5). Se muestra que el transporte de partículas en el reactor secundario no depende considerablemente de la distribución del medio de fluidización a las entradas de fluido inferior (3) y superior (4) del reactor principal.

La cantidad total de medio de fluidización que fluye al reactor principal tampoco tiene una influencia significativa sobre el transporte de partículas sólidas en el reactor secundario. Como se esperaba, la cantidad total del medio de fluidización que fluye en el reactor secundario afecta directamente al transporte de partículas de sólidos en el reactor secundario. Un aumento de la cantidad total de medio de fluidización que fluye en el reactor secundario conduce a un aumento significativo del transporte de partículas de sólidos en el reactor secundario.

Ejemplo:

En el sistema de reactor de lecho fluidizado según la figura 1, la circulación de partículas total se controla por medio de un lecho fluidizado de partículas circulantes de gas-sólido (1) que tiene, opcionalmente escalonadas, entradas de gas (3, 4) (reactor principal). El fluido transporta partículas sólidas a través de un separador de gas-sólido (12) y, opcionalmente, a través de un elemento de sellado de gases (9) al segundo lecho fluidizado de partículas de gas-sólido (reactor secundario) (2). El sólido se recicla a través de una conexión de sifón (10) o elementos de conexión similares (tal como una deslizador fluidizada) en la parte inferior de los reactores. En casos individuales, en su mayor parte en plantas a pequeña escala, los reactores pueden conectarse entre sí a través de un sifón en sus puntos más bajos (figura 2). En el reactor secundario (2), el sólido se fluidiza usando un medio gaseoso que también puede introducirse de una manera escalonada (5, 6). El sólido descargado del reactor secundario se separa del gas mediante un separador de

gas-sólido (13) y se recicla en el mismo reactor. La circulación de sólidos en el sistema de reactor secundario puede cambiarse mediante una introducción escalonada de gas (5, 6). Si los reactores se conectan de este modo, el transporte de sólidos entre los dos reactores depende fuertemente del funcionamiento del reactor principal (introducción escalonada del medio de transporte), pero es, al mismo tiempo, independiente en gran medida del índice de gas y, así, del tiempo de permanencia del gas en el reactor secundario (2). Debido a la conexión hidráulica directa de los dos reactores a través del sifón inferior (10), el sistema siempre se esfuerza por equilibrar los niveles de llenado en los dos reactores, determinando así la posición del sólido dentro del sistema. Aplicando una diferencia de presión entre las dos zonas de reacción (por ejemplo por medio de un dispositivo de estrangulación a la salida de gas del separador de partículas del reactor del lecho fluidizado respectivo o por mediciones que se disponen adicionalmente corriente abajo en la corriente de gas respectiva, tal como una válvula reguladora, una aleta, o un calado de succión), la permanencia del sólido puede verse afectada adicionalmente. Según las leyes de la hidrostática, un aumento de la presión del gas en uno de los dos reactores conduce a un cambio del nivel de llenado de partículas imaginario en el otro reactor. El nivel de llenado de partículas imaginario de un reactor de lecho fluidizado circulante afecta a la cantidad de partículas descargadas de dicho reactor. En caso del reactor principal, el nivel de llenado de partículas imaginario afecta a la circulación de partículas total del reactor principal al reactor secundario. La circulación de partículas total del reactor principal al reactor secundario también se ve afectada por un cambio de la resistencia del flujo en el conducto de conexión fluidizado, en el que las partículas se transportan del reactor secundario de regreso al reactor principal. Durante el funcionamiento, la resistencia del flujo en el conducto de conexión, por ejemplo, puede cambiarse modificando la fluidización en el área de la conexión o por medio de dispositivos mecánicos (tales como deslizadores o aletas). Un aumento de resistencia de flujo en el conducto de conexión conduce a una reducción de la circulación de partículas total del reactor principal al reactor secundario. En el área de la salida de sólidos y el separador de partículas (13), el reactor secundario está diseñado para proporcionar una pequeña cantidad de partículas que se descargan del reactor, mientras la concentración de partículas en el extremo superior del reactor es todavía alta. Por ejemplo, esto puede conseguirse elevando el reactor por encima de la salida del gas y por medio de una geometría apropiada de la salida del gas.

Cuando se usan más de dos reactores, se puede usar un esquema de conexión básico según la figura 1, en cuyo caso los otros reactores pueden disponerse según las siguientes opciones o según las combinaciones de estas opciones:

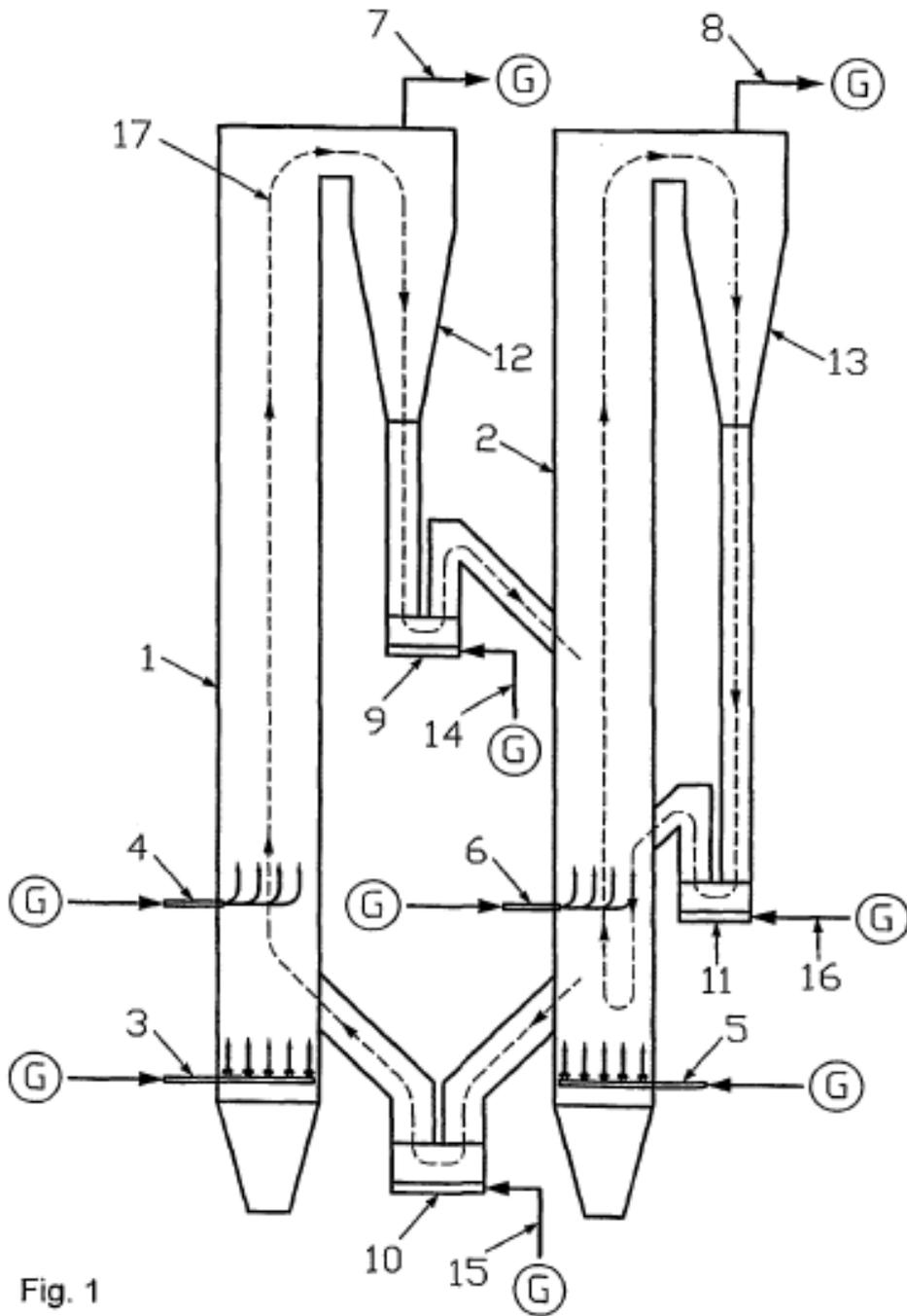
1. En el área o en vez del sifón superior (9, figura 1) y a través de un reactor intermedio, que, por ejemplo, puede estar diseñado para ser un lecho fluidizado estático y en que, por ejemplo, se puede proporcionar un intercambiador de calor (figura 3), la corriente de partículas se transporta de vuelta al reactor secundario (2) mostrado en la figura 1. Usando un dispositivo apropiado para dividir la corriente de partículas, tal como un reactor intermedio adicional sólo puede usar parte de la corriente de partículas circulante. De forma análoga, un reactor de lecho fluidizado adicional de este tipo también puede montarse en el bucle de retorno de partículas del reactor secundario, que recicla las partículas en el reactor secundario o en el conducto de conexión fluidizado del reactor secundario al reactor principal.

2. El sistema puede comprender un reactor secundario adicional (23) que comunica con los dos reactores mostrados en la figura 1 a través de una conexión fluidizada. Usando un dispositivo apropiado para dividir la corriente de partículas (figura 4), la corriente de partículas de circulación del reactor principal puede introducirse en ambos reactores secundarios. Como alternativa, la corriente de partículas que se descarga del reactor secundario mostrado en la figura 1 y se separa de la corriente fluida puede realizarse en el reactor secundario adicional.

3. En cuanto al bucle de retorno de partículas de un reactor secundario adicional, es posible una variación adicional, mediante la cual la corriente de partículas de dicho reactor secundario adicional puede reciclarse al reactor principal o al reactor secundario, ambos mostrados en la figura 1.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Un sistema de reactores de lecho fluidizado que consiste en al menos dos reactores de lecho fluidizado, que comprende al menos un reactor principal (1) en forma de lecho fluidizado circulante y al menos un reactor secundario (2) en forma de un lecho fluidizado circulante, constituyendo dichos reactores dos espacios llenos de gases separados para realizar reacciones químicas y estando conectados entre sí por una corriente circulante de materias sólidas, así como un conducto de partículas que comprende un separador de partículas y sirve para transportar partículas del lecho fluidizado procedentes del reactor principal (1) al reactor secundario (2), **caracterizado porque** el reactor principal (1) y el reactor secundario (2) están conectados de forma hidráulica a través de un conducto de partículas fluidizadas (10) en sus mitades inferiores.
- 10 2. El sistema según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el conducto de partículas que comprende un separador de partículas y sirve para transportar partículas del lecho fluidizado del reactor principal (1) al reactor secundario (2) recicla una parte de la corriente de partículas directamente en el reactor principal (1) usando un dispositivo apropiado para dividir la corriente de partículas.
- 15 3. El sistema según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** el reactor secundario (2) comprende un bucle de retorno de partículas que recicla las partículas del lecho fluidizado del reactor secundario (2) en cualquier reactor de lecho fluidizado o, cuando se usa un dispositivo apropiado para dividir la corriente de partículas, en varios reactores de lecho fluidizado.
- 20 4. El sistema según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el conducto (10) conecta el fondo del reactor secundario (2) con el fondo del reactor principal (1).
- 5 5. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el conducto (10) desemboca en el reactor principal (1) en o por encima del nivel de una entrada de fluido inferior (3), reemplazando opcionalmente la fluidificación de dicho conducto (10) dicha entrada de fluido inferior (3).
- 25 6. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** el conducto (10) comprende un medio de fluidización de partículas de gas inerte (15).
- 30 7. El sistema según la reivindicación 6, **caracterizado porque** dicho medio de fluidización de partículas de gas inerte (15) es un medio de fluidización de partículas de vapor de agua.
8. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** el sistema comprende un reactor secundario adicional (23), en el que un conducto de partículas de al menos un reactor secundario (2) desemboca en dicho reactor secundario adicional (23), o el conducto de partículas del reactor principal (1) con respecto al reactor secundario (2) desemboca adicionalmente, al menos parcialmente, en dicho reactor secundario adicional (23).
- 35 9. El sistema según la reivindicación 8, **caracterizado porque** el bucle de retorno de partículas del reactor secundario (2), o el conducto de partículas del reactor principal (1) con respecto al reactor secundario (2) comprende un divisor de la corriente de partículas (24).
10. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** el bucle de retorno de partículas (12, 9, 13, 11) y/o el conducto de partículas (10) presenta o presentan un intercambiador de calor (22).
- 40 11. Un procedimiento para transportar partículas a través de un sistema de reactores de lecho fluidizado según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** se transportan partículas sólidas a través de un lecho fluidizado en el reactor principal (1) y a través de un lecho fluidizado en el reactor secundario (2) y se reciclan, al menos parcialmente, del reactor secundario (2) a la mitad inferior del reactor principal (1).
- 45 12. El procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado porque** aplicando una diferencia de presión entre el reactor principal (1) y el reactor secundario (2), las partículas se desplazan hacia el reactor sobre el que se aplica una presión inferior, lo que da como resultado una mayor cantidad de partículas que se descargan de este reactor, mientras que, al mismo tiempo, se reduce la cantidad de partículas descargadas del otro reactor.
13. El procedimiento según la reivindicación 11 ó 12, **caracterizado porque** la circulación total de partículas entre el reactor principal (1) y el reactor secundario (2) se reduce mediante el aumento de la resistencia del flujo en el conducto (10).



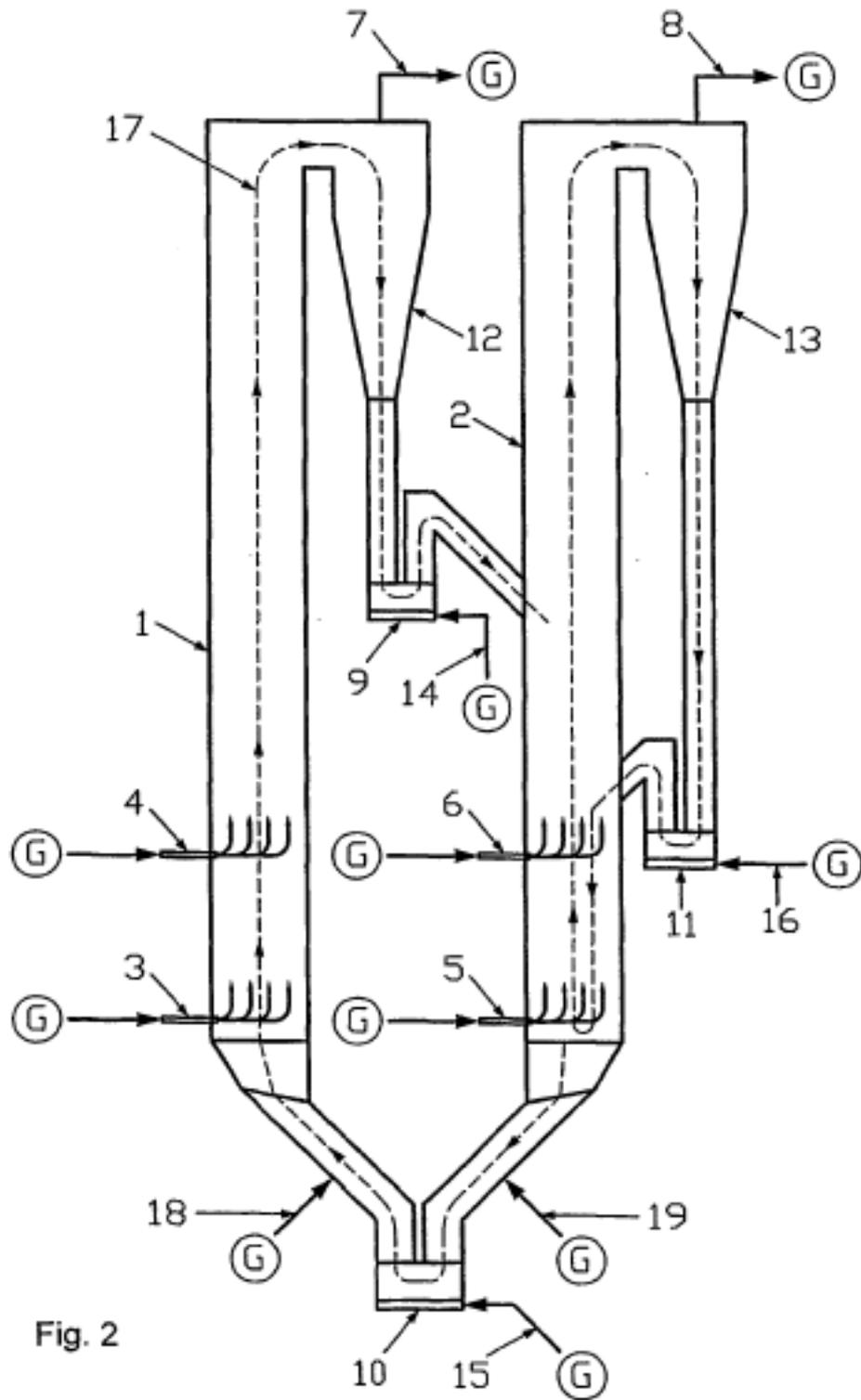


Fig. 2

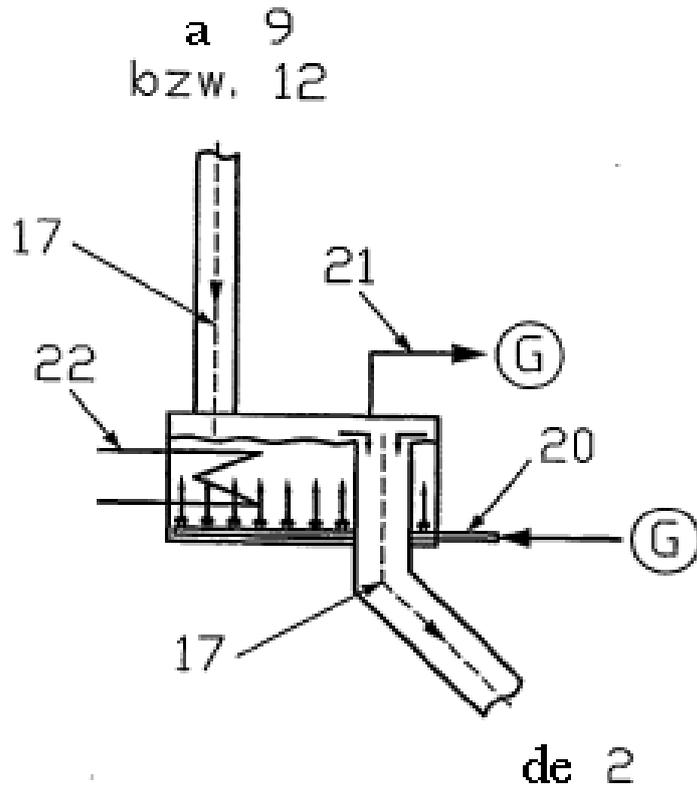


Fig. 3

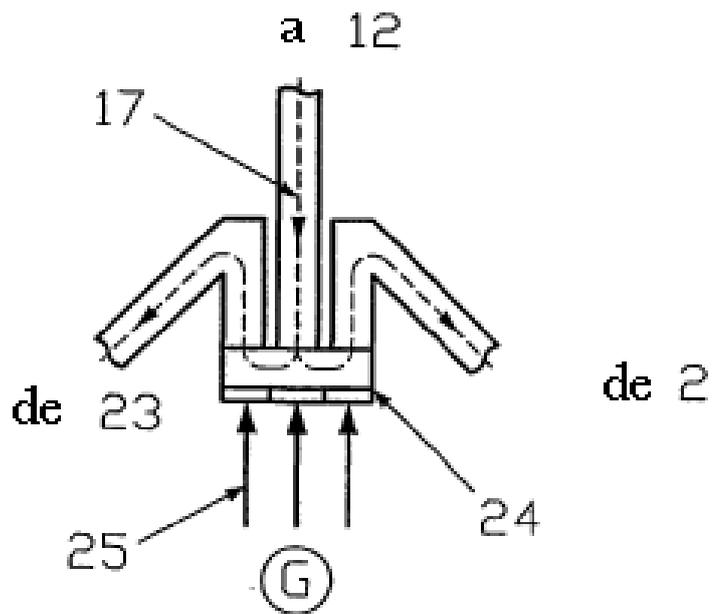


Fig. 4

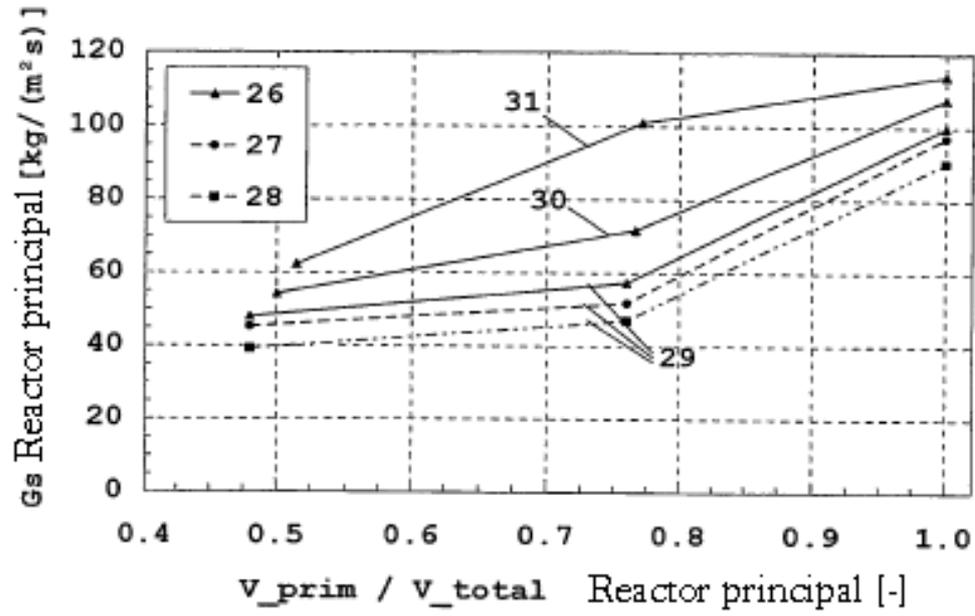


Fig. 5

